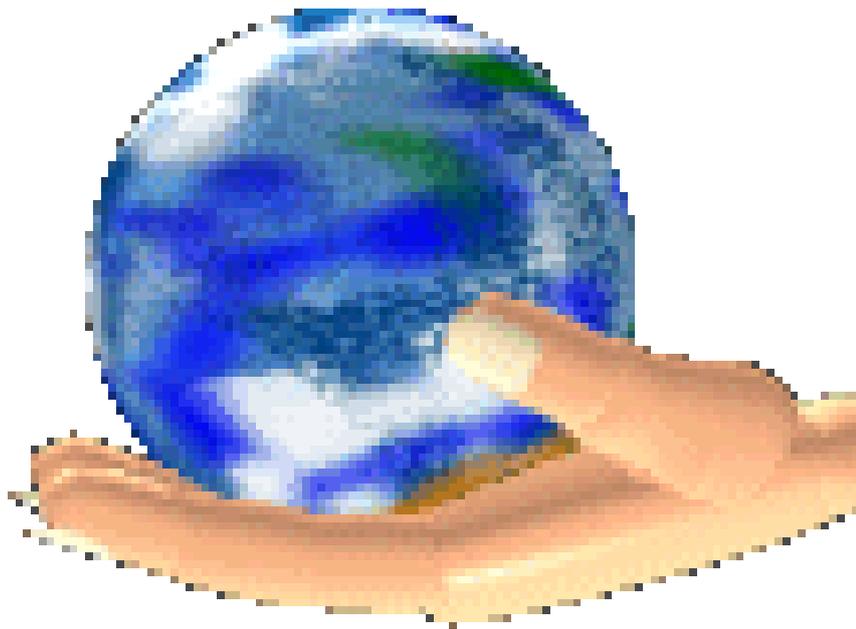


# CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIOAMBIENTALES



**Pablo Acosta Robles**  
**I.E.S. La Madraza, 2015-16.**

I. La humanidad y el medio ambiente.....	2
II. Geosfera .....	17
III. Atmósfera .....	67
IV. Hidrosfera .....	88
V. Biosfera .....	108

# **LA HUMANIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE.**

## **1.LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE.**

El medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas. Hay que insistir en que los aspectos sociales son una parte muy importante de nuestro medio ambiente.

Pero la Tierra, no es mero conjunto de componentes, es un sistema. Esto significa que es un ente complejo en el que los componentes están interrelacionados de tal forma que surgen propiedades nuevas que no poseían los componentes por separado; son propiedades emergentes la organización, la estabilidad, el equilibrio, etc. Un sistema es una estructura mayor que la suma de sus partes.

Pensemos, por ejemplo, en un componente físico como la temperatura terrestre; no es independiente del resto de los componentes de la Tierra porque se ve influida por la composición química de la atmósfera (especialmente por la proporción de gases de invernadero), también por la mayor o menor cantidad de nieve sobre los casquetes polares que reflejan la radiación solar (efecto albedo), por la actividad de los seres vivos que consumen CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis y lo liberan en la respiración. La interacción de estos elementos hace que la temperatura media del planeta se mantenga en equilibrio, dentro de unos márgenes que permiten la vida sobre la Tierra.

Los sistemas complejos suelen estudiarse mediante la elaboración de modelos que son idealizaciones simplificadas de situaciones reales que facilitan su comprensión y estudio. Los más utilizados por la ciencia son modelos matemáticos y modelos simulados por ordenador.

A veces, para abordar el estudio de un sistema complejo, éste se divide en subsistemas que se analizan por separado. En el caso del sistema Tierra es frecuente diferenciar cuatro sistemas menores o subsistemas:

- **Atmósfera.** Es un subsistema caracterizado por ocupar la capa más externa del planeta y por encontrarse mayoritariamente en estado gaseoso, aunque también incluye partículas sólidas y líquidas en suspensión.
- **Hidrosfera.** Comprende fundamentalmente el agua líquida del planeta, tanto continental como oceánica, y el hielo glaciar. Recordemos además que una pequeña cantidad de agua se encuentra en la atmósfera y en los seres vivos. Aunque el término hidrosfera (esfera de agua) sugiere que la hidrosfera es una capa como la atmósfera, no es una envuelta continua alrededor de la se trata de una capa discontinua capa discontinua de agua que envuelve la superficie líquida del planeta.
- **Geosfera.** Es el subsistema terrestre de mayor volumen y se caracteriza por su naturaleza rocosa. A las Ciencias Ambientales le interesa sobre todo su parte externa o litosfera.
- **Biosfera.** Es el sistema constituido por todos los seres vivos que habitan la Tierra. Ocupa la parte inferior de la atmósfera, la parte superior de la litosfera y una parte de la atmósfera.

Los límites entre los subsistemas son artificiales, no existen en la realidad, pero son construcciones humanas que facilitan la comprensión de la complejidad del sistema Tierra. Las zonas de contacto

entre los subsistemas se denominan interfases; veamos las interacciones que se producen en algunas de ellas:

- El litoral es la zona de contacto entre la tierra firme y el mar; por lo tanto una interfase entre la geosfera y la hidrosfera, aunque también está presente la atmósfera que presenta aquí una dinámica especial dando origen a las brisas marinas. Además, la biosfera adquiere un especial desarrollo en las zonas litorales donde la vida es muy abundante.
- El suelo es otro ejemplo de interfase. Denominamos suelo a una delgada capa superficial de tierra fértil en la que está presente la geosfera (materias minerales) y la biosfera (raíces, pequeños animales, bacterias, hongos, etc.). La atmósfera y la hidrosfera también tienen su representación en el suelo ya que encontramos poros con agua y con aire, ambos elementos indispensables para los organismos del suelo.
- Como ejemplo de interacciones entre la biosfera y la atmósfera destacamos el proceso de fotosíntesis por el cual las plantas y las algas fabrican su propia materia orgánica consumiendo dióxido de carbono y expulsando oxígeno; el proceso de respiración por el cual las células obtienen energía tras captar oxígeno y, por último, el proceso de transpiración por el cual los seres vivos ceden vapor de agua a la atmósfera. La composición química de la atmósfera está muy influida por la actividad biológica; de hecho es el único planeta conocido con elevados niveles de oxígeno, resultado de la fotosíntesis.
- También entre la biosfera y la geosfera hay interacciones: piénsese en las plantas que absorben sales minerales del suelo o en los excrementos y cadáveres que se reintegran en el suelo.
- Entre la geosfera y la atmósfera podemos citar el caso de los volcanes y sus emanaciones gaseosas. Se piensa que la primitiva atmósfera terrestre fue el resultado de los gases expulsados por los volcanes: agua, dióxido de carbono, metano, amoníaco...
- Entre la geosfera y la hidrosfera también hay interacciones. En buena medida la morfología de la geosfera, es decir el relieve, ha sido esculpida por el agua de glaciares, ríos, torrentes, aguas superficiales, olas... Por otra parte, la naturaleza de la geosfera y, en concreto, la distribución de rocas permeables e impermeables determina la distribución del agua en el subsuelo (acuíferos) y su posible surgencia en manantiales.

\* \* \* \*

En los siguientes apartados analizaremos la relación de los seres humanos con el medio ambiente. Por una parte, sufrimos la violencia de las catástrofes naturales (riesgos) pero, por otra, nos beneficiamos de los alimentos y las materias primas que la naturaleza nos proporciona (recursos). La extracción de estos recursos así como su manipulación provocan residuos y alteraciones del medio natural (impacto ambiental). Así pues, la relación del hombre con la naturaleza se puede estudiar, y así se hace en los siguientes apartados, considerando estos tres conceptos: recursos, riesgos e impactos.

## **2. LOS RECURSOS NATURALES.**

Entendemos por recurso toda forma de materia, energía o información necesaria para cubrir las necesidades fisiológicas, socioeconómicas y culturales de la humanidad. Hay recursos naturales y recursos humanos (los que nos proporcionan la industria, la tecnología, la cultura, etc.), pero aquí sólo nos referiremos a los recursos naturales.

No se debe confundir recurso con reserva que es aquella parte de un recurso cuya cantidad y localización son bien conocidas y su aprovechamiento es técnicamente viable y económicamente rentable.

Podemos plantear una primera clasificación de los recursos atendiendo al subsistema terrestre que nos los proporciona:

- a) Recursos de la geosfera. Las rocas incluyen recursos minerales fundamentales como los metales y los materiales de construcción; además, las rocas ricas en fosfatos se utilizan en la fabricación de fertilizantes. La geosfera también aporta los recursos energéticos sobre los que se sustenta nuestra civilización, los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas mineral), a los que se suma el uranio para la obtención de energía nuclear y la energía geotérmica.
- b) Recursos de la atmósfera. El sol y el viento son dos fuentes de energía relacionadas con la atmósfera.
- c) Recursos de la hidrosfera. Los usos que el ser humano hace del agua se pueden dividir en consuntivos y no consuntivos. El uso de agua en la agricultura, la industria y las ciudades se considera consuntivo porque no dejan el agua disponible para nuevos fines. En cambio, son no consuntivos la producción de energía hidroeléctrica, la navegación, las actividades de ocio acuáticas y los usos ecológicos.
- d) Recursos de la biosfera. La biosfera nos proporciona alimentos, principalmente a través de la agricultura, la ganadería y la pesca. También destacan los recursos forestales y la biomasa como fuente de energía.

Otra clasificación de los recursos distingue recursos renovables y los no renovables. Son renovables aquellos recursos que se forman mediante procesos cíclicos rápidos o que pueden ser regenerados después de su utilización; aquí se incluyen los alimentos, el agua, la energía solar... En cambio, los recursos no renovables, una vez extraídos y utilizados, son imposibles de reponer, al menos a escala humana; a este grupo pertenecen los recursos minerales y los combustibles fósiles.

A veces se utiliza una tercera categoría de recursos potencialmente renovables para referirse a aquellos recursos cuya clasificación como renovables o no renovables depende de si el ritmo de consumo es menor o mayor que el de reposición. Por ejemplo, talamos árboles y consumimos madera que se repone por nuevos árboles pero lentamente; si consumimos madera en exceso ésta se puede considerar como no renovable, aunque sería renovable si redujésemos nuestro consumo por debajo de la tasa de reposición.

Desde el punto de vista del desarrollo sostenible hay que optar por recursos que sean renovables. Por tanto, como fuentes de energía son recomendables la energía solar, la eólica, la hidráulica y la geotérmica; lamentablemente, nuestra sociedad sigue basándose en el consumo de combustibles fósiles.

Para cubrir nuestras necesidades de agua, alimentos y madera no debería haber problema puesto que estos recursos son renovables, pero que hay que matizar que hay respetar las tasas de reposición y no incurrir en la sobreexplotación pesquera o maderera o en la contaminación de las aguas más allá de la capacidad autodepuradora de la naturaleza.

Por último, los recursos minerales son no renovables y cuando se extraen, por ejemplo, metales de una explotación minera hasta su agotamiento se impide que las generaciones futuras puedan disfrutar de ese recurso. La alternativa es el reciclaje: en lugar de abrir nuevas minas y canteras deberíamos reciclar las materias primas ya extraídas y darles una nueva vida.

### **3. LOS RIESGOS NATURALES.**

Riesgo es toda fuente de peligro que puede causar daños y la probabilidad de que dichos daños se produzcan. Los riesgos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Riesgos culturales o tecnológicos son los que se originan por las actividades humanas: un incendio en la ciudad, un escape radiactivo, la explosión de una refinería, etc. No deben confundirse con los impactos ambientales que son cambios graduales que requieren corrección pero no un tratamiento de emergencia propio de una catástrofe.
- Riesgos naturales inducidos son aquellos fenómenos naturales que se ven potenciados por la actividad humana: un desprendimiento favorecido por un movimiento de terrenos, una inundación debida a una carretera sobreelevada que actúa de presa, un incendio forestal favorecido por basuras, etc.
- Los riesgos naturales son alteraciones profundas del medio ambiente que afectan a las personas y sus bienes y que tienen su origen en procesos naturales. La mayoría de las víctimas asociadas a riesgos los son por inundaciones; los terremotos son también responsables de muchas muertes; en cambio, los volcanes, a pesar de la espectacularidad de las erupciones, originan menos víctimas. Exceptuando los riesgos cosmológicos, como los impactos meteoríticos, los riesgos naturales se pueden clasificar, al igual que hicimos con los recursos, atendiendo a los cuatro subsistemas terrestres:
  - a) De origen geológico.
    - Debidos a la geodinámica interna: volcanes y terremotos.
    - Debidos a la geodinámica externa: movimientos en masa (desprendimientos, deslizamientos y coladas), avenidas, retroceso de acantilados.
  - b) De origen climático:
    - Lluvias torrenciales: gota fría, tormentas, frentes.
    - Tornados.
    - Sequías.
    - Olas de frío y calor.
  - c) Relacionados con la hidrosfera.
    - Inundaciones costeras.
    - Desbordamientos de ríos (influye la meteorología, el relieve, las actividades humanas...).
  - d) Relacionados con la biosfera:
    - Plagas.
    - Incendios.

#### **Factores de riesgo.**

El riesgo no depende sólo de la violencia del fenómeno natural. Pensemos en terremotos de elevada magnitud que ocurren en Japón y que apenas originan víctimas mientras que terremotos de la misma magnitud causan auténticas catástrofes en zonas menos desarrolladas del planeta; por supuesto, el daño es nulo si tienen lugar en medio de un desierto. Este razonamiento nos lleva a establecer los factores de riesgo: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

La peligrosidad es la probabilidad de que suceda un fenómeno particularmente dañino en una zona determinada. El peligro de inundación es mayor en las viviendas situadas junto al río que en las viviendas más alejadas de él. El sureste de la Península Ibérica, por ejemplo, es una zona peligrosa

desde el punto de vista sísmico, aunque es más peligroso Japón donde los terremotos son mayor magnitud. El concepto de peligrosidad también está relacionado con el periodo de retorno o intervalo de recurrencia que es la periodicidad con la que se repite el suceso; se calcula basándose en los fenómenos ocurridos en el pasado.

La exposición se refiere a la cantidad de personas y bienes materiales que pueden sufrir el acontecimiento peligroso. Las zonas superpobladas del planeta son las que presentan una mayor exposición a las catástrofes. En el caso del terremoto en el desierto, mencionado anteriormente, la exposición es nula y por lo tanto también el riesgo lo es.

La vulnerabilidad es la proporción, con respecto al total expuesto, de víctimas humanas y pérdidas económicas causadas por el suceso. Está relacionada con la disponibilidad de medios para hacer frente al suceso. Japón, por ejemplo, es una zona de alta peligrosidad sísmica y de alta exposición (es una zona superpoblada); sin embargo su vulnerabilidad es reducida porque las construcciones son sismorresistentes, los sistemas de alerta y protección civil funcionan bien y la ciudadanía está instruida sobre cómo actuar en caso de sismo. Sin duda esto está relacionado con la riqueza y la tecnología; los países pobres son mucho más vulnerables ante las catástrofes.

Para hacer una valoración de un riesgo (R) se procede a un cálculo sencillo: el producto de la probabilidad de ocurrencia o peligrosidad (P) por la exposición (E) y por la vulnerabilidad expresada en tanto por uno.

$$R = P \cdot V \cdot E$$

### **Prevención de riesgos.**

La prevención ayuda a reducir los efectos de las catástrofes naturales. Esto se consigue, en primer lugar, definiendo cuáles son las zonas de riesgo lo que requiere un estudio previo de los antecedentes históricos; así, las regiones que han sufrido terremotos en el pasado son las que tienen más probabilidad de sufrirlos en el futuro. El estudio histórico permite elaborar un mapa de peligrosidad que, combinado con un mapa de exposición y vulnerabilidad (densidad de población, infraestructuras, viviendas y su tipología) es la base para el mapa de riesgo. Estos mapas son fundamentales en las tareas preventivas, en particular en la ordenación del territorio que consiste en una planificación territorial restrictiva, prohibiendo o limitando asentamientos o ciertos usos del medio natural. El hecho de que mucha gente, especialmente en países en desarrollo, viva en las llanuras de inundación de los ríos les hace estar más expuestos a las grandes avenidas.

Hay un grupo de medidas preventivas que se conocen como medidas estructurales y suponen la implantación de construcciones adecuadas o la modificación del terreno. Para evitar inundaciones, por ejemplo, se pueden construir diques, aumentar el cauce de los ríos y, sobre todo, construir embalses para laminar el caudal. Las medidas estructurales tienen especial importancia, sobre todo, frente a los terremotos: en el sureste peninsular las construcciones cumplen unos requisitos para ser sismorresistentes.

Cuando ya ha tenido lugar el suceso catastrófico y se toman medidas para reducir los daños, éstas se pueden denominar medidas correctoras. Para evitar que una colada de lava alcance una aldea se puede desviar la colada mediante diques. Para hacer frente a los deslizamientos y desprendimientos se construyen muros de contención, se facilita el drenaje y se suaviza la pendiente del terreno. Sin embargo, el concepto de “medida correctora” se emplea más para referirse a medidas frente a los impactos provocados por la acción humana que frente a los riesgos naturales.

Las medidas de protección civil son fundamentales para evitar víctimas una vez producida la catástrofe: se trata de coordinar a los técnicos en predicción con los gobernantes, poner en marcha los sistemas de vigilancia necesarios, hacer que las alarmas lleguen a la población, organizar al personal sanitario, a los bomberos, la policía y, si fuera necesario, disponer la evacuación de la zona de riesgo. Es importante que la población conozca previamente cómo debe actuar en caso de catástrofe (educación para el riesgo); con este fin se organizan charlas, se distribuyen folletos informativos y se realizan simulacros en las escuelas y en otras instituciones.

Los sistemas de predicción también contribuyen a la prevención. La predicción espacial (dónde ocurrirá la catástrofe) es sencilla y queda recogida en los mapas de riesgo, pero la predicción temporal (saber cuándo ocurrirá) es el gran reto al que nos enfrentamos, lo que la sociedad demanda de sus científicos. Si se dispone de un registro histórico de siglos se puede saber aproximadamente cada cuánto tiempo se produce el fenómeno peligroso (período de retorno), pero no cuándo exactamente sucederá la catástrofe. Es fundamental disponer de las técnicas que nos avisen con la suficiente antelación. Ante los riesgos de inundaciones son fundamentales las predicciones meteorológicas que hoy día son muy precisas gracias a la información que nos proporcionan satélites como el METEOSAT; también las estaciones de aforo situadas aguas arriba permite predecir cuándo el caudal punta de una inundación llegará a una ciudad ribereña situada río abajo. En el caso de las erupciones volcánicas existen algunos precursores que pueden anunciar una erupción inminente: pequeños sismos, calentamiento de las aguas, variaciones en la actividad de las fumarolas, pequeñas deformaciones del terreno, etc.; de hecho son excepcionales las erupciones volcánicas que sorprenden desprevenidas a las poblaciones de las proximidades. En cambio, la predicción temporal de terremotos sigue siendo un capítulo pendiente; aunque se ha investigado mucho en esta dirección no existen indicadores sísmicos fiables. Los terremotos siguen siendo fenómenos repentinos, inesperados ante los que sólo caben medidas preventivas estructurales y de protección civil.

#### **4. LOS IMPACTOS AMBIENTALES.**

Impacto ambiental es cualquier modificación en los diferentes sistemas terrestres, producida por las actividades humanas. Esta definición implica tanto a los efectos beneficiosos como a los perjudiciales, pero suele utilizarse con una connotación negativa. Una vez más, podemos clasificarlos según el subsistema terrestre que se ve afectado:

a) Impactos sobre la geosfera:

- Erosión de suelos.
- Contaminación de suelos.
- Alteración de las formas del paisaje.

b) Impactos sobre la atmósfera:

- Efecto invernadero.
- Agujero de la capa de ozono.
- Lluvia ácida.
- Smog (sulfuroso y fotoquímico).

c) Impactos sobre la hidrosfera:

- Contaminación de las aguas, en general.
- Mareas negras.
- Eutrofización.
- Sobreexplotación y salinización de acuíferos.

d) Impactos sobre la biosfera:

- Deforestación e incendios.
- Pérdida de biodiversidad: extinción de especies, reducción de las poblaciones, destrucción de ecosistemas, regresiones, pérdida de la riqueza genética.

Otra clasificación de los impactos es la que atiende a su extensión territorial. Los impactos locales afectan a un área reducida como es el caso la contaminación atmosférica de una ciudad o el vertido de aguas residuales de una industria en un punto concreto de un río. Otros impactos son regionales como la marea negra del Prestige que afectó a las costas gallegas o la lluvia ácida que afecta a varios países del centro de Europa. Los impactos globales afectan a todo el planeta como el calentamiento global o el agujero de la capa de ozono y son más difíciles de solucionar porque requieren la actuación conjunta de todos los países.

Reducir el impacto de las actividades humanas es una necesidad imperiosa. Los ciudadanos y ciudadanas deben asumir estilos de vida más austeros pero, además, son necesarias medidas legales, fiscales, financieras, de ordenación del territorio, de educación ambiental, etc. Comentaremos estas medidas en el apartado 5.3 y aquí nos centraremos en la evaluación de impacto ambiental”

Evaluación de impacto ambiental (EIA) es el proceso de análisis encaminado a identificar, predecir, interpretar y valorar, prevenir y comunicar el efecto de un proyecto sobre la salud y el bienestar humano, incluyendo los ecosistemas naturales. Consiste, por tanto, en detectar previamente el impacto que originaría en un territorio un determinado proyecto en el caso de llevarse a efecto. Se trata de un procedimiento administrativo, a partir del cual, y tras la participación pública, el órgano ambiental oficial podrá emitir el dictamen final o Declaración de Impacto Ambiental con el que se permita o se impida realizar ese proyecto.

La EIA puede servir como método eficaz para la ordenación del territorio, ya que ayuda a detectar los posibles impactos y valora la capacidad de asimilación de los mismos por parte del entorno (capacidad de acogida) y las tasas de renovación de sus recursos. Debe aplicarse a proyectos puntuales (por ejemplo, un cruce de carreteras), grandes proyectos (por ejemplo, un tendido eléctrico) o planes de ordenación global (por ejemplo, una zona turística).

La EIA requiere el trabajo en equipo de especialistas en diversas disciplinas: biología, química, geología, geografía, economía, etc. La herramienta de trabajo habitual es la matriz de impacto ambiental, un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones que pueden provocar alteración y en cuyas filas aparecen los factores o elementos del medio susceptibles de ser alterados. Ejemplos de acciones son los vertidos de aguas residuales, la alteración de la cubierta vegetal, las construcciones, las excavaciones, el aumento del tráfico, el depósito de materiales y escombros, etc. En cuanto a los elementos del medio que pueden verse alterados se diferencian:

- Factores físicos: calidad del aire, ruido, clima, geomorfología, hidrología, suelo.
- Factores biológicos: flora, fauna, paisaje.
- Factores socioeconómicos: población, patrimonio histórico, productividad.

Una de las matrices más conocidas es la de Leopold que recoge un total de 100 acciones y 88 factores ambientales. En cada casilla se valora el impacto de cada acción sobre un elemento concreto mediante la expresión M/I, siendo M la magnitud o cantidad del posible impacto, e I la importancia de la alteración del factor ambiental considerado. Ambas son valoradas de 1 a 10 por medio de unas escalas establecidas por expertos, poniéndose delante el signo (+) si el impacto es beneficioso, y el signo (-) si es perjudicial.

Actuaciones propuestas causantes de posibles impactos ambientales			Modificación del régimen		Transformación del suelo			Cambios en el tráfico		Localización de vertidos				
			Tala y destrucción	Pavimentación	Construcción de edificios	Líneas comunicación eléctrica	Desmonte y terraplén	Efectos mecánicos del pisoteo	Ruidos y emanaciones de vehículos	Descarga de efluentes líquidos	Construcción de fosas sépticas			
Elementos y características ambientales	Tierra	Suelos	3	2	1	1	3	7	2	1	8	18	21	
		Factores físicos singulares	5	10	10	1	7					8	43	
	Agua	Calidad agua superficial	1				1	1		5	6	8	9	3
		Calidad agua subterránea	2									1	3	12
Procesos	Erosión	3	6			2	4	4			9	9	17	
Características físicas y químicas	Flora	Árboles	2	10			1	3				6	14	27
		Arbustos	3	10			1	5	3			10	16	
		Estrato herbáceo	3	8				7	5	1	2	11	15	45
	Fauna	Aves	3	8	1	1	4	2	3	1		8	15	38
		Especies terrestres	3	2	1	1	2	3	3	1		14	13	
		Especies acuáticas	7	2	1		1	1	1			6	8	
		Especies en peligro	3	10	1	10	3		3	8	1	2	10	34
Factores culturales	Usos del suelo	2	10	1	10	3	10	5			7	35	35	
	Intereses estéticos y humanos	Paisaje (vistas)	5	4	3	2	5	3	2			22	29	44
		Naturalidad	3	2	1	1	3	3	4	1		22	29	
Magnitud del Impacto		32	14	10	7	21	40	15	14	2	36	65		
Importancia		46	75	45	60	19	35	30	17	19	11	155	311	
				120			114		47		30			

**Etapas históricas en la relación de la humanidad con la naturaleza.**

A lo largo de la historia de la humanidad ha variado mucho su relación con la naturaleza. Básicamente se pueden diferenciar tres etapas principales:

a) La etapa de cazador-recolector abarca desde los orígenes de la humanidad hasta hace unos 10.000 años. Durante esta época sólo se extrajeron alimentos y madera, sobre todo como combustible. Las poblaciones humanas eran nómadas y su impacto sobre el medio era apenas superior al de otra especie animal. La población mundial se mantuvo en torno a los 5 millones de individuos.

b) Hace 10.000 años se produjo el descubrimiento de la agricultura y la ganadería lo que propició un espectacular crecimiento demográfico y el que las poblaciones se hicieran sedentarias; este conjunto de cambios se conoce como Revolución Neolítica. La población llegó a 100 millones en el año 3.000 a. de C.; después el crecimiento fue más lento alcanzándose 500 millones en el siglo XVII. Los excedentes alimentarios permitieron que parte de la población se dedicara a otras tareas como la fabricación de herramientas, el comercio... Empezaron a utilizarse otras fuentes de energía como la tracción animal y las energías hidráulica y eólica. El impacto sobre el medio natural fue espectacular: el paisaje natural dio paso a amplias zonas deforestadas para la agricultura y el pastoreo; no obstante, esta acción se limitó a las zonas más pobladas.

c) La etapa industrial y tecnológica abarca desde la Revolución Industrial hasta nuestros días. En el siglo XVIII los bosques ingleses ya estaban muy mermados y empezó a usarse el carbón mineral como fuente de energía. La revolución despegó con el carbón y la máquina de vapor; a partir de ahí, a un ritmo frenético, han ido surgiendo cada vez más máquinas y más industrias, al tiempo que se iban desarrollando nuevas fuentes de energía: petróleo, gas, combustibles nucleares... Esto ha permitido un crecimiento desorbitado de la población mundial hasta los 6.000 millones actuales. Una población tan numerosa y, sobre todo, un estilo de vida consumista han determinado enormes presiones sobre el medio natural a nivel planetario que pueden conducir a una degradación irreversible y al agotamiento de los recursos.

**5.LA GESTIÓN DEL PLANETA.****5.1. Modelos de desarrollo.****a) Modelo de desarrollo incontrolado.**

La situación descrita en el párrafo anterior se conoce como explotación incontrolada: se trata de extraer el máximo beneficio de los recursos naturales, generar riqueza y bienes de consumo que promuevan un crecimiento económico o desarrollo económico sin tener en cuenta el deterioro del medio natural.

El desarrollismo económico se fundamenta en que los recursos son ilimitados pero esto no es cierto. El caso más evidente es el de los combustibles fósiles que mueven a nuestro mundo y cuyas reservas son cada día más escasas. ¿Qué pasará cuando se agoten? ¿Se paralizará el crecimiento económico y sobrevendrá un colapso mundial?

Por otra parte no se puede potenciar un desarrollo económico sin tener en cuenta sus costes ambientales: deforestación, cambio climático, destrucción de la capa de ozono, contaminación de las aguas, pérdida de biodiversidad, etc. Se impone por tanto la búsqueda de modelos económicos alternativos.

### b) Modelo de desarrollo conservacionista.

En los años sesenta y setenta, a la vez que se expandía el movimiento ecologista, se generalizó la preocupación por los problemas ambientales. Se tomó conciencia de la gravedad de la crisis ambiental y surgió el movimiento conservacionista. Se proponía detener el avance económico para evitar daños en el entorno, proteger el medio ambiente mediante medidas restrictivas, evitar la superpoblación y el agotamiento de recursos.

Estas propuestas surgieron en algunos sectores de los países desarrollados pero fueron totalmente rechazadas por los países subdesarrollados, que tenían como prioritaria la lucha contra el hambre y la pobreza en sus respectivos países. El diálogo entre el Norte y el Sur se hizo difícil porque estaban preocupados por distintos problemas:

- A los países ricos les preocupaba la contaminación debida a su industrialización y valoraban la relación entre medio ambiente y salud. Por otra parte, habían comenzado a dudar de los dos postulados básicos de su etapa de desarrollo industrial: de la omnipotencia del ser humano (que sería capaz de solucionar cualquier problema mediante los avances tecnológicos) y de la idea de que la naturaleza es indestructible (que era capaz de asumir cualquier impacto).
- A los países pobres (o en vías de desarrollo) les interesaba desarrollarse económicamente para erradicar la pobreza de su creciente población y para paliar su ruina económica, acentuada por una creciente deuda externa.

### c) Desarrollo sostenible.

A medio camino entre la explotación incontrolada y el conservacionismo a ultranza surge un modelo alternativo: el desarrollo sostenible. Este concepto fue planteado por primera vez en el documento *Nuestro futuro común* (1987), presentado por la ministra noruega Brundtland ante las Naciones Unidas: el desarrollo sostenible satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

Con dos palabras se intenta aunar el crecimiento económico de todas las naciones (desarrollo) con el cuidado del medio natural, para que pueda mantenerse para las futuras generaciones (sostenibilidad). Una sociedad sostenible controla su crecimiento económico, la contaminación, el agotamiento de recursos y el tamaño de su población para que no exceda a la capacidad de carga marcada por la naturaleza, sin deteriorarla ni hipotecar las posibilidades de las futuras generaciones. La sostenibilidad se concreta en:

- La tasa de consumo de recursos renovables debe ser igual o inferior a su tasa de renovación.
- Reducir el consumo de recursos no renovables y dedicar parte de los beneficios que proporcionan a investigar y desarrollar recursos renovables para que los sustituyan.
- La tasa de generación de contaminación no debe exceder a la capacidad de asimilación de la misma por parte del entorno.

En la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, el concepto de desarrollo sostenible fue plenamente asumido en todos los documentos aprobados. Se insistió en una gestión global para erradicar la pobreza, utilizar mejor los recursos y proteger los ecosistemas. Los países ricos se comprometieron a reducir su consumo energético y la contaminación y a destinar un 0,7 % de su producto interior bruto al Sur. Éste, por su parte, habría de proteger sus bosques y

desarrollarse de forma sostenible con la financiación aportada por el Norte que, lejos de ser la estipulada, se ha visto mermada en los últimos años. Buena parte de los compromisos asumidos no se han cumplido y cada pocos años asistimos a una nueva “cumbre” sobre temas ambientales en la que se adoptan nuevas medidas pero, en general, los avances son lentos.

Además de las medidas impulsadas por los líderes mundiales debemos reseñar otras de escala menor, por ejemplo las de ámbito municipal. Muchos ayuntamientos y otras instituciones han puesto en marcha su propia “Agenda 21” que incluye medidas concretas de desarrollo sostenible en su ámbito de actuación.

También se impone un cambio de mentalidad de la ciudadanía que ha de pasar de un consumo ciego de los recursos a un consumo responsable que tenga en cuenta la repercusión de nuestras acciones en el resto de la humanidad y en el medio ambiente.

## **5.2.Hacia un desarrollo sostenible.**

Para alcanzar el desarrollo sostenible cada estado tiene que realizar una adecuada gestión ambiental que incluya medidas preventivas y correctivas para evitar o reparar daños en el medio ambiente. La mayoría de estas medidas se comentan en otros capítulos de la asignatura; aquí nos limitamos a recopilarlas y comentarlas brevemente:

a) Espacios protegidos. Determinadas zonas, por su especial valor, han de tener una especial protección por su especial valor botánico, zoológico y paisajístico. Desde el año 1969 la UNESCO ha reconocido muchas áreas e interés biológico que son catalogadas como Reservas de la Biosfera. Además, en España tenemos varias categorías de espacios protegidos:

- Parque Nacional: espacio natural protegido de relativa extensión con una riqueza natural que lo hacen especialmente valioso por lo que su conservación se declara de interés nacional y prevalece sobre todos los demás usos. En Andalucía hay dos parques nacionales: Doñana y Sierra Nevada.
- Parque Natural (P.N.): es un espacio natural protegido relativamente extenso en el que se cuida la conservación y la explotación de recursos primarios y el turismo rural. En la provincia de Granada contamos con el P.N. Sierra de Huétor, el P.N. Sierra de Baza, el P.N. Sierra de Castril, el P.N. Sierra Nevada (no incluye las zonas de cumbres que pertenecen al parque nacional del mismo nombre) y el P.N. Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama.
- Reserva Natural: espacio natural protegido, de extensión reducida, pero muy valioso en el que sólo son admitidos usos científicos y didácticos. Frecuentemente se trata de humedales como ocurre con la Reserva Natural Charca de Suárez en Motril.
- Monumento Natural: árboles singulares, yacimientos paleontológicos, formaciones geológicas curiosas y otros elementos aislados que merecen un reconocimiento y una protección especial. Ejemplos: Cueva de las Ventanas, Falla de Nigüelas, Cárcavas de Marchal, Tajos de Alhama...

b) Medidas legales. Incluyen normas de distinto rango que promueven la protección del medio ambiente regulando la contaminación del agua, la contaminación atmosférica, los residuos, los ruidos, los espacios protegidos, la restauración de zonas deterioradas, etc. En España contamos con las normas dictadas por cada comunidad autónoma, las del Estado Español, las de la Comunidad Europea y algunos convenios internacionales como los derivados de la Cumbre de Río.

c) Medidas financieras destinadas a apoyar con subvenciones y préstamos a las empresas que reduzcan su impacto ambiental y a la investigación y desarrollo de tecnologías respetuosas con el medio ambiente.

d) Medidas fiscales. Se trata de suprimir o reducir los impuestos a las empresas ya mencionadas en el párrafo anterior y de aumentárselos a las que no sean respetuosas con el medio ambiente, que se verían obligadas a pagar un “canon ecológico”.

e) Ordenación del territorio. Es un proceso de planificación que consiste en definir los distintos sectores de una región determinada y establecer el uso más conveniente para cada uno de esos sectores atendiendo a su capacidad de acogida.

f) Evaluación de impacto ambiental. Es un proceso de análisis encaminado a determinar y valorar los efectos de un determinado proyecto, aún por realizar, sobre la salud, el bienestar humano y los ecosistemas naturales. La principal herramienta utilizada es la matriz de impacto ambiental, un cuadro de doble que recoge, en las columnas, las acciones que pueden provocar alteración y, en las filas, los elementos del medio susceptibles de ser alterados. A veces un proyecto se considera viable aunque se reconozcan ciertos impactos; en estos caso se ponen en marcha “medidas compensatorias”, conjunto de actuaciones encaminadas a reducir los impactos negativos de un determinado proyecto.

g) Ecoeficiencia. Se consideran ecoeficientes a los mecanismos de producción y consumo que son respetuosos con el medio ambiente (gastar poca agua, usar energías renovables, no contaminar, etc.) a la vez que son competitivos en cuanto al precio. Una empresa se puede someter voluntariamente a una “ecoauditoría”, un proceso para determinar su grado de respeto del medio ambiente y la administración puede conceder una “ecoetiqueta” a sus productos; así el productor puede atraer a ciertos compradores.

h) Educación ambiental. Es el conjunto de actuaciones destinadas a inculcar en la población actitudes y comportamientos de respeto y cuidado del medio ambiente. La educación ambiental se lleva a cabo tanto en los centros de enseñanza (educación formal) como fuera de ellos (educación no formal) como, por ejemplo, las campañas de sensibilización en los medios de comunicación.

## **EJEMPLOS DE PREGUNTAS DE LA P.A.U.**

### **PREGUNTAS-TEMA.**

1. Recursos naturales: concepto, tipos de recursos y su aprovechamiento sostenible.
2. Los riesgos naturales: Concepto de riesgo, tipos, factores de riesgo y prevención.
3. Recursos naturales. Concepto. Tipos de recursos: renovables, no renovables y potencialmente renovables.
4. La tierra como sistema. Interacción entre las grandes capas terrestres (subsistemas).

### **PREGUNTAS BREVES.**

1. Defina la Tierra como un sistema.
2. ¿Cómo se definen los subsistemas terrestres? ¿Cuáles son?
3. Cite dos resultados de las interacciones entre la geosfera y la hidrosfera.
4. Cite tres interacciones entre la atmósfera y la biosfera
5. Concepto de medio ambiente.

6. Indique cuatro actividades humanas que alteran gravemente el medio ambiente.
7. Defina “recurso natural”. Indique los tipos de recursos naturales y ponga un ejemplo de cada tipo
8. Concepto de impacto ambiental. Cite un ejemplo y sus efectos.
9. Indique los objetivos de la Evaluación de Impacto Ambiental
10. Concepto y tipos de riesgos naturales. Ponga un ejemplo de cada tipo.
11. Indique dos tipos de medidas de protección frente a riesgos naturales. Mencione ejemplos para cada uno de ellos.
12. Enumere y explique los factores de riesgo
13. Enumere y explique los factores que definen la evaluación de los riesgos naturales
14. Concepto de riesgo inducido. Ponga un ejemplo.
15. ¿El crecimiento de la población es un factor de impacto ambiental? Razone la respuesta.
16. Cite tres diferencias entre agricultura intensiva y tradicional
17. Cite tres características de la agricultura ecológica
18. Explique brevemente las diferencias entre los modelos de “desarrollo conservacionista” y “desarrollo sostenible”
19. Explique brevemente las diferencias entre los modelos de “desarrollo incontrolado” y de “desarrollo sostenible”.
20. Concepto de desarrollo sostenible
21. Concepto de modelo de desarrollo incontrolado.
22. Concepto de modelo de desarrollo humano conservacionista.
23. ¿En qué modelo de desarrollo encuadraría el consumismo actual de los países desarrollados? Enumere las consecuencias a corto y largo plazo.

#### PREGUNTAS DE APLICACIÓN.

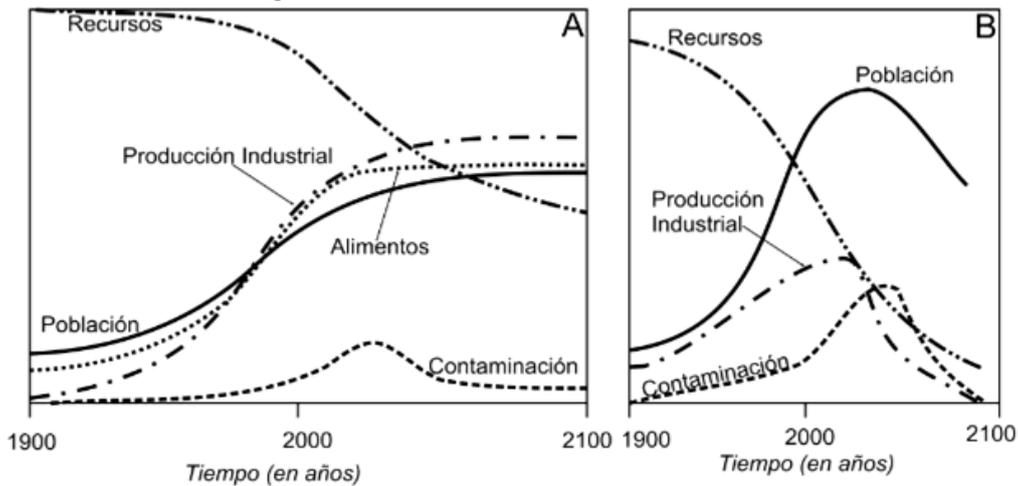
1. La tabla adjunta muestra datos del período comprendido entre 1960 y 1981, de dos países situados en zonas sísmicamente muy activas.

	Japón	Perú
<b>Nº de terremotos destructivos</b>	43	31
<b>Nº de víctimas</b>	2700	91000
<b>Nº de habitantes</b>	104 millones	15 millones
<b>Renta per cápita (\$ USA)</b>	25000	1000

A partir de los datos de dicha tabla, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- a) ¿En qué país existe una mayor peligrosidad sísmica?
- b) ¿Cómo explicaría el hecho del gran número de víctimas en Perú a pesar de tener mucha menor población que Japón?
- c) ¿En cuál de estos dos países es mayor la exposición?

2. A partir de las gráficas adjuntas en las que se representa la evolución de diferentes indicadores económicos y ambientales mundiales desde 1900 hasta la actualidad y la previsión hasta 2100, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:



- Relacione entre sí los parámetros representados en la gráfica A.
- Relacione entre sí los parámetros representados en la gráfica B.
- ¿En qué modelo de desarrollo económico encuadraría cada una de las situaciones mostradas en las gráficas A y B? ¿Qué cambios deben de producirse para pasar del modelo menos favorable al más favorable para un desarrollo sostenible? Cite dos medidas para conseguirlo.

5. La tabla adjunta muestra algunos datos relativos a las inundaciones por desbordamiento generalizado de los ríos Níger (Nigeria, Golfo de Guinea, África) y Rhin (Alemania y Holanda, Europa), ambos en su curso bajo, en llanuras próximas a su desembocadura en el mar.

PERÍODO: 1920-1990	NÍGER	RHIN
Nº de inundaciones	24	31
Nº total de víctimas	87.000	4.700
Población (en la cuenca del río)	62 millones	77 millones
Renta <i>per capita</i> anual (en US\$)	1.050	22.000

Admitiendo que todos los episodios de desbordamiento de ambos ríos tienen una magnitud similar, responde razonadamente a las siguientes preguntas:

- ¿En cuál de las dos zonas consideradas existe mayor peligrosidad por inundaciones?
- Compare la exposición y la vulnerabilidad a las inundaciones originadas por estos ríos en sus regiones respectivas.
- ¿En cuál de estas dos regiones del mundo existe un mayor riesgo de inundación? ¿Por qué?

6. Resuelva las cuestiones planteadas a partir de la siguiente situación:

Se proyecta construir un campo de golf con una urbanización integrada, respetando la topografía actual de la zona, en las proximidades de un humedal que es parque nacional.

Durante la construcción y uso posterior se prevén las siguientes acciones con posible generación de impactos:

- A. Alteración de la cubierta vegetal autóctona.
- B. Consumo de agua del acuífero.
- C. Vías de acceso.
- D. Implantación y tratamiento del césped con regadío, abonos y plaguicidas.

Tabla de impactos

Componente ambiental	Acciones susceptibles de generar impactos			
	A	B	C	D
Relieve y suelo				
Aguas superficiales				
Acuíferos				
Flora				
Fauna				

- a) Copie la tabla y marque con una X qué componentes ambientales se verán más directamente afectados por cada una de estas acciones.
- b) Describa brevemente, el tipo de impacto que se genera en uno de estos componentes.
- c) ¿Qué acción correctora o minimizable del impacto propondría como alternativa al mantenimiento del césped descrito en D?

## **II. GEOSFERA.**

### **1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA. TECTÓNICA DE PLACAS.**

#### **1.1. Estructura y composición (modelos geoquímico y dinámico).**

Cálculos derivados de la ley de la gravitación universal nos han revelado que la densidad del conjunto de la Tierra es de 5.5 g/cc. Sin embargo, la mayoría de las rocas que encontramos en la superficie de la Tierra tienen una densidad que oscila en torno a 3 gr/cm<sup>3</sup>, lo que sugiere que la densidad aumenta hacia el centro de la Tierra. Esto es lógico si tenemos en cuenta el origen de la Tierra: a la vez que se estaba formando el Sol, el protoplaneta Tierra aumentaba su tamaño por un incesante bombardeo meteorítico que mantuvo muy caliente todo el planeta y en un estado físico más o menos fluido; en esas condiciones es lógico que los elementos químicos más densos se hundieran por gravedad y ocuparan las zonas más profundas del planeta.

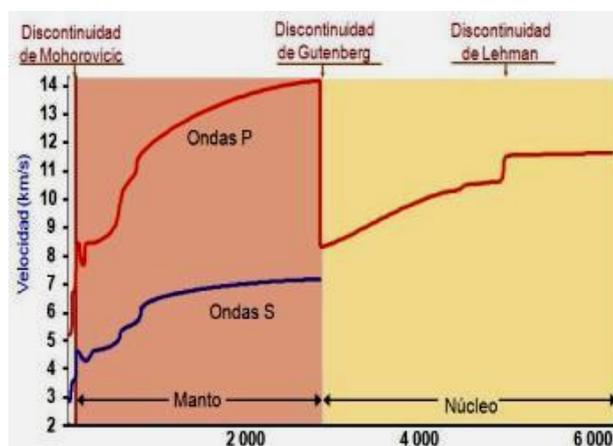
La composición química de las rocas de la superficie de la Tierra está dominada por dos elementos: el silicio y el oxígeno; son elementos secundarios aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio. Esta composición química está en consonancia con una densidad de 3 g/cc pero, ¿cuál es la composición química de las muy densas rocas del centro de la Tierra? Los meteoritos nos ayudan a responder a esa pregunta; ellos se formaron en la misma época que la Tierra y son representativos de la composición química de los planetas interiores del Sistema Solar. Pues bien, la mitad de los meteoritos que impactan sobre nuestro planeta tienen una composición silicatada (como nuestra corteza) pero la otra mitad son ricos en hierro; así que es lógico suponer que el núcleo de la Tierra también esté dominado por el hierro y otros elementos químicos afines a él, entre ellos el níquel. Esto también explicaría el magnetismo de la Tierra.

Un conocimiento más profundo del interior de la Tierra nos lo ha ofrecido el método sísmico. Cada vez que se produce un terremoto un haz de ondas sísmicas atraviesa el interior terrestre y las ondas pueden ser registradas en la superficie con un sismógrafo. Este registro, convenientemente interpretado, nos informa de cómo es la Tierra por dentro de manera semejante a cómo una radiografía nos informa del estado de nuestros huesos. Las ondas sísmicas más interesantes para este objetivo son las ondas P y las ondas S:

- Ondas P o primarias, longitudinales o compresivas: son las más rápidas y atraviesan todo tipo de materiales. También se denominan ondas longitudinales o compresivas, términos que aluden a que la vibración se produce en la misma dirección que la propagación de la onda.
- Ondas S o secundarias: son más lentas y sólo atraviesan materiales sólidos. También se llaman transversales o de cizalla porque la vibración es perpendicular a la dirección de avance de la onda.

La información sísmica puede ser representada en gráficos que muestran cómo varía la velocidad de las ondas hacia el interior de la Tierra. En el eje de abscisas se coloca el camino recorrido por las ondas, desde la superficie del planeta hasta el centro, y en el eje de ordenadas la velocidad de las ondas sísmicas. La velocidad de las ondas varía en función de las características del material atravesado. Es mayor cuanto mayor sea la rigidez del material; también depende de la densidad y existen fórmulas matemáticas que permiten establecer la densidad de los materiales a partir de la velocidad de las ondas.

Las curvas de variación de velocidad de ondas sísmicas no suelen ser trazos continuos sino que muestran cambios bruscos de pendiente, escalones e incluso interrupción de las ondas S. Todas estas anomalías se consideran discontinuidades sísmicas y corresponden a superficies que separan distintos materiales. Las discontinuidades también se han deducido de la existencia de zonas de sombra sísmica. En principio, cualquier terremoto importante emite ondas sísmicas que llegarían a toda la superficie del planeta si no fuera porque en las discontinuidades se produce refracción y las ondas son desviadas.



Las discontinuidades se suelen designar con el nombre de su descubridor siendo la más importante la de Gutenberg, a 2900 km de profundidad, que marca el inicio del núcleo terrestre. Coincide con una caída brusca de la velocidad de las ondas P ( $V_p$ ) y una interrupción definitiva de las ondas S. Esta discontinuidad marca el inicio de una zona líquida, aunque esto no permite afirmar que todo el núcleo sea líquido.

Otra discontinuidad muy conocida es la de Mohorovicic, o simplemente Moho. Su profundidad es variable, oscilando entre 10 km y 40 km. Su existencia se ha deducido de un brusco incremento de  $V_p$  y  $V_s$ . La naturaleza de la corteza en los continentes es muy diferente de la corteza bajo los océanos: esta última es más delgada y más densa siendo su composición media similar a la de los gabros y basaltos. En cambio, la corteza continental tiene una densidad menor, asimilable a la del granito y tiene un mayor grosor especialmente en las cordilleras de montañas. El límite entre la corteza continental y la corteza oceánica es gradual y no se sitúa en la costa sino mar adentro, aproximadamente en el talud continental.

Con las dos discontinuidades anteriores queda un planeta dividido en tres zonas que llamaremos corteza, manto y núcleo. Ésta es división en capas refleja sobre todo cambios de composición química por lo que también se conoce como modelo geoquímico de la estructura terrestre: corteza y manto son de naturaleza silicatada (con mayor riqueza en aluminio en el caso de la corteza) mientras que en el núcleo predominan el hierro y el níquel.

El modelo dinámico diferencia la litosfera, astenosfera, mesosfera y endosfera. Se trata de una división en capas de la Tierra que pone el énfasis en el estado físico de cada capa y en la posibilidad de desplazamiento de unas capas con respecto a otras. El modelo dinámico arranca del descubrimiento de otra discontinuidad, menos relevante en las gráficas pero muy importante para entender la dinámica cambiante de continentes y océanos. Se trata del “canal de baja velocidad”, situado a una profundidad media de 100 km. Su nombre se debe a una disminución tanto de  $V_p$  como de  $V_s$  debida a una reducción de la rigidez de los materiales atravesados; con esto no estamos diciendo que haya una zona líquida pero sí es probable que haya un porcentaje mínimo de fundido.

La zona situada por debajo del canal de baja velocidad, que llamaremos astenosfera, tiene un comportamiento mucho más plástico que la zona suprayacente rígida a la que llamaremos litosfera y que incluye la corteza y la parte superior del manto. Esta diferencia de comportamiento mecánico hace posible que la litosfera se desplace sobre la astenosfera, desplazamiento que es la base de la teoría de la tectónica de placas. Las últimas investigaciones sugieren que la zona de comportamiento plástico (astenosfera) no es una capa continua por debajo de la litosfera.

Las discontinuidades señaladas hasta ahora son las más importantes pero todavía hay otras, a veces llamadas de segundo orden, que comentamos a continuación:

- Se supone que desde el canal de baja velocidad (100 km) hasta la base del manto (2900 km) no todo es material plástico y que hay otra zona rígida, la mesosfera, por debajo de la astenosfera. No se sabe si el paso de una a otra es brusco o gradual. Algunos científicos piensan que hay un cambio brusco coincidiendo con la discontinuidad de Repetti a 800 km.
- La discontinuidad de Wiechert-Lehman (5100 km) divide al núcleo (también llamado endosfera) en dos partes. A partir de la profundidad citada se produce un incremento de  $V_p$ , lo que equivale a una mayor rigidez y es que probablemente el núcleo interno sea sólido. ¿Por qué, entonces, no atraviesan las ondas S, el núcleo interno? Lógicamente se interrumpieron a 2900 km de profundidad y ya no pueden volver a aparecer aunque haya materiales sólidos.

En la tabla siguiente tabla, a modo de resumen, se recogen las diferentes capas, su estado físico y sus principales componentes químicos:

CORTEZA		LITOS- FERA	Sólida, rígida	Silicatos (O, Si...)
40 km: discontinuidad de Moho				
MANTO	MANTO SUPERIOR			
	ASTENOSFERA		Sólida, plástica	
	MESOSFERA		Sólida, rígida	¿Óxidos y sulfuros?
2.900 km: discontinuidad de Gutenberg				
NÚCLEO EXTERNO			Líquida	Fe, Ni
5.100 km: discontinuidad de Weichert-Lehman				
NÚCLEO INTERNO			Sólida	Fe, Ni

## **1.2.Dinámica de placas.**

### Historia de una teoría.

La teoría de la tectónica de placas nació en torno al año 1965, está emparentada con la deriva continental de Wegener a la que supera, incluye a la teoría de la expansión oceánica y se apoya también en datos geofísicos sobre el interior de la tierra.

a)La deriva continental.

Wegener planteó a principios del siglo XX que los continentes se movían y que, al desplazarse podían chocar uno con otros formándose cordilleras en las zonas de sutura. Además consiguió unir los bordes de los continentes actuales en un gran supercontinente o Pangea que debió existir hace 250 millones de años. Wegener aportó numerosas pruebas para demostrar su teoría:

- El encaje de costas, especialmente el que existe entre África y América del Sur.
- El perfecto ajuste de rasgos geológicos, como cordilleras o afloramientos de determinadas rocas, cuando se enlazan los continentes situados en el hemisferio sur.
- La existencia en casi todos los continentes de rocas indicadoras de paleoclimas muy diferentes a los actuales, por ejemplo sedimentos de origen glacial en África. Según Wegener tales cambios se deben a que los continentes han cambiado de posición, de latitud y, por tanto de zona climática: África, por ejemplo, estuvo situada en el polo sur.
- Estudiando fósiles de la misma edad en África y América del Sur, se observan curiosas coincidencias. A veces aparece el mismo fósil aunque se sepa que pertenece a un organismo que, por su forma de vida, nunca pudo cruzar el Atlántico.

A pesar de todas estas pruebas los detractores de Wegener consiguieron casi apagar sus ideas que no fueron resucitadas hasta mitad del siglo XX y sobre todo hasta los años sesenta. Hoy se acepta la movilidad de los continentes aunque se rechazan elementos de la teoría de Wegener. Especialmente es criticable su modelo de bloques continentales moviéndose sobre la corteza oceánica; sabemos que se mueven entidades mayores, las placas, y que los continentes viajan sobre ellas.

#### b) La expansión oceánica.

En los años cincuenta, con la tecnología desarrollada en la Segunda Guerra Mundial para detectar submarinos, se llegó a obtener un mapa de los fondos oceánicos. La técnica empleada fue la del sonar: emitir ondas desde un barco al fondo marino y esperar el regreso de las ondas al barco después de haber rebotado en el fondo; cuanto más tardara en llegar la onda más profundo sería el fondo.

Buques oceanográficos surcaron los mares y proporcionaron una imagen nunca vista de los mares. Revelaron poderosos relieves submarinos: una cordillera llamada dorsal que divide al Atlántico en dos partes iguales y que se prolonga hacia el Índico y el Pacífico; además profundas depresiones alargadas, fosas de hasta 10.000 de profundidad. Cuando los geólogos contemplaron esa imagen cambiaron sus objetivos: ya no se trata simplemente de resolver el enigma del origen de las montañas, sino conseguir un modelo de dinámica cortical capaz de explicar las cordilleras, las dorsales y las fosas.

Los buques oceanográficos, mediante sondeos y batiscafos, también proporcionaron información sobre la naturaleza de los fondos oceánicos. Aunque parcialmente cubiertas de sedimentos, las rocas dominantes eran volcánicas del tipo del basalto, frecuentemente redondeadas por lo que se conocen como lavas almohadilladas; la misma dorsal resultó ser una fisura volcánica.

Se detectó que el espesor de la cubierta sedimentaria aumentaba desde la dorsal hacia el continente. También llamó la atención que los basaltos en la zona de la dorsal son recientes y que su edad aumenta hacia el continente. Con estos datos, en el año 1960 Hess formuló su teoría de la expansión oceánica. Según esta teoría la continua inyección de materiales magmáticos en la zona de la dorsal hace que aumente la anchura de los océanos (más exactamente aumenta la litosfera oceánica) y, por tanto varía la distancia entre continentes. Este es pues el verdadero mecanismo de deriva continental que tanto le hubiera gustado conocer a Wegener.

#### c) El plano de Benioff y la subducción.

Los estudios de terremotos producidos en zonas de fosa han aportado el siguiente dato: la profundidad de los hipocentros aumenta desde la fosa hacia el continente (o hacia la isla volcánica), hasta un máximo de 700 Km. La interpretación la debemos a Benioff que afirma que la litosfera oceánica se introduce en el manto siguiendo un ángulo de unos 45°. Este

fenómeno se denomina subducción y es fundamental para la tectónica de placas porque explica:

- La destrucción de la litosfera oceánica para compensar la creación en las dorsales.
- Las fosas y las cordilleras periocéánicas.
- La colisión y las cordilleras intracontinentales como la consecuencia de la subducción completa de la litosfera oceánica entre dos continentes.
- Los terremotos como consecuencia del movimiento de placas.
- El vulcanismo debido al roce de las placas.

d) Las corrientes de convección.

El desprendimiento de calor, también llamado flujo térmico, no es uniforme en toda la Tierra. Es particularmente elevado en las dorsales oceánicas. Esto sugiere que el calor no está distribuido homogéneamente en el interior terrestre. En el manto terrestre, teóricamente, la temperatura debería aumentar hacia el centro y debería ser semejante en dos puntos a igual profundidad. Sin embargo, mediante tomografía sísmica se ha demostrado que la distribución del calor terrestre es irregular encontrándose a una misma profundidad zonas calientes y zonas frías. Como consecuencia se establece una circulación de materiales calientes hacia arriba y fríos hacia abajo, es decir corrientes de convección.

Las corrientes de convección del manto son las responsables del movimiento de las placas litosféricas. En algunos puntos los “chorros de calor” arrancan de la base del manto y llegan hasta la litosfera generando magmas y actividad volcánica; son los llamados puntos calientes como el de Hawai.

Las corrientes de convección son el motor que mueve las placas litosféricas y el movimiento de las placas, a su vez, explica multitud de fenómenos geológicos. Todo ello se recoge en la Teoría de la Tectónica de Placas que resumimos a continuación.

La litosfera es la capa externa de la Tierra, hasta unos 100 km aproximadamente incluyendo la corteza y el manto superior. La cifra anterior es orientativa ya que la estructura y composición de la litosfera es diferente en continentes y océanos: hay una litosfera continental y una litosfera oceánica, esta última más delgada y más densa (3 g/cc frente a 2.7 g/cc de la litosfera continental). Lo que sí tienen en común es su rigidez bajo la capa infrayacente, la astenosfera, dotada de cierta plasticidad.

La litosfera está dividida lateralmente resultando una serie de placas litosféricas que se desplazan entre sí sobre una zona de comportamiento plástico, probablemente no una capa continua. Los límites entre placas litosféricas pueden ser de tres tipos:

a) Las dorsales o bordes constructivos.

Las dorsales son enormes cordilleras volcánicas submarinas que se encuentran en el límite de dos placas oceánicas: se elevan unos mil o dos mil metros sobre el fondo marino pero sus pendientes son muy suaves. La dorsal mejor conocida se encuentra en medio del Atlántico recorriéndolo de sur a norte, donde excepcionalmente emerge formando Islandia. La dorsal medioatlántica se prolonga hacia el Índico y el Pacífico con una serie de fisuras en su zona central en la que se inyectan basaltos procedentes de cámaras magmáticas situadas bajo el eje de la dorsal; a veces la lava rueda por las pendientes submarinas y se redondea originándose lavas almohadilladas (pillow-lava).

La inyección continua de lava provoca la generación de litosfera oceánica y la expansión del fondo oceánico. Los fondos más antiguos se encuentran, por tanto, lejos de la dorsal y están cubiertos de

sedimentos. El estudio de grosor de la capa sedimentaria y el de la edad de las rocas basálticas son las principales pruebas de la teoría de la expansión oceánica formulada por Hess (1960) que ofrece un mecanismo para explicar la deriva de los continentes: América y Europa, por ejemplo, se separan porque crecen los fondos oceánicos en el Atlántico Norte. Esta actividad justifica que las zonas de dorsal sean también denominadas bordes constructivos.

b) Zonas de fosa, zonas de subducción o bordes destructivos.

Las fosas son estrechas y profundas depresiones marinas que recorren miles de kilómetros. La mayoría de las fosas se encuentran en el Pacífico siendo la más profunda la de las Aleutianas con 11000 km de profundidad. Si la fosa corre paralela a la línea de costa suele estar asociada a una cordillera volcánica; es lo que ocurre con la fosa de Chile y la cordillera de los Andes. Si la fosa se encuentra en medio de un océano suele estar acompañada de una serie de islas volcánicas alineadas como el archipiélago de Japón. Además, de la actividad volcánica, la zona de fosa se caracteriza por una intensa actividad sísmica.

El fenómeno que tiene lugar en una zona de fosa se llama subducción; se trata de una compresión de placas que hace que una placa oceánica se introduzca bajo otra siguiendo un plano de aproximadamente  $45^\circ$ . La placa que subduce se integra en el manto con lo que destruye litosfera oceánica (de ahí que también se denominen bordes destructivos). Este fenómeno fue planteado por Benioff tras observar que la profundidad de los hipocentros aumentaba desde la fosa hacia el arco volcánico. La subducción tiene una componente vertical y hacia abajo que provoca la formación de las fosas. La subducción solo afecta a litosfera oceánica por ser más densa que la litosfera continental; además los fondos oceánicos más alejados de la dorsal, son más fríos y, por lo tanto, más densos lo que favorece su subducción. Esto explica que no haya fondos oceánicos con más de 200 millones de años de antigüedad mientras que la litosfera continental alcanza varios miles de años.

Podemos considerar dos tipos de subducción:

- Si la subducción de litosfera oceánica se produce bajo un continente se genera, además de la fosa, una cordillera costera o perioceánica tipo Andes. Esta cordillera se levanta tanto por la compresión del margen continental asociada a la subducción como por el crecimiento de múltiples edificios volcánicos debido a la intensa actividad magmática. El magmatismo tiene su origen en la fusión de rocas como resultado de la fricción de la placa subducente y la placa cabalgante.
- Cuando la subducción se produce bajo una placa oceánica se produce una fosa y un arco de islas volcánicas. El rozamiento entre placas provoca la formación de magmas y edificios volcánicos submarinos que crecen por adición de nuevas coladas volcánicas hasta emerger dando islas volcánicas como las de Japón.

En ambos casos la presión entre las dos placas se traduce en múltiples fallas en las que hay movimientos discontinuos: periodos de calma interrumpidos por breves episodios en los que se producen saltos de falla y terremotos.

La destrucción de la litosfera oceánica por subducción compensa la creación en las dorsales. Al destruirse litosfera oceánica los continentes se acercan; esto hace que un océano con muchas fosas como el Pacífico esté reduciendo su tamaño. Finalmente, cuando se destruye toda la litosfera oceánica entre dos continentes, estos colisionan y surgen una cordillera intracontinental como el Himalaya resultado de la colisión entre la placa asiática y la placa de la India que estuvo situada

aproximadamente donde hoy se encuentra Madagascar. Las cordilleras resultantes de una colisión presentan numerosas estructuras de deformación por compresión como pliegues, fallas inversas y, especialmente, mantos de cabalgamiento. La abundancia de fallas es la causa de la intensa actividad sísmica de estas regiones.

c) Las fallas transformantes o bordes pasivos.

Las fallas transformantes son un tipo de límite de placas en las que no hay creación ni destrucción de litosfera oceánica, simplemente un desplazamiento lateral a favor de grandes fracturas de la litosfera. Las fallas transformantes se aprecian muy bien en los fondos oceánicos cuando desplazan a la dorsal pero también se pueden encontrar en otros contextos.

La falla transformante más conocida es la falla de San Andrés que recorre el golfo de California de sur a norte y divide en dos el Estado de California. Al oeste de la falla se encuentra la placa Pacífica y de ella forma parte la península de California y ciudades estadounidenses como Los Ángeles y San Diego: estos terrenos se desplazan hacia el norte mientras que la placa Norteamericana lo hace hacia el sur. Se calcula que dentro de 50 millones de años la península de California se encontrará junto a Alaska. Mientras tanto los movimientos en esta zona de falla provocan frecuentes terremotos de gran magnitud.

\*\*\*\*\*

El movimiento de las placas requiere de un motor que se encuentra en zonas más profundas de la Tierra. En el manto terrestre el calor no está distribuido de forma homogénea. Los materiales más calientes tienden a ascender y los más fríos a descender con lo cual se establecen unas corrientes, denominadas de convección, que son las que mueven las placas litosféricas.

La dinámica de placas explica perfectamente la fragmentación del supercontinente que existía hace unos 250 millones de años y al que Wegener llamó Pangea. También está demostrada la existencia de otra Pangea durante la era Primaria o Paleozoico y es posible que haya habido otros supercontinentes durante el Precámbrico. Así pues, podemos hablar de un ciclo (ciclo de Wilson) según el cual un supercontinente se fragmenta debido al calor acumulado bajo él ya que litosfera continental no deja escapar el flujo geotérmico con la misma facilidad que la litosfera oceánica. La separación de los fragmentos continentales es posible gracias a la expansión oceánica que, a su vez, debe ser compensada por subducción en otros puntos del planeta. La subducción en varias zonas culmina con colisiones de continentes que se unen en un nuevo supercontinente.

#### Isostasia.

Los movimientos horizontales de las placas explican la formación de las cordilleras de montañas y de estructuras compresivas. Pero eso no nos debe hacer olvidar que también existen movimientos verticales que no son explicados por la Teoría de la Tectónica de Placas sino por la Teoría de la Isostasia. Según esta teoría la astenosfera se comporta como un nivel de compensación sobre el cual todas las "columnas" de litosfera ejercen el mismo peso. ¿Cómo se explican entonces las enormes variaciones de altitud en los continentes? Se supone que debajo de las montañas la corteza tiene raíces muy profundas; de esta manera la porción de manto litosférico, que es más denso, se reduce y la columna total de litosfera tiene también una densidad menor. Por el mismo motivo en las zonas topográficamente más bajas la corteza continental es más delgada pero esto se compensa con un mayor espesor del manto litosférico.

La situación anterior se conoce como equilibrio isostático pero, a veces, ese equilibrio se rompe y se producen los movimientos verticales. Por ejemplo, cuando una cordillera es erosionada disminuye su peso sobre la astenosfera y, en cambio, aumenta el peso de la zona que recibe los sedimentos. En el caso de la cordillera que se erosiona, el defecto de masa se

debe compensar con más manto litosférico que provoca un levantamiento del terreno. En el caso de la cuenca que recibe sedimentos sucede lo contrario: se reduce el manto, que se mueve lateralmente a otras partes, y se produce un hundimiento de la región. Estos levantamientos y hundimientos isostáticos unidos a la tectónica de placas nos explican la dinámica cortical de nuestro planeta.

## **2.PROCESOS GEOLÓGICOS INTERNOS Y SUS RIESGOS.**

### **2.1.Energía interna de la Tierra.**

Los que trabajan en minas saben que en las galerías más profundas hace más calor; en general la temperatura aumenta 3°C cada 100 metros. Este incremento de la temperatura con la profundidad se conoce como gradiente geotérmico. Si el gradiente geotérmico se mantuviera constante hasta el centro de la Tierra se deberían alcanzar temperaturas de unos 200.000 °C; los geofísicos consideran incompatibles temperaturas tan altas con una Tierra sólida y han estimado que la temperatura máxima es de unos 6.000 °C. Por tanto el gradiente geotérmico de 3°C/100 m sólo es válido para los primeros kilómetros, después el gradiente va disminuyendo.

En cualquier caso vivimos en un planeta que desprende calor ¿Cuál es el origen de ese calor? Si consideramos que en sus orígenes la Tierra fue una esfera incandescente podemos pensar que todavía mantiene parte del calor original. Esa energía fluye lentamente por estar parcialmente retenida por las capas más externas de la Tierra, sólidas y mal conductoras. El calor primordial, originado en la colisión de los planetesimales que conformaron la Tierra, continúa siendo una fuente de calor pero hay otra fuente: el calor liberado por elementos radiactivos que se descomponen espontáneamente.

El desprendimiento de calor, también llamado flujo térmico, no es uniforme en toda la Tierra. Es particularmente elevado en las dorsales oceánicas, esas cordilleras volcánicas submarinas que con miles de kilómetros de longitud recorren todos los océanos. Esto demuestra que el calor no está distribuido homogéneamente en el interior terrestre. En el manto terrestre, teóricamente, la temperatura debería aumentar hacia el centro y debería ser semejante en dos puntos a igual profundidad. Sin embargo, esto no es así, la distribución del calor terrestre es irregular encontrándose a una misma profundidad zonas calientes y zonas frías. Como consecuencia se establece una circulación de materiales calientes hacia arriba y fríos hacia abajo, es decir corrientes de convección. Aunque no se sabe bien cuántos niveles de células convectivas hay en el manto se las considera responsables del movimiento de las placas litosféricas. En algunos puntos los “chorros de calor” arrancan de la base del manto y llegan hasta la litosfera generando magmas y actividad volcánica; son los llamados puntos calientes como el de Hawai.

La energía interna de la Tierra constituye uno de los motores que modifican la corteza terrestre. El calor mueve las placas que ocasionan fricciones y la formación de magmas con la consiguiente actividad volcánica. Por otra parte, el movimiento de las placas deforma las rocas situadas en la zona de contacto:

- Los pliegues se forman cuando las fuerzas son compresivas, por ejemplo en las zonas de subducción y colisión, y las rocas se comportan plásticamente por estar sometidas a altas temperaturas. En los pliegues se pueden diferenciar tres elementos de interés: la charnela, los flancos y el plano axial. Si la charnela ocupa la parte superior el pliegue se denomina antiformal; si está en la parte inferior es una sinformal. El ángulo que forman los flancos es amplio en los pliegues abiertos y de pocos grados en los pliegues cerrados; el pliegue

isoclinal es un caso extremo de pliegue cerrado en el que los flancos son paralelos. Atendiendo a la inclinación del plano axial los pliegues son rectos, inclinados o tumbados.

- En otras ocasiones las rocas se rompen frente a los esfuerzos. Decimos que tienen un comportamiento frágil y el resultado son las fracturas que pueden denominarse fallas si hay un desplazamiento entre los dos bloques. Hay tres tipos principales de falla:
  - En el caso de la falla normal se produce un desplazamiento vertical de un bloque respecto al otro. Las fallas normales son el resultado de esfuerzos distensivos como los que hay en las zonas de dorsal en las cuencas intramontañosas en las que existe una relajación relativa tras la formación del orógeno. Este es el caso de las fallas que rodean a la depresión de Granada.
  - Las fallas inversas también tienen un salto de falla vertical pero son debidas a fuerzas compresivas. Un caso extremo de falla inversa es el manto de cabalgamiento: el plano de falla es casi horizontal y el bloque levantado se desplaza muchos kilómetros sobre el bloque hundido. El apilamiento de varios mantos de cabalgamiento es el responsable de las elevadas altitudes de Sierra Nevada.
  - En las fallas de desgarre o de salto en dirección un bloque se desplaza lateralmente respecto al otro, pero no hay un bloque hundido y un bloque levantado.

## **2.2. Sismicidad.**

### **a) Los terremotos.**

Los terremotos, sismos o seísmos son temblores de tierra que suceden repentinamente y que según su magnitud pueden ser más o menos destructivos. Los daños que originan son mucho mayores que los debidos a riesgos volcánicos: todos los años la actividad sísmica provoca millones de víctimas mientras que las víctimas de los volcanes se cuentan por miles.

La causa de la mayoría de los sismos es un movimiento brusco en una zona de falla. Una falla es una fractura en la que hay un movimiento relativo de los bloques que quedan a ambos lado. El movimiento de la falla no es continuo, no hay desplazamiento durante períodos muy largos y de repente, en segundos, se libera la tensión acumulada. Hay fallas en las que el desplazamiento es lateral (fallas de desgarre) y fallas en las que la componente principal del salto es vertical; éstas, a su vez, pueden ser normales, si las fuerzas responsables de la falla son distensivas, o inversas, si son fuerzas compresivas. Cuando una falla inversa posee un plano de falla el muy tendido el labio levantado se desplaza kilómetros sobre el plano hundido; son los llamados mantos de cabalgamiento.

Las zonas asísmicas son aquéllas en las que nunca suceden terremotos mientras que se llaman zonas sísmicas las que sufren terremotos frecuentes porque tienen fallas activas. Éstas coinciden con los límites de placas ya que el movimiento en los bordes de placas suele producir fracturas: los terremotos de Méjico y Japón están relacionados con la subducción; los terremotos de Turquía y los de la Península Ibérica se deben a la colisión continental; los famosos terremotos de San Francisco están asociados a la falla transformante que separa la Península de California del resto de Norteamérica.

La intensidad de un terremoto nos indica los destrozos que origina. La escala de intensidad fue ideada por Mercalli y abarca desde terremotos de grado I, difícilmente perceptibles, hasta terremotos de grado XII que corresponde a la destrucción total. Pero el grado de destrucción no depende sólo del terremoto, también influye el que se trate de una zona más o menos poblada, que

las construcciones sean más o menos resistentes, etc. Así pues, la escala de intensidad incluye el concepto de exposición. En la actualidad se maneja una escala de Mercalli modificada conocida como MSK.

Si queremos conocer la energía liberada por un terremoto, independientemente de los destrozos, debemos usar la escala de Richter que se basa en el registro realizado por los sismógrafos, los aparatos que detectan los terremotos. Con los sismógrafos se obtienen los sismogramas, unas gráficas en dientes de sierra en las que una mayor altura de los picos indica una mayor magnitud. La escala de Richter es logarítmica: el terremoto de grado 2 libera una energía 10 veces superior al de grado 1; el de grado 3 es 100 mayor que el de grado 1, el de grado 4 es 1000 veces superior y así sucesivamente. Esta escala no tiene límite superior pero hasta ahora no se han registrado terremotos superiores al grado 9,5 (fue en Chile en 1960). Antes y después de un terremoto importante suele haber otros de menor magnitud: a los sismos que suceden después del terremoto principal se les denomina réplicas.

El punto de la superficie terrestre en el que un terremoto se manifiesta con la máxima magnitud es su epicentro; no se debe confundir con el hipocentro o foco que es el punto del interior terrestre en el que se origina el sismo. Conforme nos alejamos del epicentro el terremoto se deja notar con menor magnitud de manera que podemos dibujar, en torno al epicentro, una serie de líneas más o menos concéntricas y de magnitud decreciente. Estas líneas se llaman isosistas y unen puntos en los que el terremoto se registra con igual magnitud.

Las ondas sísmicas que se generan en el hipocentro recorren el interior terrestre en todas las direcciones y llegan a la superficie. Estas ondas internas tienen un gran interés para el conocimiento del subsuelo, sobre todo las ondas S (secundarias o transversales) porque no atraviesan los fluidos; también es de interés el desfase entre la llegada de las ondas P (primarias o longitudinales) y las ondas S porque cuanto mayor sea el desfase más alejado se encuentra el foco del terremoto.

Cuando las ondas internas llegan a la superficie se originan nuevas ondas que avanzan sólo por la superficie. Son las ondas superficiales y a ellas se deben la mayoría de los daños que provoca el terremoto. Pueden ser ondas Love (L), que tienen un movimiento de vibración en el mismo plano de la superficie del terreno, y ondas Reyleig (R) más lentas pero más destructivas porque provocan movimientos verticales del terreno.

#### b) Riesgo sísmico.

Los efectos de un terremoto conllevan una serie de riesgos directos entre los que destacan los daños a edificios por agrietamiento o desplome de los mismos. También pueden verse dañadas infraestructuras como carreteras, líneas férreas, tendidos eléctricos, conducciones... A esto hay que añadir una serie de riesgos derivados, es decir, no debidos directamente al terremoto, como por ejemplo:

- Un temblor puede iniciar avalanchas, desprendimientos y deslizamientos que originen muchos daños en los cultivos, carreteras o asentamientos existentes en las laderas afectadas.
- Se pueden producir incendios por rotura de conducciones de gas. A principio del siglo XX la ciudad de San Francisco fue devastada por los incendios que siguieron a un terremoto ya de por sí destructivo.
- Inundaciones debidas a la rotura de presas como consecuencia de terremotos.
- Olas gigantes o tsunamis que se inician por un terremoto que afecta a zonas marinas. En Diciembre de 2004 un terremoto de magnitud 8,9 ocurrido frente a las costas de Sumatra ocasionó una elevación de 9 metros del fondo marino lo que a su vez provocó una ola de 15

metros de altura que arrasó las costas de Tailandia, India, Sri Lanka y Bangladesh. Otro tsunami devastador tuvo lugar en Japón en 2011; en este caso la ola gigante, además de muerte y destrucción, provocó importantes daños en centrales nucleares y escapes de radioactividad sin precedentes desde el accidente de Chernobyl. Algunos tsunamis no están relacionados con fallas sino con erupciones de islas volcánicas.

La predicción sísmica está muy poco desarrollada, aún menos que la predicción volcánica. El período de retorno nos da una idea aproximada sobre cada cuanto tiempo se produce un terremoto de una magnitud determinada, pero no nos dice exactamente cuándo. No obstante, hay algunos fenómenos que pueden anunciar un terremoto: parece ser que las rocas sometidas a altas presiones sufren un aumento de volumen justo antes de romperse; se producen infinidad de grietas que se rellenan de agua alterando propiedades físicas de las rocas, entre las que destacamos:

- Cambios en la velocidad de las ondas sísmicas: primero las ondas van más despacio por transmitirse en medios microfracturados, después su velocidad aumenta por la presencia de agua en los poros.
- Elevaciones del terreno por el aumento de volumen.
- Disminuye la conductividad con la microfracturación y luego aumenta por el agua contenida en la roca.
- Emisión de radón (tal vez por la existencia de grietas en las rocas dilatadas).
- Pequeños seísmos durante la formación de las grietas.
- Comportamientos anómalos de los animales porque oyen en un rango de frecuencias que excede al humano y tal vez perciban las vibraciones provocadas por el agrietamiento de las rocas.

La detección de estos indicadores o precursores requiere una serie de aparatos sofisticados que difícilmente se pueden colocar en todas las fallas activas. La muy vigilada falla de San Andrés, en California, es una excepción porque se encuentra en una zona muy poblada de un país desarrollado. Pero incluso allí se han producido terremotos que no han estado precedidos de las señales o avisos esperados.

Así pues, hoy por hoy, no se puede decir cuándo ocurrirá un terremoto. En cambio, sí se puede decir dónde ya que las zonas sísmicas están perfectamente definidas. En España, por ejemplo, las zonas sísmicas coinciden con las cordilleras recientes, que son las más activas: Pirineos y Cordillera Bética. Los Pirineos se formaron como consecuencia del choque de Iberia, una pequeña placa que corresponde aproximadamente con la Meseta Española, con Francia cerrándose así el brazo de mar que existía entre ambas.

En la Cordillera Bética se producen terremotos aún más violentos, sobre todo en las provincias de Granada y Almería, ya que se trata de una cordillera joven que aún sigue levantándose. En mayo de 2011 se produjo un terremoto en Lorca (Murcia) que ocasionó nueve víctimas mortales y muchos daños materiales. Lorca forma parte también de la Cordillera Bética que se ha formado como consecuencia del choque entre Iberia y el llamado Bloque de Alborán, que hoy día corresponde aproximadamente a la mitad sur de la Cordillera y que durante la era Secundaria estaba separado de Iberia por un mar de varios cientos de kilómetros de ancho. La tectónica de placas en el Mediterráneo Occidental es especialmente complicada porque hay muchas microplacas y porque los movimientos relativos entre ellas no son simplemente de acercamiento; parece ser que hay una gran falla de desgarre a través del Estrecho de Gibraltar que tiende a mover a Europa hacia el oeste y a África hacia el este.

Así pues, si se conocen las áreas sísmicas, lo que hay que hacer es evitar o reducir los daños mediante la prevención adecuada. Algunas medidas preventivas coinciden con las que se aplican a

los riesgos volcánicos: elaboración de mapas de riesgos, ordenación del territorio, medidas de protección civil (alarma, evacuación)... Otras medidas son específicas para el riesgo sísmico como la construcción sismorresistente; los arquitectos e ingenieros que planifican construcciones para zonas sísmicas han de respetar una normativa exigente que afecta al diseño de los cimientos, al cálculo de las estructuras para hacerlas más flexibles, a los materiales de construcción, etc.

## **2.3 Vulcanismo.**

### **a) El fenómeno volcánico. Tipos de erupciones.**

Las erupciones volcánicas son uno de los fenómenos más espectaculares que ofrece la Tierra, son una prueba evidente de la energía interna de nuestro planeta. El volcán clásico o volcán central tiene forma de cono cuyo vértice corresponde al cráter, lugar de salida del magma que asciende por la chimenea volcánica procedente de una cámara volcánica. Otros volcanes son fisurales, es decir, la salida de magma no se produce en un punto sino a lo largo de una fisura o grieta que puede tener kilómetros de longitud.

El magma es un fundido de roca que se encuentra a unos 1000 °C, se forma en zonas profundas y asciende hasta acumularse a varios km de profundidad en las llamadas cámaras magmáticas. En ellas permanece hasta que la presión que se acumula en su interior le empuja a subir, recorrer la chimenea volcánica y salir por el cráter provocando una erupción.

No todos los magmas tienen la misma composición y eso influye en su viscosidad y en su explosividad. Se llaman magmas ácidos a los que tienen un elevado contenido en silicio. El granito (roca plutónica) y la riolita (roca volcánica) se forman a partir de la solidificación de magmas ácidos. El silicio favorece la formación de enlaces atómicos entre los componentes del magma y, por tanto, el que los magmas sean más viscosos; esta viscosidad se ve incrementada por otras características de los magmas ácidos como son las temperaturas elevadas y la escasez de elementos volátiles. Los magmas ácidos recorren con dificultad los canales que comunican la cámara magmática con el exterior; frecuentemente estos canales se taponan hasta que la presión hace que se produzca una explosión. En cambio, los magmas básicos (pobres en silicio), más calientes y ricos en volátiles son magmas más fluidos (poco viscosos) que fluyen con facilidad. El enfriamiento de estos magmas da lugar a gabro (roca plutónica) y basalto (roca volcánica).

Los volcanes se encuentran distribuidos de forma irregular por el planeta. Hay amplias zonas sin ningún volcán mientras que otras regiones presentan mucha actividad volcánica. En general, los volcanes se disponen en alineaciones que coinciden con los límites de placas por lo que el origen de los magmas puede explicarse utilizando la tectónica de placas:

- Muchos volcanes se concentran en las zonas de subducción porque el rozamiento entre placas desprende calor y hace que se fundan las rocas; la fusión se ve favorecida por el agua contenida en los sedimentos oceánicos que subducen. El magma así generado asciende y provoca la aparición de volcanes en las cordilleras perioceánicas (por subducción bajo continente) y en las islas volcánicas resultantes de la subducción bajo litosfera oceánica.
- Las dorsales son cordilleras submarinas que deben su origen a la existencia de cámaras magmáticas que hay bajo ellas. En este caso el magma no aparece por calentamiento de las rocas sino por una disminución de la presión sobre ellas. Generalmente las rocas de las capas profundas no están fundidas, a pesar de estar muy calientes porque se lo impide la gran presión a que están sometidas. En cambio, en las zonas de dorsal la litosfera se adelgaza mucho, disminuye la presión y las rocas se funden.

Algunos volcanes no aparecen en bordes de placas sino en situaciones de intraplaca porque son debidos a la presencia de un punto caliente. Llamamos así a determinados puntos, que están fijos sobre el manto de la Tierra, donde se ha producido un sobrecalentamiento debido a una corriente de materiales a muy alta temperatura procedente de la base del manto (pluma térmica o penacho térmico). Si la litosfera oceánica está sobre el punto caliente se forma una isla volcánica y si la dinámica de las placas desplaza a la litosfera sobre el punto caliente aparecerá otra isla volcánica, después otra y así sucesivamente hasta formar un archipiélago como el de Hawái.

Los materiales expulsados por los volcanes se pueden clasificar atendiendo a su estado físico en sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos volcánicos sólidos se llaman piroclastos y, a su vez, se clasifican por su tamaño de grano: cenizas que son partículas finas, del tamaño del polvo (su acumulación genera buenas tierras de cultivo), lapilli que es del tamaño de la arena o de una grava fina y bombas que son las partículas de mayor tamaño. Los productos líquidos se denominan lavas y pueden ser muy diferentes en su viscosidad: las lavas más fluidas originan superficies suaves, ligeramente arrugadas (lavas cordadas) mientras que las lavas viscosas dan lugar a terrenos muy irregulares (malpaís). Los productos volcánicos gaseosos ( $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ...) pueden emitirse con violencia durante el paroxismo de la erupción o en forma de fumarolas durante períodos de calma; algunas emanaciones son muy tóxicas como las de azufre (solfataras).

La variedad de volcanes es grande y un mismo volcán se puede comportar de formas muy diferentes a lo largo de su historia. Por eso, es más práctico considerar los tipos de erupción que se pueden resumir en dos: actividad efusiva y actividad explosiva.

En la actividad eruptiva efusiva o no explosiva predomina la salida de lavas que salen del cráter a modo de una fuente, y fluyen ladera abajo con calma, sin lanzamiento de piroclastos y sin explosiones porque no hay gases. El edificio resultante es un cono muy amplio (volcán en escudo) porque las lavas son muy fluidas y se alejan mucho del cráter, sobre todo cuando la colada avanza bajo las costras volcánicas de erupciones previas. Este tipo de erupción se denomina hawaiana porque es frecuente en los volcanes de Hawái.

La actividad explosiva se caracteriza por la violencia de sus erupciones y su carácter imprevisible. Esto se debe a la presencia de gases que se acumulan en el interior de la cámara magmática hasta que su presión abre vías de salida para el magma. Además de gases se desprenden piroclastos y lavas. Se pueden diferenciar, de menor a mayor explosividad: erupciones estrombolianas, erupciones vesubianas y erupciones plinianas. Las erupciones plinianas son muy peligrosas porque se libera una gran nube de gases a altas temperaturas, una nube ardiente, que recorre las laderas de volcán a gran velocidad arrasándolo todo a su paso. Eso fue lo que le ocurrió a la ciudad romana de Pompeya que fue arrasada, hacia el año 50 d.C., por una nube ardiente procedente del Vesubio que mató a todos sus habitantes; a continuación una lluvia de cenizas enterró toda la ciudad que quedó oculta durante siglos.

Un caso especial de erupción explosiva es la erupción hidromagmática, en la que participa el agua, ya sea subterránea o del mar. Si el agua entra en contacto con el calor del magma, se alcanza el punto de ebullición y se forman grandes cantidades de vapor de agua que, por su carácter gaseoso, favorecen las erupciones explosivas.

Otro caso a destacar es el de las llamadas calderas, que son grandes depresiones circulares de varios kilómetros de diámetro que aparecen en regiones volcánicas. Se forman por hundimiento del terreno como consecuencia del vaciado de una cámara magmática. El hundimiento puede ser muy rápido, a modo de colapso, y cuando sucede en una isla volcánica puede generar una gran ola o tsunami.

### b)El riesgo volcánico. Predicción y prevención.

Muchos de los fenómenos descritos son peligrosos para las personas y sus bienes materiales. Algunos peligros se deben directamente a los volcanes como las lluvias de piroclastos, las coladas de lava, los gases tóxicos, la formación de calderas y las nubes ardientes. Otros peligros son derivados como los tsunamis que originó el Krakatoa (Indonesia) en 1883 que provocaron miles de víctimas en costas alejadas muchos kilómetros del volcán. También son riesgos derivados los lahares, corrientes de lodo producidas por la fusión de hielo o nieve de la cumbre de un volcán que entra en erupción; 25.000 habitantes de la ciudad de Armero (Colombia) murieron por los lahares procedentes del Nevado del Ruiz. Otro riesgo derivado de un volcán es el desarrollo de deslizamientos y avalanchas como consecuencia de los temblores que acompañan a la erupción.

La energía de un volcán es incontrolable. A lo más que podemos aspirar es a predecir la catástrofe y a aplicar las medidas preventivas que reduzcan los daños. Es importante conocer el pasado de la región: la historia nos informa de los lugares de mayor peligro, del tipo de erupción más frecuente y nos permite calcular el período de retorno, es decir cada cuanto tiempo se produce el evento catastrófico.

En España, por ejemplo, sólo existe actividad volcánica en las Islas Canarias: la última erupción en superficie fue la del Teneguía (La Palma) en 1971, pero más recientemente, en 2011, junto a la isla de El Hierro ha tenido lugar un nuevo episodio volcánico que ha generado un pequeño volcán submarino que ha mantenido en vilo a la población de esta isla que, además de sufrir numerosos sismos, ha perdido uno de sus caladeros de pesca y ha perdido muchos turistas que acudían allí para practicar submarinismo. En general, en todo el archipiélago canario se producen manifestaciones de vulcanismo atenuado (fuentes termales, fumarolas, géiseres) y en cualquier momento puede iniciarse una nueva etapa eruptiva. En otros lugares de España no hay actividad volcánica aunque la hubo en un pasado remoto: en Olot (Gerona) hay algunos conos volcánicos inactivos de hace más de 10.000 años; más antiguo es el vulcanismo de Campos de Calatrava (Ciudad Real) y aún más el de Cabo de Gata.

La información histórica se debe combinar con un estudio topográfico de la región, que informa sobre los cauces posibles para lavas y lahares, y con un estudio meteorológico que diga cuáles son los vientos que pueden afectar a la dispersión de cenizas. Toda la información se puede trasladar a un ordenador y obtener un mapa de peligrosidad en el que se clasifican las zonas según el fenómeno que pueden sufrir y su gravedad. Además hay que tener en cuenta la exposición, es decir la cantidad de personas y bienes materiales que pueden sufrir el fenómeno volcánico. Combinando un mapa de peligros con un mapa de exposición se obtiene un mapa de riesgos, una herramienta fundamental en toda la tarea preventiva.

Así pues, se puede predecir con bastante fiabilidad cuáles son los lugares de riesgo volcánico pero, ¿cuándo sucederá la erupción? Existen algunos precursores de la erupción que se pueden detectar con la tecnología adecuada. Los más importantes son los siguientes:

- Temblores. Se detectan con sismógrafos.
- Ligeras deformaciones del terreno, leves cambios de inclinación. Se detectan con sensores electrónicos y GPS.
- Cambios en los campos eléctricos y magnéticos.
- Cambios en la composición química de las fumarolas.
- Cambios en la temperatura y en la composición del agua subterránea.

Las medidas preventivas de la actividad volcánica son aquellas que eliminan el riesgo porque evitan que afecte a las personas y a sus bienes:

- La ordenación del territorio, es decir, establecer qué uso se debe dar a cada zona: zonas agrícolas, zonas urbanas, zonas peligrosas en las que no debería haber presencia humana. La ordenación del territorio se realiza a partir de los mapas de riesgos.
- Establecer los sistemas de vigilancia (detección de precursores) que avisen del peligro con la antelación suficiente.
- Medidas de protección civil: sistemas de alarma y evacuación de la población. Esto requiere que haya una buena coordinación entre los científicos, los responsables políticos y los medios de comunicación.
- Reducción del nivel de los embalses.
- Desviar corrientes de lava.
- Seguimiento de las nubes de ceniza que pueden afectar al tráfico aéreo. La actividad del volcán islandés Eyjafjallajokull, por ejemplo, obligó a suspender muchos vuelos en el continente europeo en el año 2010.

## **EJEMPLOS DE PREGUNTAS DE LA P.A.U. SOBRE GEODINÁMICA INTERNA.**

### TEMA

1. Vulcanismo. Magmas ácidos y básicos. Tipos de erupciones. Riesgo volcánico y planificación.
2. Estructura y composición de la Tierra: modelos geoquímico y dinámico.
3. Sismicidad: origen de los terremotos, tipos de ondas sísmicas. Magnitud e intensidad de un terremoto.
4. Riesgo sísmico, planificación antisísmica y áreas de riesgo sísmico en España.
5. Distribución de las áreas volcánicas según la Tectónica de Placas.
6. Tectónica de Placas: concepto de placa litosférica, tipos de bordes y ejemplos de cada uno de ellos. Haga las representaciones gráficas adecuadas que aclaren las respuestas.
7. Energía interna de la Tierra: origen y mecanismos de transmisión energética. Deformación de los materiales terrestres: pliegues y fallas.

### BREVES

1. ¿Qué se entiende por zona de subducción? Cite algún ejemplo.
2. Diferencie entre magnitud e intensidad de un terremoto
3. Concepto de epicentro de un terremoto.
4. ¿Qué es una dorsal oceánica?
5. Diferencias entre falla normal e inversa.
6. ¿Qué es la litosfera?
7. ¿Cómo varía la edad de las rocas conforme nos retiramos de una dorsal oceánica? Razone la respuesta.
8. Defina gradiente geotérmico.
9. ¿Qué es la expansión del fondo oceánico?
10. ¿Qué pruebas nos permiten afirmar que el núcleo externo de la Tierra está fundido? ¿Por qué?

11. ¿Qué es una falla transformante?
12. ¿Qué es el hipocentro de un terremoto?
13. ¿Qué es la astenosfera?
14. ¿Qué factores deben darse para que se produzca una erupción volcánica explosiva?
15. ¿Cuáles son las diferencias entre litosfera y corteza terrestre?
16. ¿Por qué el sur de la Península Ibérica es una región de riesgo sísmico?
17. ¿Qué factores favorecen las erupciones volcánicas no explosivas?
18. Explique brevemente en qué consiste un tsunami.
19. Cite los diferentes tipos de productos volcánicos.
20. Cite los diferentes tipos de ondas sísmicas explicando brevemente las características de su propagación.
21. Dibuje un volcán y señale todas sus partes.

### PREGUNTAS DE APLICACIÓN.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

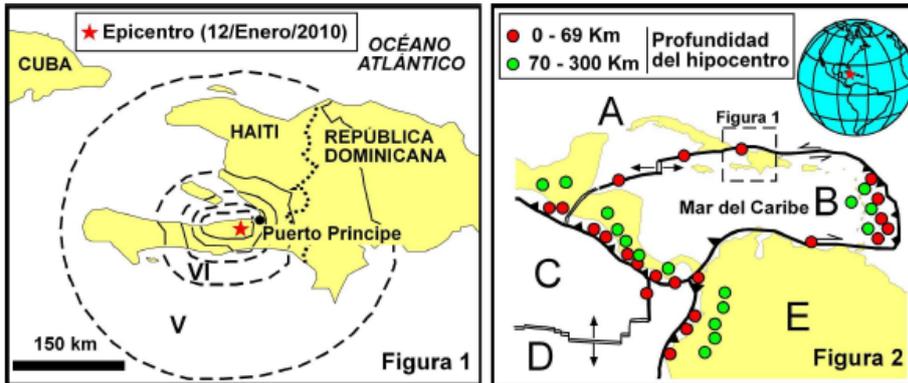
El Sur de la Península Ibérica y el Norte de Marruecos forman parte de un cinturón sísmico que se continúa hacia el Océano Atlántico y por el Norte de África. Un fuerte terremoto de magnitud 6.4 hizo temblar la región de Alhucemas (lugar del epicentro) en el Norte de Marruecos la madrugada del día 24 de Febrero de 2004. El hipocentro se localizó a una profundidad de 13 km. En otras zonas, como en Melilla y en el Sur de la Península Ibérica, también fue sentido el terremoto por la población. En la Figura A se observan los daños que ocasionó el terremoto en la zona del epicentro. La figura B es un mapa en el que se ha indicado con una estrella el lugar exacto del epicentro.



- a. ¿Cuál es el origen de la sismicidad en la región que se ha descrito en el enunciado de la pregunta?
- b. ¿Qué tipos de ondas producen daños en las construcciones como los que se observan en la figura A? ¿Qué diferencias hay entre dichas ondas y otros tipos de ondas sísmicas?
- c. ¿Cómo se pueden evitar o minimizar los daños que ocasiona un terremoto?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

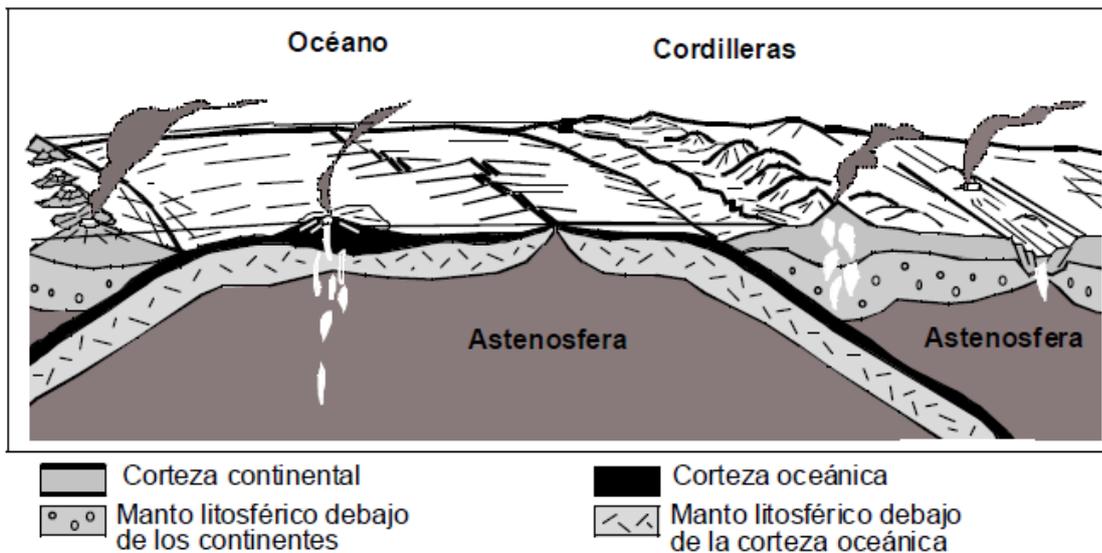
En Haití, el día 12 de enero de 2010, se produjo un terremoto de magnitud 7. Dicho temblor sísmico, que tuvo su hipocentro a 13 km de profundidad, ocasionó más de 222.000 víctimas mortales, 300.000 heridos, más de un millón de desplazados, la destrucción de casi 100.000 casas e importantes daños materiales. Observe en la Figura 1 las líneas que delimitan las áreas de distinta intensidad sísmica; y en la Figura 2 el esquema tectónico de las placas en el Mar del Caribe y zonas adyacentes, con indicación de los hipocentros de terremotos anteriores.



- Determine la intensidad máxima del terremoto de Haití a partir de la Figura 1. Determine la intensidad del terremoto en Puerto Príncipe y en la mayor parte de la República Dominicana. ¿Cómo se podría haber reducido el número de víctimas mortales?
- A partir del esquema tectónico ilustrado en la Figura 2, identifique las principales placas litosféricas que se observan. ¿Por qué el área de Haití es sísmicamente activa? Cada letra mayúscula corresponde con una placa litosférica.
- A partir de la Figura 2, explique el tipo de límite de placas y la distribución de los hipocentros sísmicos en el margen Oeste de América Central y al Este del Mar del Caribe.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

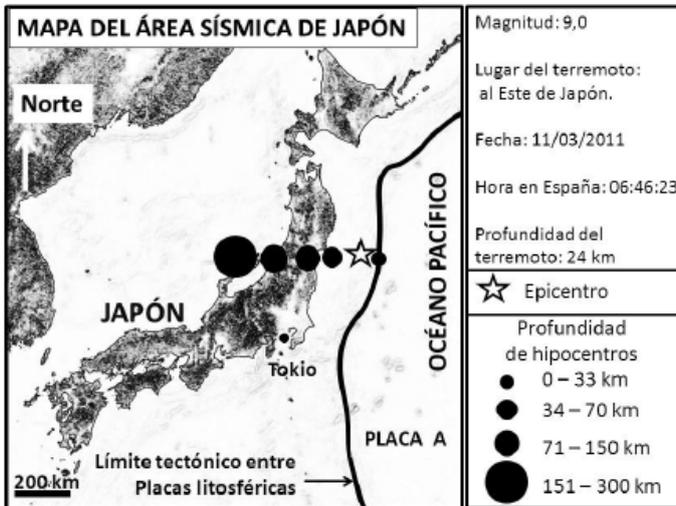
La figura siguiente ilustra diversos procesos geológicos relacionados con los movimientos de las placas litosféricas.



- Describe los tipos de límites de placas que se observan en la figura. ¿Qué otros procesos intraplaca se ilustran en ella?
- Justifique el número de placas litosféricas que se observan en la figura anterior.
- Explique la formación de las montañas que se observan en la parte derecha de la ilustración. ¿Por qué debajo de las montañas es más gruesa la corteza continental?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

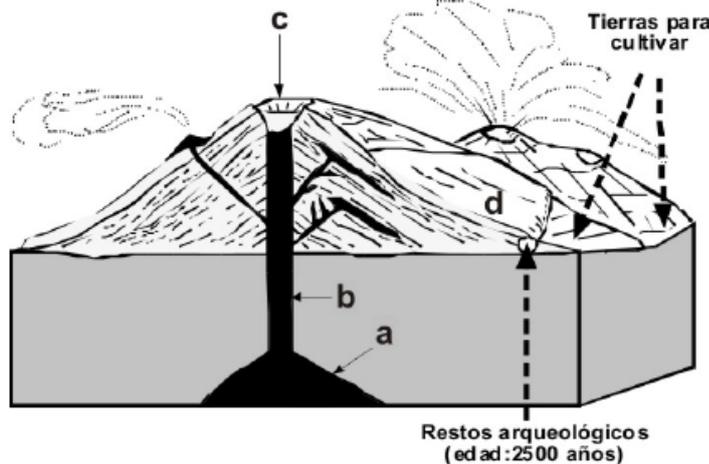
En el mapa de la figura, se muestra la localización del epicentro de un terremoto de magnitud 9,0 que sucedió el 11 de marzo de 2011 al Este de Japón (representado por una estrella). Su hipocentro se situó a una profundidad de 24 km. La línea negra en este mapa representa el límite entre dos placas litosféricas. También se observa la localización de otros terremotos que han ocurrido anteriormente en esta región, representados por círculos de distintos tamaños, que informan de la profundidad de los mismos.



- A partir del mapa, explique de qué tipo de límite tectónico se trata y por qué son los terremotos en esta región más profundos hacia el Oeste. ¿La placa identificada en el mapa como A es de naturaleza oceánica o continental? ¿Cómo se llama dicha Placa A?
- De acuerdo con el modelo de la Tectónica de Placas, ¿Es lógico pensar que existan volcanes en Japón? Justifique su respuesta.
- Como el epicentro estuvo situado en el mar ¿Qué ha podido suceder después del terremoto? ¿Es posible que vuelva a ocurrir algún día un terremoto de igual magnitud en esta región? Justifique la respuesta.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

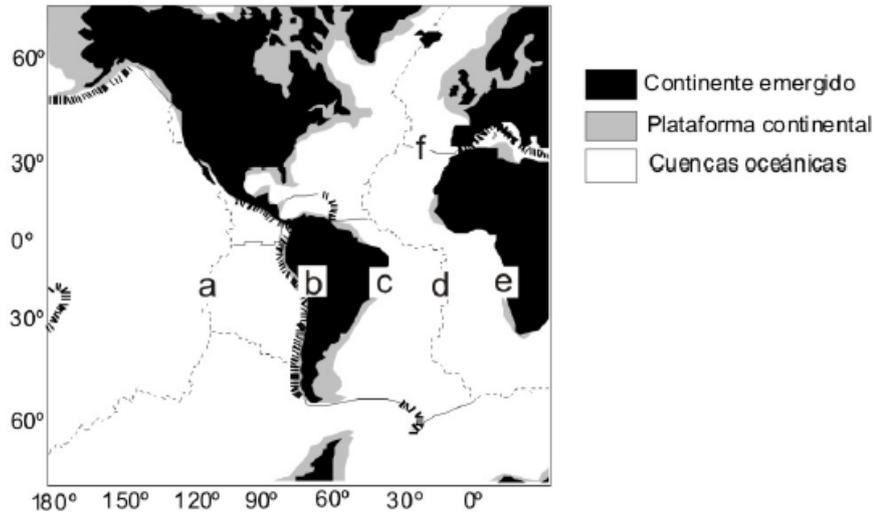
El esquema siguiente corresponde a una región volcánica activa en la que actualmente se aprecian emisiones de gases a la atmósfera. Se ha podido constatar que ha habido erupciones históricas, debido a la presencia de restos arqueológicos debajo de las coladas de lava.



- Nombre las distintas partes del volcán señaladas en el esquema con las letras a, b, c y d. Explique los procesos que se deducen en relación con el desarrollo del edificio volcánico.
- Comente los riesgos más frecuentes asociados a las erupciones volcánicas.
- ¿Qué recursos naturales pueden aprovecharse en una región como la ilustrada en el esquema en relación con la actividad volcánica? Comente algún caso que conozca, preferentemente en España.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

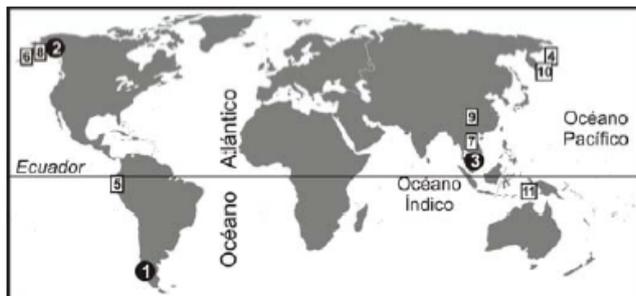
El mapa adjunto es un esquema de las placas tectónicas en la mitad occidental del planeta. A partir de él, responde razonadamente a las siguientes cuestiones:



- a) Ponga el nombre a cada una de las situaciones geológicas marcadas con a, b, c, d y e.
- b) ¿En cuáles de las situaciones geológicas anteriores habrá actividad sísmica y volcánica? Razone la respuesta.
- c) Explique el tipo de límite marcado con la letra "f" y cómo este límite afecta al riesgo sísmico en el suroeste de España.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

En el mapa de la Figura 1 se han localizado los 11 epicentros de los terremotos más grandes registrados en nuestro planeta desde el año 1900 hasta el 2006. En todos los casos la magnitud ha sido igual o superior a 8,5. En la Tabla 1 se detalla la localización, la fecha y la magnitud (M) de los tres terremotos mayores.



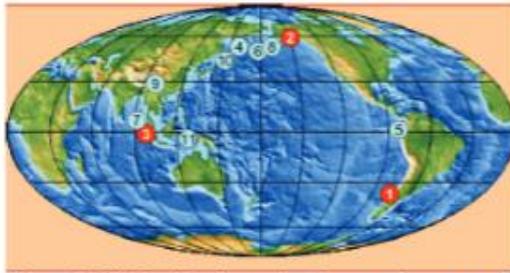
Nº	Localización	Fecha	M
1	Chile	22-mayo-1969	9,5
2	Alaska	28-marzo-1964	9,2
3	Sumatra	26-diciembre-2004	9,0

Tabla 1. Datos de los terremotos

Figura 1. Distribución de continentes y océanos en el mundo y localización de los principales epicentros sísmicos (1900-2006).

- a. Observe que la mayoría de estos terremotos se sitúan alrededor del Océano Pacífico. ¿Qué tipo de límite de placas litosféricas puede ser responsable de la sismicidad circumpacífica? Explique en qué consiste dicho límite tectónico.
- b. De acuerdo con los datos expuestos, razone si es previsible que se produzcan más terremotos de magnitudes muy elevadas (superiores a 8,5) en nuestro planeta en el futuro.
- c. Por las características de las áreas de la Tabla 1 y de la magnitud de los terremotos, ¿qué medidas se pueden tomar para disminuir el riesgo sísmico en estas áreas? Razone la respuesta.

En el mapa de la figura 1 se han localizado los 11 terremotos más grandes registrados en nuestro planeta desde el año 1900 hasta el 2006. En todos los casos la magnitud ha sido igual o superior a 8.5. En la Tabla I se detalla la localización, la fecha y la magnitud (M) de los tres terremotos mayores.



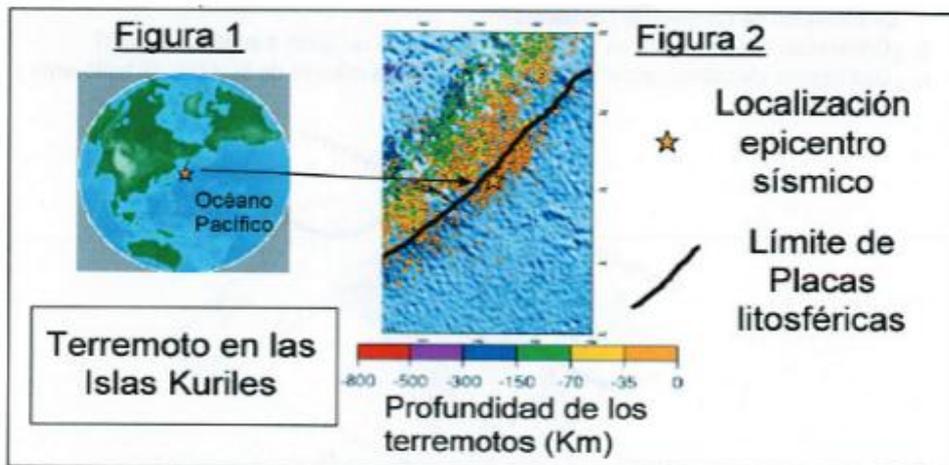
N	Localización	Fecha	M
1	Chile	22-Mayo, 1969	9,5
2	Alaska	28-Marzo, 1964	9,2
3	Sumatra	26-Diciembre, 2004	9,0

Tabla I. Datos de los terremotos

Figura 1. Distribución de continentes y océanos en el mundo y localización de los principales epicentros sísmicos (1900-2006)

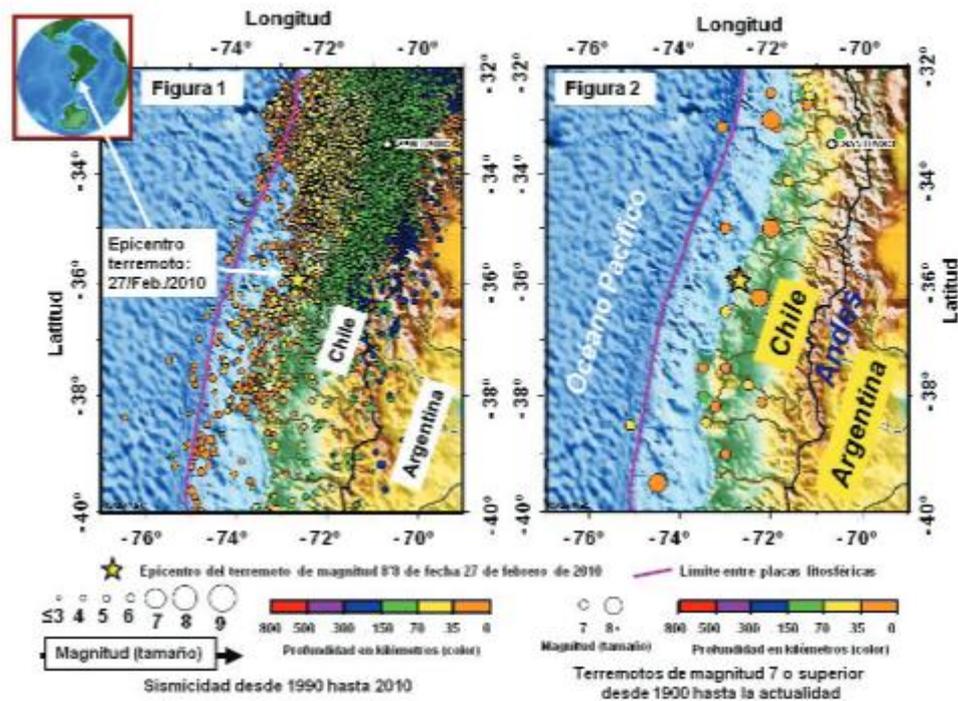
- Observe que la mayoría de estos terremotos se sitúan alrededor del Océano Pacífico. ¿Qué tipo de límite de placas litosféricas puede ser responsable de la sismicidad circumpacífica? Explique en qué consiste dicho límite tectónico.
- De acuerdo con los datos expuestos, razone si es previsible que se produzcan más terremotos de magnitudes muy elevadas (superiores a 8.5) en nuestro planeta.
- Por las características de la zona y de los terremotos, ¿qué medidas se pueden tomar para disminuir el riesgo sísmico en estas zonas? Razone la respuesta.

En el mapa de la figura 1 se muestra la localización epicentral de un terremoto ocurrido en las islas Kuriles el día 13 de enero de 2007. El terremoto tuvo una magnitud de 8.2 y el hipocentro se situó a 10 km de profundidad. En la figura 2 se muestra la sismicidad en esa misma zona, desde 1990 hasta la actualidad, mediante puntos de color de acuerdo con la escala indicada.



- En relación con la magnitud del terremoto, ¿se trata de un terremoto de alta o baja magnitud? Razone si es previsible esperar en los días siguientes terremotos de tipo réplicas.
- La línea en la figura 2 representa el límite de dos placas litosféricas, ¿sabría decir de qué dos placas litosféricas se trata? ¿Cuál de ellas es la que se introduce en el interior de la Tierra?
- De acuerdo con la Teoría de la Tectónica de Placas, ¿por qué el foco de los terremotos es más profundo a medida que nos alejamos del límite de placas? Observando la figura 2, determine para esta región, a qué profundidad se producen los terremotos más profundos.

En la Figura 1 se muestra una región sísmica de la Tierra situada en la costa de Chile. El día 27 de febrero de 2010 se produjo un terremoto de magnitud 8,8; su epicentro se localizó a 330 km al suroeste de Santiago de Chile y el hipocentro estuvo situado a 35 kilómetros de profundidad. En esa misma figura se muestran también otros terremotos que ha habido desde 1990 hasta la actualidad. En la figura 2, se indican los terremotos de magnitud 7 o superior que ha habido en la misma zona sísmica, desde 1900 hasta la actualidad. (ex. 3A 2010)



- ¿Qué placas litosféricas son las responsables de la sismicidad en esa región del planeta?
- Explique la distribución en profundidad de la sismicidad en esa región.
- ¿Era lógico suponer que en esta región ocurriría un terremoto de tal magnitud? ¿Es posible que en un futuro haya terremotos de grandes magnitudes que afecten a Chile? Razone las respuestas.

### **3.PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS Y SUS RIESGOS.**

#### **3.1. Procesos geológicos externos.**

##### a) Meteorización.

La meteorización es el proceso de alteración de las rocas por la acción de la atmósfera; no debe confundirse con la erosión que arranca los materiales de una zona para ser transportados a otra. Cuando solo hay meteorización los productos de la alteración permanecen “in situ”; se trata de fragmentos de roca y minerales sueltos que se denominan regolita. Si además de la meteorización intervienen los seres vivos el material resultante se llama suelo. Diferenciaremos la meteorización física de la meteorización química (algunos autores hablan también de meteorización biológica, es decir originada por los seres vivos).

La meteorización física o mecánica produce una fragmentación de la roca en la que los fragmentos resultantes tienen la misma composición que la roca original. El principal mecanismo de meteorización física es la gelifracción o crioclastia: la fragmentación de las rocas por el aumento de volumen del agua que se congela en las grietas de las rocas. Este aumento de volumen realiza un efecto de cuña, agrandando la grieta a medida que se repite el ciclo hielo-deshielo. Este fenómeno es muy activo en los climas periglaciares y en la alta montaña; los fragmentos pueden acumularse al pie de las pendientes formando canchales o pedrizas.

Se han descrito otros procesos de meteorización física de eficacia discutida. Por ejemplo se suele comentar que los cambios bruscos de temperatura pueden romper la roca debido a la dilatación diferencial de los minerales; la eficacia de este fenómeno llamado termoclastia no está bien demostrada. De existir estaría limitado a desiertos y su efecto no sería el de partir la roca por la mitad sino el de producir una descamación. La haloclastia es otro tipo de meteorización física de incidencia limitada: la cristalización de sales en fracturas o huecos también podría alterar la roca original.

La meteorización química produce una alteración de la composición química de la roca inicial. Una posibilidad es que los minerales sufran una hidratación, es decir, que incorporen agua en su estructura, lo que significa un aumento de volumen que origina una serie de tensiones dentro de la roca que provocan su disgregación. Otras veces el agua disuelve determinados elementos químicos, los arrastra dejando la roca más porosa, menos coherente y, por tanto, más vulnerable a la erosión. Otro caso de meteorización química es la hidrólisis: la molécula de agua se puede considerar disociada en  $H^+$  y  $OH^-$ , el  $H^+$  puede atraer hacia sí a los aniones de los minerales mientras que el  $OH^-$  se combina con los cationes de los minerales: el resultado es la destrucción de los minerales que componían la roca. Conviene llamar la atención que en los tres procesos comentados (hidratación, disolución, hidrólisis) el agua tiene un papel destacado. Además acelera reacciones químicas como las de oxidación que es la combinación del oxígeno con los elementos metálicos de la roca (calcio, potasio, magnesio, hierro...). Por esta razón son las zonas húmedas, especialmente las ecuatoriales, las que sufren una meteorización más intensa. La meteorización química también se ve favorecida si hay fracturas abundantes o si ha habido una meteorización física previa que aumente las superficies de reacción.

La resistencia de los minerales a la meteorización está relacionada con las condiciones de presión y temperatura a la que se formaron. Los minerales formados en el interior de la tierra a altas presiones y temperaturas se encuentran en desequilibrio con las condiciones reinantes en la superficie, en consecuencia se destruyen o se transforman en minerales compatibles con las nuevas condiciones. Esto se manifiesta muy claramente en los minerales que se forman por enfriamiento

paulatino del magma: los que cristalizan al principio, cuando el magma todavía está muy caliente, como el olivino, son los que primero se alteran en la superficie; los últimos en aparecer en la cristalización magmática, como el cuarzo, son especialmente resistentes a la meteorización. Esto último explica la abundancia de arenas y areniscas, cuyos granos son mayoritariamente de cuarzo.

La meteorización química afecta a cualquier roca aunque en cada roca predomina un tipo alteración. El granito, por ejemplo, está compuesto por cuarzo, feldespato y mica. Como ya hemos comentado el cuarzo es muy estable y apenas se altera, pero la mica se oxida dando óxidos de hierro y el feldespato sufre una hidrólisis. Esta hidrólisis supone para el feldespato una pérdida del catión potasio que es tomado por los grupos OH del agua; el residuo es caolinita, un mineral del grupo de las arcillas. En definitiva un material tremendamente suelto en comparación con la primitiva roca granítica. Los minerales alterados no están cohesionados y la roca, o al menos su parte externa, se disgrega. La meteorización en las zonas graníticas da lugar a un paisaje llamado berrocal, caracterizado por bloques de roca sin alterar, más o menos redondeados, alrededor de los cuales existe un material arcilloso que incluye los productos de alteración de feldespato y mica y un material arenoso integrado por los granos de cuarzo que han resistido la meteorización.

En las calizas, en cambio, predomina la disolución. En realidad, el carbonato cálcico de las calizas no es soluble en agua pero el agua cargada de CO<sub>2</sub> forma ácido carbónico que sí disuelve los carbonatos. El resultado es un paisaje con formas caprichosas, a veces de aspecto ruiforme que se denomina karst o paisaje kárstico (más raramente en rocas salinas). El Torcal de Antequera constituye un espectacular ejemplo de karst. Sobre la superficie de la roca caliza el agua produce unos regueros o canalículos, de orden centimétrico, que se conocen como lapiaz o lenar. Formas de disolución de rango mayor son las dolinas; se trata de depresiones cerradas, de fondo más o menos plano y arcilloso, rodeadas de roca caliza. Las gargantas o cañones son valles de paredes casi verticales excavados por cursos de agua que profundizan progresivamente en la roca caliza. Buena parte del agua se infiltra por grietas y continúa disolviendo la roca en profundidad; así se excavan cuevas y galerías en cuyo interior el carbonato cálcico puede cristalizar en forma de estalactitas y estalagmitas.

#### b) Erosión, transporte y sedimentación en ambientes templados.

La meteorización provoca la aparición de materiales sueltos que pueden permanecer en el mismo sitio o ser erosionados, transportados y depositados en zonas más bajas. Los glaciares son los principales agentes de transporte en las latitudes altas y el viento es el agente característico de las zonas desérticas. En el resto de las regiones, la erosión, transporte y sedimentación son realizadas fundamentalmente por el agua líquida, la escorrentía.

Las aguas de escorrentía pueden estar canalizadas (ríos o torrentes) o no estarlo (arroyada difusa o aguas salvajes). Cuando el terreno absorbe fácilmente el agua de lluvia la proporción de agua de escorrentía es menor y se favorece la meteorización y la formación de suelos. Cuando, por el contrario, los suelos son delgados y la cubierta vegetal es escasa se ve dificultada la infiltración del agua y aumenta la proporción de agua de escorrentía y los procesos de erosión, transporte y sedimentación.

La capacidad erosiva de los ríos se pone de manifiesto en los profundos valles en V que excavan en las zonas montañosas. La erosión del río o del torrente es lineal, se produce a lo largo de una línea en la que se encuentra el canal principal. Sin embargo, la influencia de un río se extiende más allá de esa línea. Cuando un río profundiza en su cauce genera unos taludes laterales con fuertes pendientes; estos taludes son inestables y los terrenos de las laderas se desplazan hacia el canal principal; seguidamente el río los arrastra por su cauce. La erosión de las laderas es realizada por las aguas salvajes o de arroyada y por fenómenos de ladera como desprendimientos o

deslizamientos (ver apartado 3.2). La erosión de las laderas, llamada areolar, afecta a áreas muy amplias y, como se ha explicado, es iniciada por la erosión lineal; por eso, se considera a los ríos como los principales agentes erosivos de las zonas templadas.

Los materiales transportados por el agua viajan como carga de fondo, en suspensión o en disolución, dependiendo del tamaño de las partículas y de la energía de la corriente. Las partículas gruesas como la grava, que constituyen la carga de fondo en corrientes violentas, se desplazan por saltación, por rodamiento o por reptación hasta que se detienen cuando se reduce la energía de la corriente. Partículas menores como la arena, si están en una corriente moderada, pueden mantenerse en suspensión mientras hay cierta energía hasta que finalmente caen al fondo por gravedad (decantación). Las partículas de arcilla que son de tamaño microscópico se mantienen en “suspensión” mucho tiempo después de que el agua se detenga; a este tipo especial de transporte se le denomina disolución coloidal y al fenómeno de sedimentación correspondiente se le llama floculación. Finalmente hay elementos aún más pequeños que las arcillas, como los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc., que viajan en disolución verdadera hasta que precipitan, no cuando se reduce la energía de la corriente sino cuando el agua está sobresaturada en esos elementos.

Los procesos sedimentarios de decantación, floculación y precipitación química son los dominantes en el curso bajo de los ríos, en los lagos y en los mares que actúan como cuencas sedimentarias, es decir zonas de acumulación de sedimentos. Concretamente en el curso bajo de un río, la sedimentación se manifiesta en la sección transversal del valle que muestra, a ambos lados del canal principal o de estiaje, vegas o llanuras que se inundan muy de vez en cuando, durante las crecidas del río, recibiendo arcillas y limos característicos de las vegas y responsables de su fertilidad.

A veces, la dinámica de las placas hace que los sedimentos y las rocas sedimentarias se levanten y ocupen zonas altas de las cordilleras con lo cual pueden volver a sufrir procesos de erosión, transporte y sedimentación. De esta manera el ciclo geológico externo se puede repetir una y otra vez.

### **3.2. Sistema de ladera y sus riesgos.**

Anteriormente hemos explicado que los valles en V son el resultado de dos procesos combinados: la erosión lineal del río que excava hacia abajo y la erosión de las laderas, llamada erosión areolar, que arrastra materiales hacia el cauce para que posteriormente sean evacuados por el río. La importancia de la erosión areolar radica en que implica a superficies mucho mayores que las afectadas por los ríos. Los procesos que intervienen en la erosión de las laderas se denominan fenómenos de ladera; en ellos interviene el agua de lluvia y la gravedad. Los más importantes son los siguientes:

- a) Arroyada difusa. También se conoce como acción de las aguas salvajes; se trata de agua de lluvia que no se infiltra y que discurre en superficie arrastrando partículas. Este proceso puede ser muy perjudicial porque erosiona los suelos con gran rapidez originando abarrancamientos o cárcavas. Si afecta a una región constituida por materiales sueltos y desprovista de vegetación resulta un paisaje de aspecto lunar conocido como badlands.
- b) Desprendimientos de partículas individuales. Se incluyen aquí los desprendimientos de piedras propios de las laderas rocosas escarpadas en épocas de lluvias y las pequeñas partículas despegadas del suelo por el impacto de las gotas de lluvia. Se habla de avalancha si se desprenden masivamente bloques de piedra o nieve. Las acumulaciones de piedras y bloques constituyen los canchales que se suelen encontrar al pie de las laderas más escarpadas.

- c) Deslizamientos. Un deslizamiento es el movimiento de una gran masa de materiales poco coherentes, que se comportan como una unidad, a favor de una superficie de deslizamiento semejante a una falla. Los deslizamientos se ven favorecido por ciertos materiales como la arcilla y el yeso, las pendientes fuertes, la existencia de superficies de discontinuidad previas, la orientación de la estratificación, el clima, etc. Los movimientos de tierras efectuados en las obras públicas originan con frecuencia taludes inestables; en estos taludes de forma natural ocurren deslizamientos hasta que se alcanza una pendiente estable.
- d) Coladas de barro (solifluxión). Se trata también de movimientos en masa pero no hay una superficie de ruptura. Son típicos de materiales arcillosos que se empapan de agua en las épocas de lluvia y que se comportan de una manera plástica (arcillas expansivas). También ocurre en zonas periglaciares cuando los suelos helados se descongelan enl verano y, al estar empapados en agua, fluyen ladera abajo; no es necesario que haya una pendiente pronunciada.
- e) Reptación (creeping). Como en los dos casos anteriores se trata de un movimiento en masa pero es un proceso más lento y continuo. El desplazamiento del suelo a favor de la pendiente resulta de dos movimientos combinados: primero las partículas del suelo ascienden perpendicularmente a la superficie inclinada, por empapamiento o durante las heladas; después, cuando el suelo pierde volumen, las partículas caen. La repetición de este fenómeno origina un avance del suelo del orden de 1 cm al año.

Nos centraremos en tres fenómenos conocidos como riesgos gravitacionales que suponen un verdadero peligro por ser rápidos y porque ponen en movimiento grandes masas de materiales: los desprendimientos, los deslizamientos y las coladas de barro. Las viviendas humanas pueden verse enterradas, las carreteras cortadas, las conducciones interrumpidas, etc. También pueden provocar riesgos indirectos como cuando un deslizamiento en un valle interrumpe el curso de un río, el agua se embalsa y, más tarde puede romperse la presa provocando una inundación.

Los lugares susceptibles de sufrir movimientos de ladera se pueden predecir mediante un estudio de la región. En ese estudio se consideran los principales factores de riesgo: la pendiente del terreno, el tipo de materiales (cohesión interna, presencia de arcillas expansivas), la orientación de la estratificación y de las diaclasas, la red de drenaje, la vegetación, la pluviometría, la alternancia de hielo y deshielo, etc.

El resultado de este estudio es un mapa de peligrosidad, a partir del cual se elabora el mapa de riesgo y se realiza la ordenación del territorio. Si la región estudiada tiene riesgos de movimientos de ladera también hay que prever las medidas necesarias de emergencia, de alerta y de evacuación. Completan la prevención una serie de medidas estructurales, entre las que destacamos:

- Medidas de contención como muros de hormigón, redes o mallas y anclajes.
- Modificar la geometría del terreno suavizando las pendientes. Esto hay que tenerlo en cuenta en las obras públicas que generan taludes inestables.
- Construir drenajes para reducir la escorrentía y el hinchamiento de los terrenos.
- Revegetar los taludes ya que las plantas, con sus raíces, tienen un efecto fijador del suelo.

### **3.3. Sistema fluvial y sus riesgos.**

#### **a) Dinámica fluvial.**

Los ríos y torrentes son agentes geológicos que erosionan, transportan y depositan. El proceso dominante en cada tramo depende de la energía del agua que, a su vez, está influida por la pendiente, el caudal y la carga.

Cuanto mayor es la pendiente mayor es la velocidad del agua y mayor es la energía del río. En general, la pendiente va disminuyendo hacia abajo porque en las partes altas se produce erosión y en las bajas sedimentación. Si se representan gráficamente las cotas del río a lo largo de su recorrido se obtiene el perfil longitudinal. Los ríos tienden a tener un perfil cóncavo llamado perfil de equilibrio, que se alcanza cuando el río ni erosiona ni deposita porque toda la energía se dedica al transporte. Se conoce como nivel de base a aquél en el que el río ha perdido toda su energía y corresponde a la desembocadura en el mar o en un lago. El perfil de equilibrio se establece para un nivel de base determinado, por lo que las modificaciones en el nivel de base suponen alteraciones en el perfil de equilibrio:

- Si el nivel de base desciende, porque se eleva el continente o porque desciende el nivel del mar, se produce una erosión en puntos cada vez más altos conocida como erosión remontante como búsqueda de un nuevo perfil de equilibrio. Puede ocurrir que la erosión remontante alcance el cauce de un río situado a cotas superiores haciendo que sus aguas abandonen dicho cauce y fluyan siguiendo el de mayor pendiente; a este fenómeno se le llama captura fluvial.
- Por el contrario, si el nivel de base asciende se produce una sedimentación remontante.

El caudal es el volumen de agua que lleva el río por unidad de tiempo. Normalmente aumenta a lo largo del recorrido del río por la incorporación del agua de los afluentes. También varía a lo largo del tiempo, aumentando en los períodos de lluvias y disminuyendo durante el estiaje. Estas variaciones de caudal se muestran gráficamente en los hidrogramas en cuyo eje de abscisas se representa el tiempo y en el de ordenadas el caudal. Los picos o máximos de caudal se denominan caudal punta y se corresponden con fuertes lluvias; si las crecidas se producen en un período corto y el caudal punta es muy elevado hay peligro de inundación. Se puede solucionar este problema con la construcción de presas.

La carga (Q) es el conjunto de materiales que realmente transporta el río mientras que la capacidad C es la carga potencial que puede transportar un río en un momento determinado. Cuando  $C > Q$  al río le sobra energía y, además de transportar, también erosiona su cauce. Si  $C < Q$  el río no tiene fuerza para arrastrar su carga y la deposita en su cauce. Si  $C = Q$  no hay erosión ni sedimentación, sólo transporte, es decir la situación propia del perfil de equilibrio. Otro concepto que nos habla de la energía del río es el de competencia, el diámetro de la partícula de mayor tamaño que un río puede transportar como carga de fondo.

Un torrente es un curso de agua que tiene un cauce fijo solo lleva agua en períodos de lluvia. Es costumbre dividir un torrente en tres partes: la cuenca de recepción, que ocupa la parte más alta y es una zona amplia con fuerte pendiente por la que desciende el agua muchas veces sin canalizar; el canal de desagüe, especie de barranco por el que bajan agua con gran energía en los períodos de lluvia y, finalmente, el abanico aluvial o cono de deyección, que es un depósito de bloques, grava y arenas acumulados al final del canal de desagüe, donde disminuye bruscamente la pendiente.

Un río es un curso de agua permanente que discurre por un cauce fijo; si la circulación es esporádica se denomina torrente. También se suele dividir en tres partes el recorrido de un río: curso alto, que corresponde a la región de mayor pendiente y donde domina la erosión; curso medio, con pendientes intermedias y predominio del transporte; y curso bajo, con pendientes muy suaves y gran importancia de la sedimentación. Este modelo de las tres partes del río es fácil de entender pero resulta demasiado simplista. En general la pendiente va disminuyendo hacia la desembocadura pero hay numerosas excepciones a esta regla; por ejemplo, cuando el río atraviesa materiales más consistentes se incrementa la pendiente independientemente de la proximidad a la desembocadura. Otra crítica posible al modelo es que la erosión, el transporte y la sedimentación se pueden producir simultáneamente en el mismo tramo del río: por ejemplo, disolución de la roca, arrastre de iones disueltos y de arena, y depósito de fragmentos de tamaño bloque.

La erosión fluvial se reconoce en el paisaje por los valles en forma de V, cuya apertura depende de los materiales atravesados. Una parte de la erosión efectuada por el río, llamada corrosión, se debe a la propia agua, sobre todo por su acción disolvente; pero otra parte muy importante se debe a los fragmentos rocosos arrastrados por el río que golpean los laterales y el lecho fluvial. Ejemplo de esto son las marmitas de gigante, oquedades en las rocas del lecho fluvial realizadas por piedras sueltas movidas por remolinos de agua.

La sedimentación es típica de las partes bajas y se produce por un descenso de la energía con motivo de la pérdida de pendiente. El perfil transversal del río ya no es el de una V. Incluso en el supuesto de que alguna vez haya habido una V, el fondo del valle se rellena de sedimentos quedando un valle de fondo plano y dos laderas más separadas (se llaman valles en artesa). En la zona llana se puede hallar un canal que es la zona que normalmente está ocupada por agua; cuando sube el nivel del agua el canal se desborda y se inunda también el llano circundante. Por tanto se produce sedimentación en dos contextos: en el canal principal y en la llanura de inundación. Las llanuras de inundación o vegas son lugares escogidos desde antiguo para la agricultura. Tienen el peligro de la inundación catastrófica, pero es también esa inundación, que se produce muy de vez en cuando, la que aporta los nutrientes que hacen tan rico el sedimento sobre el que se instalan cultivos.

El curso medio del río presenta un modelado en el que intervienen tanto procesos erosivos como sedimentarios. Anteriormente hemos descrito la forma de un valle en el que primero se produjo erosión (forma de V) y después depósito de sedimentos (fondo plano). Si a continuación estos sedimentos fueran excavados durante otra fase de erosión obtendríamos un perfil transversal escalonado. A los escalones que se forman de esta manera se les llama terrazas fluviales. En un mismo valle pueden darse varios niveles de terrazas lo que se interpretaría como la alternancia de periodos de erosión y periodos de depósito. También en el curso medio podemos encontrar ríos trezados o anastomosados caracterizados por el depósito de barras arenosas o de grava en el propio cauce del río, lo que hace que la corriente principal se divida en varias que envuelven a las barras adquiriendo así el aspecto trezado.

Los ríos meandriformes se caracterizan por las numerosas curvas que reflejan una baja energía del río incapaz de tomar el camino más corto; son característicos de las partes con menos pendiente, es decir del curso bajo. En los meandros también se dan dos procesos: la inercia hace que el agua que llega a un meandro tienda a chocar con la orilla cóncava, allí se produce erosión; a la orilla opuesta, por el contrario, llega menos agua y con menos fuerza por lo que los materiales arrastrados tienden a depositarse. Eso se traduce en que el meandro se va acentuando con el tiempo pudiendo llegar a conectar dos curvas de meandro distantes; en este caso el agua elige un nuevo camino más corto y de más pendiente. Se ha producido el estrangulamiento del meandro.

Algunos ríos tienen tanta energía que dejan sentir su influencia más allá de su desembocadura, sus sedimentos invaden el mar y producen grandes acumulaciones sedimentarias conocidas como deltas; la parte aérea del delta es una zona en la que se instalan ecosistemas muy ricos (humedales) y es muy propicia para la agricultura (arrozales); las zonas marinas alrededor del delta suelen ser muy ricas en vida y pesca gracias al continuo aporte de nutrientes del río. Un requisito importante para que se formen deltas es que no haya corrientes litorales importantes que desvíen los sedimentos a lo largo de la costa.

Otro tipo de desembocadura fluvial es el estuario: el mar penetra en el cauce fluvial, ensanchándolo y dejando una zona de aguas salobres sometidas a las fluctuaciones mareales.

#### b) Riesgos asociados a la dinámica fluvial: inundaciones.

Todos los años millones de personas en todo el mundo padecen las consecuencias de las inundaciones: víctimas mortales, pérdida del ganado y de las cosechas, destrucción de viviendas y vías de comunicación... El número de víctimas duplica a las de los terremotos. Una de las razones de este balance trágico es que muchas personas viven en las llanuras de inundación de los ríos por ser éstas las mejores tierras para el cultivo.

La mayoría de las inundaciones tienen un desencadenante climático (lluvias torrenciales, huracanes, fusión de nieve, marejadas) pero también influyen la topografía de la región, los movimientos de ladera que obstruyen los valles fluviales, los episodios volcánicos que provocan lahares, las construcciones humanas que impiden la evacuación normal del agua, la rotura de presas, la deforestación y la pavimentación que reducen la infiltración y aumentan la escorrentía.

La predicción espacial de las inundaciones es relativamente sencilla de realizar considerando la red fluvial y la topografía; en general, las zonas más llanas situadas cerca de los cauces son las más propensas a las inundaciones. También hay que tener en cuenta el tipo de suelo y la vegetación porque afectan a la infiltración. Para disponer de un buen mapa de riesgos hay que incluir la exposición: la población residente en la zona, las edificaciones, los cultivos y todos los bienes que pueden verse afectados.

La predicción temporal tampoco es compleja. En la mayoría de los casos el factor desencadenante es una lluvia intensa y eso se puede conocer gracias a las predicciones meteorológicas que cada día son más acertadas y dan la alerta con la antelación suficiente. Además, se puede saber qué altura va a alcanzar un río a su paso por una población si río arriba hay estaciones pluviométricas y, sobre todo, estaciones de aforo que nos informan del caudal; incluso se puede determinar a qué hora va a alcanzar el caudal punta en esa población.

A pesar de que la predicción es posible, las inundaciones siguen cobrándose muchas víctimas en países subdesarrollados. Las víctimas se pueden evitar con la prevención adecuada:

- Realizar la ordenación del territorio teniendo en cuenta los mapas de riesgos de inundaciones. En las zonas más próximas al cauce debe establecerse una zona de prohibición total de cualquier uso. A continuación, más lejos del cauce, se debe determinar una banda de restricción en la que usos como los agrícolas estén permitidos mientras que la construcción de viviendas esté prohibida.
- Poner en marcha un sistema de vigilancia que incluya predicciones meteorológicas y estaciones de aforo. Para que esta medida sea eficaz hay que prever también los sistemas de alerta y evacuación en caso de peligro (medidas de protección civil).

- Regular la cuenca hidrológica evitando caudales punta extremos. Esto se consigue reforestando los cauces y toda la cuenca ya que la vegetación favorece la infiltración y reduce la escorrentía; además se evitan las pérdidas de suelo. Otras medidas de tipo estructural son la construcción de diques, el ensanchamiento de cauces, la creación de cauces nuevos y, sobre todo, la construcción de embalses que permiten la laminación del agua en caso de inundación.

### **3.4. Sistema litoral y sus riesgos.**

#### **a) Dinámica litoral.**

La zona costera o litoral es el área de contacto entre la superficie continental y el mar. Comprende las orillas y zonas adyacentes marinas; es una zona de transición que reúne características marinas y continentales. El litoral es importante por su elevada biodiversidad y su gran productividad biológica. No obstante, en este capítulo atenderemos preferentemente a la geodinámica costera dejando los aspectos ecológicos para el capítulo sobre Biosfera.

La franja litoral está comprendida entre el nivel de bajamar y el de pleamar. Esto implica una extensión muy variable de unas costas a otras. La franja litoral es amplia si la diferencia entre las mareas es grande, como en el Atlántico, y si la costa tiene una pendiente muy suave, como sucede en el litoral de Huelva. El caso opuesto es de la costa granadina: allí las sierras béticas llegan hasta el mar y, por tratarse del mar Mediterráneo, la diferencia de mareas es escasa; resulta, por tanto, una franja litoral muy estrecha.

Los agentes físicos más importantes en el litoral son las olas y las mareas. Las olas son movimientos ondulatorios del agua superficial inducidos por el viento. Al acercarse a la costa la base de las ondas toca fondo y es frenada, la cresta adelanta a la base, se vuelve inestable y rompe. La fuerza de rompiente es capaz de erosionar las rocas y/o de lanzar tierra adentro diversas partículas; a continuación, el agua retrocede con menor velocidad. Así pues, las olas juegan un papel muy importante en la morfología litoral como agente de erosión, transporte y sedimentación. En algunas costas el retroceso del agua, también llamado resaca, no se produce por igual en toda la costa sino que aparecen verdaderas corrientes que son muy peligrosas para los bañistas.

Con frecuencia las olas no avanzan perpendiculares a la costa lo que origina un movimiento lateral del agua. Por ejemplo, una pelota abandonada en el rompeolas de una playa se mueve con el flujo y reflujos pero al mismo tiempo se va desplazando lateralmente. Este movimiento lateral de la masa de agua se conoce como corriente de deriva litoral y ha de ser tenida en cuenta, por ejemplo, en el diseño de puertos si no se quiere que la entrada del puerto quede obstruida por la arena que trae la corriente de deriva.

Las mareas son las subidas y bajadas del nivel del mar como consecuencia de la atracción que ejerce la Luna y, en menor medida, el Sol. La migración del agua se produce hacia el punto más próximo a la Luna pero también hacia el opuesto ya que ésta atrae más al centro de la Tierra que a las zonas más alejadas. Al ir girando la Luna respecto a la Tierra, la protuberancia mareal va girando alternándose, en cada punto de la costa, los momentos de marea alta (pleamar) con los de marea baja (bajamar). Al cabo de un día hay dos pleamares y dos bajamares. En las costas llanas, donde se nota más el efecto de las mareas, la subida y bajada del agua se puede producir a favor de ciertos canales por lo que se habla de corrientes mareales. Estas corrientes son responsables de importantes fenómenos de transporte y sedimentación de arena; también deben ser tenidas en cuenta en la navegación.

Las costas pueden clasificarse de forma variada dependiendo del criterio elegido. Una clasificación posible es la que diferencia costas de inmersión de las costas de emersión. En el primer caso se produce un hundimiento del continente y el mar avanza hacia tierra inundando los valles fluviales. Esto origina una costa con muchos entrantes y salientes como los de las rías gallegas o los fiordos noruegos (en Noruega se inundan valles glaciares). Los estuarios también pueden tener este origen; nótese que el resultado es el mismo si se hunde el continente que si se eleva el nivel del mar. El caso contrario es el de las costas de emersión que se caracterizan por la presencia de antiguas playas lejos de la línea de costa actual. En las costas de Huelva existen varios faros de época romana construidos junto al mar y que hoy están a cientos de metros del mar; como explicación podemos invocar levantamientos tectónicos, bajadas del nivel del mar o, simplemente, una gran acumulación de sedimentos.

Otra clasificación diferencia costas de erosión de costas de acumulación. En el primer caso la costa es rocosa y sufre el embate de las olas del mar. Es lo que ocurre en los acantilados; la acción del oleaje hace retroceder al acantilado y los fragmentos rocosos arrancados se acumulan al pie del acantilado en una plataforma de abrasión.

Las costas de acumulación reciben gran cantidad de sedimentos. El ejemplo típico es una playa arenosa, aunque también hay playas pedregosas y costas fangosas. La presencia de arena, piedra o arcilla depende de la energía del agua. Así, las playas pedregosas suelen ser pequeñas calas próximas a acantilados; la acumulación de fango (arcilla, limo) es propia de lugares tranquilos como las marismas. En las costas de sedimentación, además de las playas, podemos encontrar los siguientes accidentes costeros:

- a) Cordón litoral o barra: depósitos arenosos dispuestos generalmente de forma paralela a la costa y a cierta distancia de ella.
- b) Flecha: es un tipo de cordón arenoso alargado que tiene uno de sus extremos unido a la costa, generalmente coincidiendo con la desembocadura de un río. Es famosa la flecha de El Rompido, en Huelva.
- c) Tómbolo: es un accidente costero resultante de la unión de un islote con la costa a través de un cordón arenoso. La acumulación de la arena se produce en la zona protegida del oleaje por el islote.
- d) Albufera: especie de laguna costera formada cuando las barras arenosas separan una masa de agua del resto del mar.

En las zonas de desembocadura de ríos la costa puede adquirir dos configuraciones especiales: estuarios y deltas. Los estuarios son desembocaduras fluviales ensanchadas; el agua del mar avanza por el cauce fluvial cuando la corriente del río es débil. Ejemplos de estuarios son las rías gallegas y la desembocadura del Tago en Lisboa.

En otros casos, como en la desembocadura del Ebro, sucede lo contrario y el agua dulce se extiende kilómetros mar adentro. El río transporta grandes cantidades de sedimentos, éstos se van depositando en su desembocadura originando una serie de islotes que en conjunto, a vista de pájaro, adoptan forma triangular. La geografía de los deltas es compleja con múltiples canales, zonas de que se inundan durante las mareas altas y zonas emergidas de forma permanente. Para que se forme un delta en la desembocadura de un río se requiere un gran aporte de sedimentos y que el mar no tenga mucha energía, como ocurre en el Mediterráneo; de lo contrario el oleaje limpia la desembocadura repartiendo los sedimentos por toda la costa.

Tanto en los estuarios como en los deltas existen regiones protegidas donde la energía del agua es baja y tienden a acumularse sedimentos formándose llanuras costeras que se inundan o desecan al

ritmo de las mareas aunque siempre quedan zonas encharcadas más o menos ricas en vegetación. Estos humedales tienen un gran interés ecológico por albergar una gran biodiversidad y ofrecer el hábitat adecuado para muchas aves acuáticas. El Parque Nacional de Doñana, en la desembocadura del Guadalquivir, es el mejor ejemplo de marismas en nuestro país.

### b) Riesgos e impactos relacionados con la dinámica litoral.

Desde muy antiguo la humanidad ha explotado los recursos que el mar ofrece y ha escogido las costas como lugar preferente para sus asentamientos. Por tanto, debemos considerar también los peligros que para el hombre se derivan de la dinámica litoral. Quizás los más importantes sean los temporales que amplifican la altura de las olas y su energía en la rompiente; las olas golpean las construcciones, vías de comunicación y otras infraestructuras dañándolas; en otros casos se producen inundaciones de las ciudades costeras; además este oleaje de gran energía es capaz de erosionar las playas dejándolas desprovistas de arena con el consiguiente perjuicio para la industria turística. La restauración de playas se hace dragando arena de un fondo marino próximo y lanzándola a la playa; evidentemente esta medida es muy perjudicial para los ecosistemas de esos fondos y no está permitida en fondos de especial valor ecológico como las padreras de Posidonia.

El retroceso de acantilados es un proceso natural pero se convierte en un problema si el acantilado ha sido urbanizado. Se suelen construir muros de contención en la base de los acantilados para evitar el retroceso pero la energía del oleaje es demasiado grande para cualquier obra defensiva que únicamente puede retrasar algo la evolución natural del acantilado. Es necesario planificar el territorio correctamente y evitar las construcciones en estos lugares.

Algunas costas presentan un problema diferente: la arena de las dunas invade campos de cultivo, carreteras, construcciones, etc. Esto sucede cuando los vientos son persistentes, hay abundante arena y no hay vegetación. Se intenta fijar las dunas mediante plantaciones y barreras contra el viento.

La línea de costa sufre una gran presión humana. En los meses de verano, el uso recreativo de la costa, provoca una gran afluencia de personas que requieren de unas infraestructuras que han de permanecer todo el año: hoteles, apartamentos, chalés, paseos marítimos, puertos, espigones, playas artificiales, muros de contención... La transformación de la costa es espectacular; las infraestructuras turísticas lo invaden todo; es lo que se ha dado en llamar depredación costera. Con el fin de poner orden en el uso del territorio costero se aprobó en 1988 la Ley de Costas que incluye, entre otras medidas, la prohibición de construir en una franja de 100 metros a partir de la línea de costa. A este impacto paisajístico hay que añadir los impactos sobre la hidrosfera (contaminación) y sobre la biosfera (destrucción de hábitats) que estudiaremos en otras lecciones del curso.

## **3.5.El suelo.**

El suelo es una capa de material suelto que ocupa la superficie de la tierra, generalmente con un espesor inferior al metro, y que resulta de la alteración de una roca madre infrayacente por acción de la atmósfera y de los seres vivos. Hay que insistir en que un sedimento no puede ser considerado suelo ni tampoco lo es un material de alteración sin la intervención de los seres vivos.

La ciencia que estudia los suelos es la Edafología y tiene un gran interés porque sobre los suelos se sustenta la vida en los continentes. Las plantas, que son la base de los ecosistemas continentales, necesitan un soporte adecuado que lo proporciona el suelo. Además, en esta capa existen microorganismos (bacterias y hongos) que tienen un papel descomponedor de la materia orgánica (biodegradable) en materia inorgánica para que ésta pueda ser absorbida por los vegetales y

empleada en la fabricación de nueva materia orgánica. Sin el suelo y sin los descomponedores los vegetales padecerían la falta de nutrientes.

Para tener una visión más completa del suelo veamos cuáles son sus componentes:

- a) Fase sólida
  - Componentes minerales. Son los restos de la alteración de la roca original. Estos restos se dividen en una fracción gruesa (grava, arena) y una fracción fina (arcilla, hidróxidos de Fe y Al). Cuanto mayor sea el porcentaje de fracción fina mayor es el grado de alteración. Lo ideal para la vegetación es que el suelo sea franco o equilibrado, o sea que presente fracción gruesa y fina.
  - Componentes orgánicos. Se incluye aquí la materia orgánica sin descomponer y descompuesta.
- b) Fase líquida. La presencia de agua es necesaria para que la planta pueda hacer la fotosíntesis y absorber las sales minerales.
- c) Fase gaseosa. Si no hubiera aire en el suelo las raíces se pudrirían. Sólo un suelo poroso es capaz de contener las cantidades adecuadas de agua y aire. La porosidad depende de la textura (los suelos francos tienen una porosidad óptima) y de la estructura del suelo. La estructura la constituyen los agregados que se van formando en el suelo y que tienen aspecto de migajas, terrones, etc.; los límites entre agregados proporcionan una porosidad adicional.

Cuando se va estudiar un suelo es preciso hacer un corte en el terreno, una zanja, para ver la profundidad del suelo y sus características. Este corte se denomina perfil y se acostumbra a dividir en niveles más o menos horizontales llamados horizontes. Los horizontes se pueden diferenciar unos de otros por:

- Su textura: el tamaño de los componentes.
- Su estructura: presencia de agregados, forma de los agregados.
- Su color: los tonos negros indican abundante materia orgánica, los grises-azulados los da el ion ferroso e indican encharcamiento, los rojos son propios del ión férrico y señalan etapas de fuerte oxidación y a veces desecación, etc.

Cada uno de los niveles del suelo se designa con una letra. El horizonte superficial se denomina A y suele tener un color oscuro debido a una acumulación de materia orgánica superior a la del resto de los horizontes. El horizonte intermedio Bw no siempre está presente y es un horizonte de alteración; la meteorización de la roca libera arcilla e hierro que confieren a este horizonte un color ocre. El horizonte C, más profundo, es un nivel de transición a la roca madre o material de partida y muestra fragmentos visibles de dicha roca.

En regiones donde las lluvias son abundantes los productos de alteración son rápidamente lavados hacia abajo; en estos casos no hay horizonte Bw. Es muy conocido el caso del lavado de la arcilla que se traduce en perfiles A-E-Bt-C; el horizonte E decolorado ha perdido la arcilla, y el Bt presenta una acumulación de arcilla y suele ser de un color rojo vivo. En otros casos los materiales lavados son diferentes pero siempre se genera un E y un horizonte inferior que se designa con B y una letra minúscula variable según los casos (Bs, Bh, Bg).

De lo anterior se desprende que los horizontes dependen del tipo de proceso que tenga lugar. Son tres los principales procesos edafogénicos: acción de los seres vivos (bioclastia y, sobre todo, acumulación de materia orgánica), alteración por meteorización y lavado por el agua de infiltración. A su vez, el tipo de proceso dominante depende de los siguientes factores:

- a) Pendiente. Cuanto mayor sea la pendiente mayor será la erosión y el suelo será más delgado. La pendiente también puede determinar el encharcamiento de un suelo.
- b) Clima (temperatura y pluviosidad). Influye en la intensidad de la alteración, en la posibilidad de que haya un lavado, en el grado de desarrollo de la vegetación, en la actividad biológica de los microorganismos descomponedores, etc.
- c) Vegetación. No todos los vegetales proporcionan el mismo aporte de materia orgánica al suelo. Este aporte puede ser superficial (por caída de hojarasca) o puede ser radicular (por acumulación de raíces muertas). El aporte radicular es más eficaz; por eso en donde hay pastizales anuales el horizonte A es más potente y más oscuro.
- d) Material de partida. El suelo se desarrolla más fácilmente sobre materiales sueltos y rocas fracturadas que sobre materiales coherentes.
- e) Tiempo. Cuanto mayor sea la duración de la edafogénesis mayor será la potencia del suelo y la diferenciación de horizontes.

#### Degradación y contaminación de suelos. Erosión de suelos: desertización. Medidas correctoras.

Dada la importancia del suelo, su extrema delgadez (un palmo en muchos sitios) y la lentitud de su formación, es lógico pensar que su protección es indispensable. Los suelos se ven amenazados por la erosión que destruye en pocos años lo que ha tardado en formarse miles de años; el empobrecimiento en nutrientes básicos para los vegetales (N, P, K) como consecuencia de la agricultura intensiva y, como tercera amenaza, la contaminación o acumulación de sustancias tóxicas que afectan a las plantas, a los microorganismos del suelo y a la salud humana. La contaminación puede tener varios orígenes:

- La lluvia ácida que, a su vez, se debe a las emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre y nitrógeno procedentes de la quema de combustibles fósiles..
- La salinización. En climas muy secos el riego tiene un efecto negativo a largo plazo: al producirse una intensa evaporación superficial, las sales se van concentrando en el suelo y disminuye su productividad. La salinización también puede ocurrir de otra forma: la intensa extracción de agua en acuíferos próximos a la costa provoca la salinización paulatina del acuífero y de los suelos que se riegan con sus aguas.
- Contaminación por metales pesados procedentes de la minería, de la industria, de escombreras y vertederos incontrolados. El accidente minero de Aznalcóllar, por ejemplo, provocó que aguas altamente tóxicas procedentes de una balsa que se rompió, inundaran amplias zonas de vega: el grado de contaminación fue tan alto que se han tenido que prohibir los cultivos alimentarios en esas zonas porque la contaminación permanecerá décadas y siglos.
- Uso excesivo de productos fitosanitarios: fertilizantes inorgánicos comerciales, herbicidas para eliminar malezas y pesticidas para combatir plagas.

Pero la amenaza más generalizada para los suelos de nuestra región es la erosión. Si los suelos se erosionan, se pierde la tierra fértil, los vegetales ven dificultada su existencia y con ellos todo el ecosistema; en casos extremos se llega a la desertización. Además, al perderse el suelo se reduce la infiltración de agua, aumenta la escorrentía y, por tanto, el peligro de inundación. Otro problema es que la mayor carga sedimentaria de los ríos hace que los embalses se colmaten pronto y que los ecosistemas costeros reciban tanto sedimento que pueden quedar enterrados.

La erosión es un proceso natural cuyo grado de incidencia depende de factores como el clima, el relieve, la vegetación, el tipo de material y la acción humana. En España tenemos un grave problema de desertización en diversos puntos del sudeste peninsular que reúnen muchos de los factores de riesgo: llueve poco porque las nubes descargan en la parte occidental de la Península y

cuando llueve frecuentemente es en forma de lluvias torrenciales que tienen un alto grado de erosividad. También la erosionabilidad es elevada en estas regiones: las pendientes son fuertes como corresponde a una zona montañosa, existen materiales sueltos, se ha producido deforestación (son zonas habitadas desde hace milenios), hay prácticas agrícolas inadecuadas... La ecuación universal de la pérdida de suelo es una fórmula matemática que tiene en cuenta todos los factores anteriores y nos permite conocer cuánto suelo se está perdiendo en una región concreta.

Pero la erosión no es inevitable y hay varias medidas que permiten reducirla. Es fundamental aumentar la cobertura vegetal de los suelos ya que las partes aéreas de las plantas protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia y sus raíces sujetan el suelo evitando que sea arrastrado por las aguas de arroyada. No es preciso reforestar con árboles, muchas veces el matorral hace la labor de protección. También ayuda la construcción de diques en los barrancos con idea de frenar el ímpetu de los torrentes.

Además hay que mejorar las prácticas agrícolas: arar siguiendo las curvas de nivel, practicar la rotación de cultivos, sustituir los cultivos de zonas marginales por pastos o cultivar en terrazas con muros convenientemente protegidos. Evitar el sobrepastoreo es fundamental.

Los mapas de erosionabilidad son de gran ayuda para la ordenación del territorio. Estos mapas se dibujan teniendo en cuenta la pendiente del terreno, el tipo de materiales y el grado de cobertura vegetal. También se puede hacer una vigilancia de las zonas más expuestas a la erosión observando indicadores como la formación de surcos o la exposición de las raíces de las plantas.

## **PREGUNTAS DE LA P.A.U. SOBRE GEODINÁMICA EXTERNA.**

### **PREGUNTAS-TEMA.**

1. Sistemas de ladera. Desprendimientos, deslizamientos y coladas de barro. Riesgos ligados a la inestabilidad de laderas. Predicción y prevención.
2. Degradación y contaminación de los suelos. Erosión de los suelos: desertización.
3. Meteorización. Tipos de meteorización: conceptos y caracterización de cada uno.
4. El suelo. Composición. Factores que intervienen en la formación del suelo. Perfil de un suelo. Importancia de los suelos.
5. El sistema fluvial. El perfil de equilibrio de un río. Las terrazas fluviales. Deltas y estuarios.
6. Riesgos asociados al sistema litoral: tempestades, destrucción de playas, retroceso de los acantilados. Impactos sobre el litoral derivados de la acción antrópica.
7. El sistema litoral. Tipos de costas. Agentes físicos que actúan sobre el litoral. Morfología costera: formas de erosión y formas de acumulación.

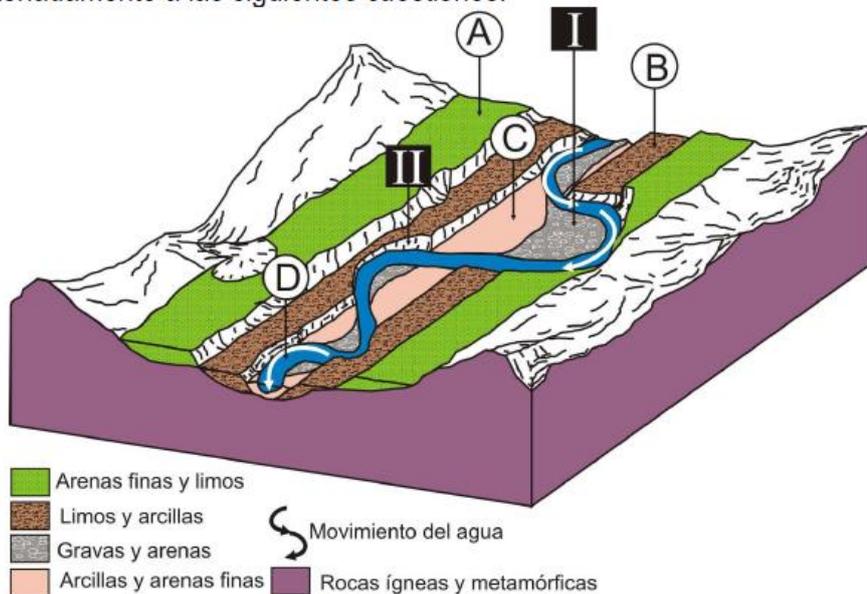
### **PREGUNTAS BREVES.**

1. Diferencias entre meteorización y erosión.
2. ¿Cómo influyen las corrientes de deriva litoral en la formación de playas?
3. ¿Qué tipo de meteorización se dará en un clima frío y seco en comparación con un clima cálido y húmedo? Razone la respuesta.
4. Enumere las medidas para evitar los desprendimientos, deslizamientos y coladas de barro.
5. Explique qué se entiende por nivel de base de un río.
6. ¿Qué es un canchal? ¿Cómo se forma?
7. Indique qué es la llanura de inundación de un río y qué características presenta.
8. ¿En qué consiste la gelifración o crioclastia? ¿En qué lugares se produce?
9. ¿Cómo se origina un delta?

10. ¿Qué es un meandro? Dibuje un esquema indicando la posición de la zona de erosión y la de sedimentación.
11. ¿Qué es un estuario?
12. ¿Qué diferencias existen entre desprendimientos, deslizamientos y coladas de barro?
13. Enumere los factores que intervienen en la formación de los suelos.
14. Indique qué es la llanura de inundación de un río y qué características presenta.
15. Enumere cuatro contaminantes de los suelos y explique su origen.
16. Explique brevemente por qué se producen las mareas.
17. ¿Qué es un torrente?
18. ¿Cómo se genera una plataforma de abrasión litoral?
19. ¿Qué relaciones existen entre escorrentía e infiltración en una zona determinada?
20. ¿Cuál es el horizonte del suelo que se forma en último lugar? Razone la respuesta.
21. Enumere las diferentes formas de transporte que pueden llevarse a cabo por el agua.
22. Cite las medidas de corrección de la erosión de un suelo.

### PREGUNTAS DE APLICACIÓN.

El bloque diagrama adjunto representa el curso medio-bajo de un río. A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- a. ¿Cómo se denomina el recorrido que muestra el río? ¿Cuáles son las características principales de este tramo de la corriente fluvial?
- b. Denomine e indique los rasgos principales de las formas fluviales marcadas con las letras A, B, C y D.
- c. ¿Qué tipos de riesgos geológicos serían previsibles en cada una de las áreas marcadas con números I y II?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

En la figura 1 se muestra el perfil de un suelo (H) que aflora en una terraza fluvial de un río que atraviesa una región donde existen importantes yacimientos minerales de sulfuros metálicos. En la tabla 1 se muestran las concentraciones (en miligramos por kilogramo de suelo, mg/kg) de algunos elementos químicos del suelo de la fotografía (Suelo H), así como las concentraciones en esos mismos elementos en otro suelo muy alejado del cauce fluvial (Suelo J).



Elemento	Suelo H (mg/kg)	Suelo J (mg/kg)
Zn	747,9	230,8
Pb	370,4	41,8
Cu	132,8	42,2
As	127,0	18,1
Tl	2,1	0,5
Bi	2,6	0,4
Cd	2,2	0,5
Th	13,9	11,7
Mo	0,7	0,2

Figura 1. Perfil del suelo H.

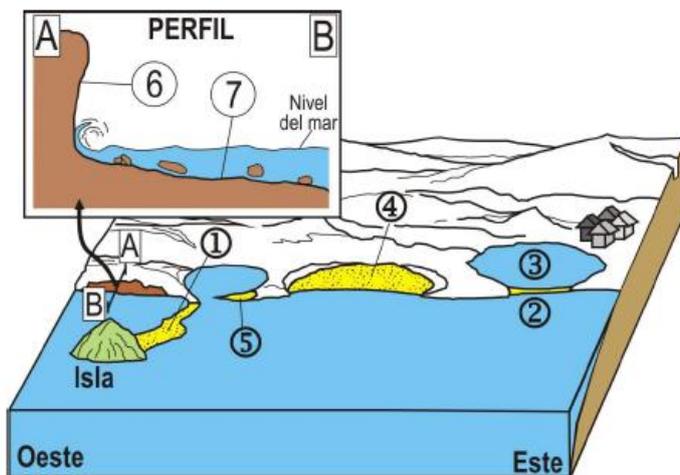
Tabla 1. Concentraciones en algunos elementos

A partir de los datos anteriores, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo se denominan los niveles marcados con 1 y 2 en la Figura 1? ¿Cuáles son sus características edáficas principales?
- Teniendo en cuenta los datos de la tabla 1, indique las diferencias entre los suelos H y J.
- ¿Cuál podría ser la causa de las diferencias entre ambos suelos expuestas en la cuestión anterior?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

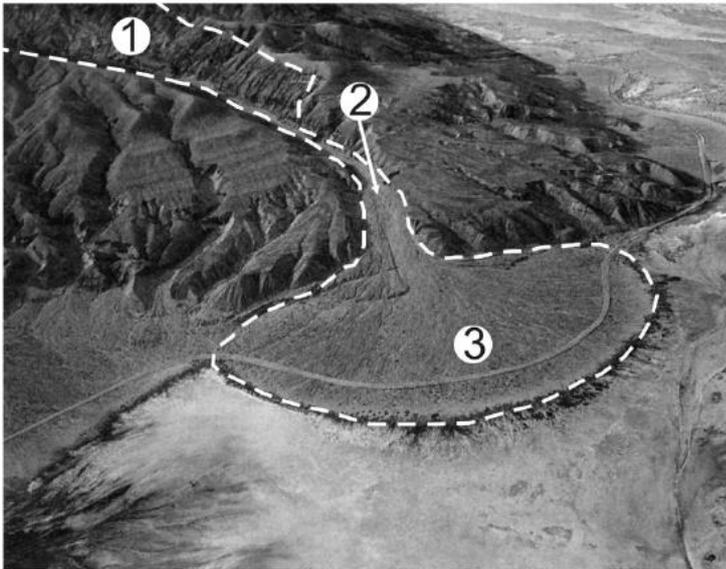
En el bloque diagrama se representa una región litoral, así como un perfil de la morfología costera en la parte oeste de la misma. A partir de la observación de las figuras, responda a las siguientes cuestiones:



- Indique el nombre de las estructuras geomorfológicas numeradas en las figuras.
- Clasifique todas las estructuras geomorfológicas costeras que aparecen en las figuras según sean de acumulación de materiales o de erosión. Señale el agente geológico que las genera.
- ¿Cuál es el papel de las corrientes de deriva litoral en el proceso de formación de las estructuras de acumulación de sedimento?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

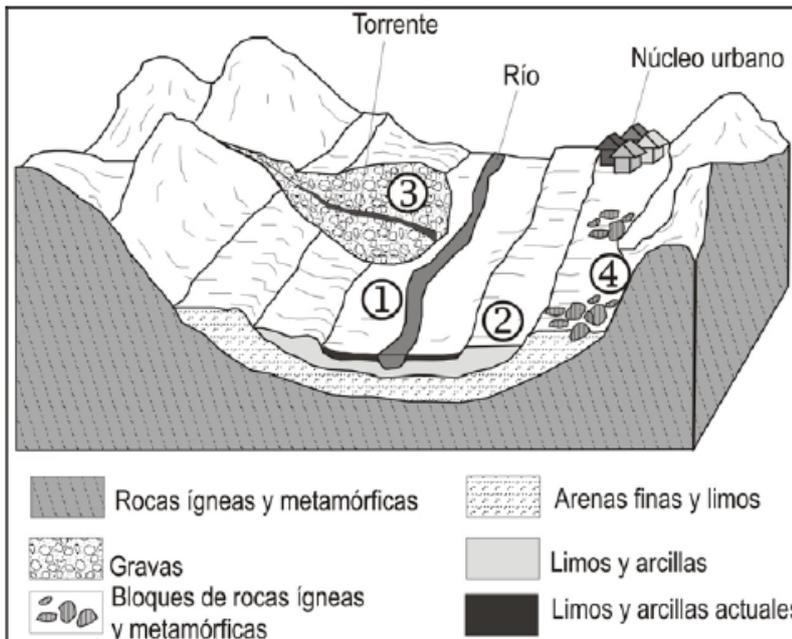
A partir de la observación de la fotografía adjunta, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- a) Indique la forma de modelado que se aprecia en la fotografía y describa las partes marcadas con los números 1, 2 y 3.
- b) ¿Qué relación guardan la erosión, el transporte y la sedimentación en cada una de las zonas numeradas en la cuestión anterior?
- c) ¿Cuáles son los riesgos geológicos asociados con la dinámica de un torrente?

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

A partir de la figura adjunta, responda a las siguientes cuestiones:



- a) ¿Qué procesos geológicos externos tienen lugar en la región mostrada en la figura?
- b) Los lugares marcados con 1, 2, 3 y 4 son áreas donde se quiere emplazar un camping. ¿Cuáles son los riesgos geológicos ligados a la dinámica externa que podrían tener lugar en cada uno de ellos? Razone la respuesta.
- c) Para cada uno de los riesgos geológicos enumerados en el apartado anterior, cite al menos dos medidas de prevención para contrarrestarlos.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

Observe la fotografía adjunta y responda a las siguientes cuestiones:



a) Teniendo en cuenta que el paisaje que aparece en la fotografía se ha desarrollado sobre arcillas ¿Cómo se denomina la forma de modelado que aparece en la imagen? ¿Qué agente geológico ha sido el causante principal de este modelado? ¿Qué condiciones climáticas dominan en el área mostrada en la fotografía?

b) ¿Cuáles son los riesgos geológicos principales que se dan en regiones con estos paisajes?

c) Cite y explique tres medidas preventivas que deberían adoptarse para evitar los riesgos geológicos expuestos en la cuestión anterior.

**PREGUNTA DE APLICACIÓN** (puntuación máxima: 3 puntos; 1 punto por cuestión).

Copie la tabla siguiente en su papel de examen.

	CLIMA	VEGETACIÓN	TIPO DE ROCA	PENDIENTE TOPOGRÁFICA
CÁRCAVAS				
CANCHALES				
COLADAS DE BARRO				

a. Rellene cada uno de los cuadros de la tabla anterior y coloque en ellos la opción más adecuada de entre las que figuran a continuación:

**CLIMA:** Seco. Lluvioso. De temperaturas extremas.

**VEGETACIÓN:** Abundante. Escasa. No influye especialmente.

**TIPO DE ROCA:** Arcillas. Otras rocas compactas no arcillosas.

**PENDIENTE TOPOGRÁFICA:** Considerable. Baja.

b. ¿Existe alguna relación entre el clima y la vegetación de una zona? ¿Cómo influye la vegetación en la erosión del suelo?

c. ¿Se pueden formar canchales en climas de temperaturas suaves y constantes? Razone la respuesta.

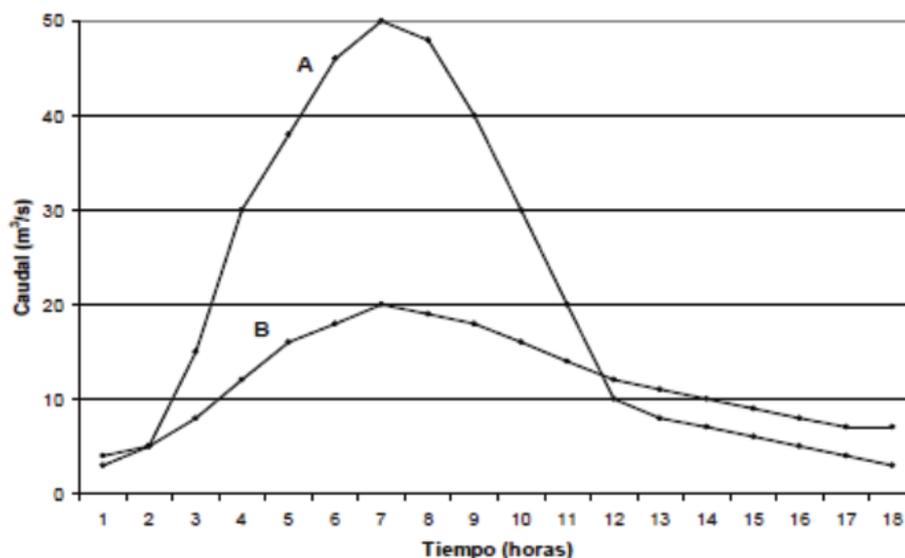
La tabla adjunta muestra algunos datos relativos a las inundaciones por desbordamiento generalizado de los ríos Níger (Nigeria, Golfo de Guine, África) y Rhin (Alemania y Holanda, Europa), ambos en su curso bajo, en llanuras próximas a su desembocadura en el mar.

PERÍODO: 1920-1990	NÍGER	RHIN
Nº de inundaciones	24	31
Nº total de víctimas	87.000	4.700
Población (en la cuenca del río)	62 millones	77 millones
Renta <i>per capita</i> anual (en US\$)	1.050	22.000

Admitiendo que todos los episodios de desbordamiento de ambos ríos tienen una magnitud similar, responda razonadamente a las siguientes preguntas:

- ¿En cuál de las dos zonas consideradas existe mayor peligrosidad por inundaciones?
- Compare la exposición y la vulnerabilidad a las inundaciones originadas por estos ríos en sus regiones respectivas.
- ¿En cuál de estas dos regiones del mundo existe un mayor riesgo de inundación? ¿Por qué?

Los hidrogramas A y B se han obtenido en el mismo punto de un cauce y bajo un régimen de lluvias similar, aunque el A unos años antes que el B. En relación con ellos, responda a las siguientes cuestiones: (ex. 6A 2010) (ex. 3A 2008) (ex. 3A 2006)



- Comente brevemente la respuesta del río en cada caso.
- ¿Qué actuaciones se han podido desarrollar sobre la cuenca que expliquen el distinto comportamiento del río?
- ¿Qué consecuencias ambientales (favorables o desfavorables) han podido derivarse de las actuaciones sobre la cuenca hidrográfica?

## **4.RECURSOS DE LA GEOSFERA Y SUS RESERVAS.**

### **4.1. Recursos minerales.**

Nuestra sociedad necesita un flujo continuo de materias primas entre las que destacan los recursos minerales. Si miramos a nuestro alrededor veremos un gran número de objetos que dependen directamente de la minería: los ladrillos de nuestras casas, el vidrio de las ventanas, los metales, etc.

Los recursos minerales han sido ampliamente explotados a lo largo de toda la historia. Algunos de ellos son realmente escasos y se encuentran en yacimientos muy localizados, entendiéndose por yacimiento una acumulación de un determinado mineral o roca de utilidad para la humanidad y cuya extracción es económicamente rentable. El conjunto de todos los yacimientos de cierto material constituye las reservas existentes de dicho material.

Los yacimientos minerales se originan por procesos diversos. Algunos tienen un origen sedimentario como los “placers” de oro que se producen cerca de las orillas de los ríos donde la corriente tiene menos fuerza y se depositan las partículas más pesadas. Otros yacimientos tienen un origen endógeno como los diamantes asociados a rocas plutónicas. En otros casos, son las aguas termales, propias de regiones con fracturas profundas o de lugares con actividad magmática, las que disuelven elementos que se encuentran dispersos en las rocas y los depositan en filones situados en zonas superiores aumentando la concentración de dichos elementos. Un caso especial de hidrotermalismo es el que tiene lugar en los fondos oceánicos en lugares próximos a las dorsales: allí se han observado como surgen chorros de aguas calientes y casi negras debido a su alto contenido en metales; estos metales se concentran en las chimeneas por las que ascienden las “humaredas negras” y también se depositan en forma de capas horizontales cerca de los puntos de surgencia. Al parecer éste es el origen de los yacimientos metalíferos de Riotinto y sus alrededores.

Las explotaciones de un yacimiento se denominan minas y pueden ser a cielo abierto (o canteras), si se encuentran en la superficie terrestre, o profundas, cuando están a varios metros de profundidad. En una explotación minera se suele distinguir la mena de la ganga. La mena es el mineral que se explota por presentar concentraciones elevadas del elemento que se persigue (ley elevada). La ganga es el resto de la roca no aprovechable pero que frecuentemente hay que extraer y acumular en escombreras; la ganga también puede incluir el elemento buscado pero en concentraciones demasiado bajas.

En el caso de los minerales metalíferos, la mena ha de someterse a un primer proceso tecnológico, junto a la mina, en el que se extrae el metal y se desecha el resto, las escorias, que se acumulan en montones junto a las explotaciones.

Clasificaremos los recursos minerales en tres grandes grupos: minerales metalíferos, minerales usados como fertilizantes y materiales de construcción.

#### **a) Recursos minerales metalíferos.**

La industria actual depende del suministro de un grupo reducido de elementos metálicos: aluminio, hierro, manganeso, cromo, titanio, cobre, plomo, cinc, estaño, plata, oro, mercurio y uranio. Algunos de estos elementos son muy escasos por lo que debemos reducir su consumo y promover su reutilización. Veamos de dónde proceden estos metales y a qué se destinan:

- El aluminio se extrae fundamentalmente de la bauxita, un mineral que se forma en los suelos ecuatoriales donde la meteorización es activa y el lavado intenso hace que se pierdan muchos componentes del suelo quedando sólo los compuestos insolubles como los hidróxidos de hierro y aluminio. Por ser un metal ligero y resistente, el aluminio es ampliamente utilizado en la construcción y en la industria de los automóviles.
- El hierro se extrae de la magnetita y de hematites, óxidos que contienen más de un 70% de hierro; hay otros muchos minerales de hierro (siderita, pirita, limonita, goethita...) pero sus concentraciones son demasiado bajas. Muchos yacimientos de hierro y de otros metales tienen un origen hidrotermal. El hierro es muy importante en la industria: combinado con carbono se obtiene acero y si a la aleación se le añade cromo y níquel, el resultado es acero inoxidable.
- El cobre es uno de los primeros minerales usados por la humanidad. Los yacimientos más interesantes son los de cobre nativo, cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) y de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Estos minerales suelen estar acompañados de malaquita y azurita (carbonatos de cobre) que se consideran ganga. El cobre se utiliza para fabricar latón, bronce y, sobre todo, cables ya que es un material dúctil y buen conductor de la electricidad. Sin embargo, su uso como conductor ha descendido en los últimos años debido a su sustitución por otros conductores: en las cañerías es sustituido por el PVC; en las tecnologías de la información, por las fibras ópticas y por circuitos de los ordenadores, que se realizan con silicio.
- El plomo se extrae de la galena ( $\text{PbS}$ ) y, dada su maleabilidad, se emplea en tuberías, en la fabricación de baterías, etc. Son famosos los yacimientos de Linares (Jaén).
- El mercurio se obtiene del cinabrio ( $\text{HgS}$ ) y se utiliza en diversas industrias químicas. Los yacimientos de Almadén (Ciudad Real) son de los más importantes del mundo.

En los últimos años se han cerrado las minas de Alquife, Linares, Riotinto y otras muchas explotaciones en España porque han dejado de ser rentables. Una de las razones es la tendencia a sustituir los recursos minerales por otros de tecnologías más sofisticadas de superiores prestaciones y mucho menos pesados, como los plásticos, las combinaciones de papel con aluminio y las cerámicas.

#### b) Recursos minerales usados como fertilizantes.

Los recursos minerales no metalíferos incluyen los combustibles fósiles, los materiales de construcción y los minerales usados como fertilizantes.

Los fertilizantes esenciales son: fósforo, nitrógeno y potasio. El fósforo se encuentra en cantidades muy pequeñas en la mayoría de las rocas. Solamente algunas formadas por sedimentación de restos orgánicos en las cuencas marinas contienen cantidades importantes de fosfatos. También es abundante el fósforo en el guano, excrementos de aves marinas que pueden acumularse en sitios muy concretos. El potasio se extrae de la silvina y la carnalita, dos sales que se depositan tras la evaporación del agua.

#### c) Materiales de construcción.

Los materiales utilizados en la construcción son los recursos minerales con los que estamos más familiarizados. Nuestra sociedad necesita gran cantidad de estos materiales que se extraen en canteras que crecen rápidamente y tienen un impacto visual importante. Podemos clasificar los materiales de construcción en varios grupos:

- Rocas. La piedra ha sido el elemento constructivo tradicional. Generalmente se han usado bloques de roca tal como se encontraban en la naturaleza; para los edificios principales la roca era tallada en forma de sillares. En las construcciones modernas la piedra ha sido sustituida por

el ladrillo, el cemento y el hormigón: Las rocas han pasado a tener un papel ornamental: losas más o menos amplias, pulidas o sin pulir se colocan en suelos y fachadas. Los granitos, los mármoles y las calizas son las rocas ornamentales más frecuentes.

- Áridos. Se denominan así a materiales no consolidados que se destinan a la construcción: arenas, grava y rocalla. La construcción de una carretera, por ejemplo, requiere un firme que consta de varias capas de grava sobre las que se dispone el asfalto. También es necesaria la grava para fabricar hormigón. Los áridos se extraen de acumulaciones sedimentarias (cauces fluviales, playas) y de regiones montañosas en las que las rocas están trituradas por procesos tectónicos. Los áridos se encarecen con el transporte por lo que han de ser extraídos en las proximidades de las poblaciones y originan graves impactos.
- Arcilla. Las arcillas se han empleado como materiales de construcción desde tiempos antiguos, al principio sólo moldeadas y secadas al Sol (adobe) y, posteriormente, cocidas. Actualmente, se cuecen y se emplean para fabricar ladrillos, tejas o baldosas rústicas y, además, se pueden vidriar para hacer baldosas o azulejos.
- Cal. La cal, que se obtiene de la roca caliza, ha sido utilizada para encalar las casas y, en la actualidad, se destina sobre todo a la fabricación de cemento. El cemento es una mezcla de caliza y arcilla que se somete a una temperatura de cocción de más de 1.400 °C para que pierda el agua y CO<sub>2</sub>, posteriormente se tritura. Al añadirle de nuevo agua, se convierte en una masa que se endurece y que da cohesión a los materiales de construcción. Las fábricas de cemento o cementeras se suelen instalar en las inmediaciones de las canteras de su componente mayoritario, la caliza, ya que la arcilla es muy abundante. El cemento combinado con arena o gravas constituye el hormigón; a veces, para aumentar su consistencia, se añaden barras de hierro, con lo que se obtiene el hormigón armado.
- Yeso. El yeso resulta de calcinar la roca del mismo nombre, para que pierda la mayoría del agua que contiene, con lo que se convierte en un polvillo blanquecino, que se mezcla con agua y se emplea como argamasa y para hacer molduras decorativas.
- Vidrio. El vidrio se fabrica derritiendo a 1.700 °C arena de cuarzo, sosa y cal, materias primas abundantes y baratas; luego, se enfría rápidamente.

## **4.2. Recursos energéticos.**

Nuestra sociedad consume grandes cantidades de energía, la mayor parte de ella procedente de la geosfera. Generalmente la energía no se puede utilizar tal y como se obtiene de la naturaleza, casi toda la energía primaria es convertida en otras formas de energía (electricidad y combustibles líquidos) para facilitar su uso y transporte. Estas formas de energía que son utilizables para el consumo se denominan energías finales o secundarias. El gas natural es una de las escasas formas de energía primaria que puede emplearse como energía final.

Los recursos energéticos que nos proporciona la geosfera son el carbón (que representa el 24% del consumo energético mundial), el petróleo (36%), el gas natural (20%), la energía nuclear (7%) y la energía geotérmica. Exceptuando la geotérmica, todas las demás fuentes de energía mencionadas son no renovables, es decir no se regeneran al mismo ritmo que se consumen. A este problema hay que añadir el que son energías contaminantes. Por eso deben ser sustituidos por energías renovables como la solar, la hidráulica, la eólica, los biocombustibles...

### **a) El carbón.**

La carbonización o formación de carbón se produce por la alteración de restos vegetales en un proceso en el que intervienen bacterias anaerobias y durante el cual se pierde hidrógeno y oxígeno, con el consiguiente enriquecimiento en carbono. La formación del carbón requiere una zona rica en

vegetación pero también un rápido enterramiento que impida la destrucción de la materia orgánica por los organismos descomponedores. Estas condiciones se dan en zonas pantanosas y en períodos de orogenia cuando terremotos, avalanchas y otros eventos catastróficos son más frecuentes.

La formación del carbón es un proceso gradual por lo que se encuentran distintos tipos de carbón según su antigüedad y su contenido de carbono. Cuanto más carbono contiene, más energía almacena y mayor es su valor económico. Estos son los principales tipos de carbón:

- Turba: se reconocen los restos vegetales, suele ser rica en agua.
- Lignito: contiene alrededor de un 70% de carbono.
- Hulla: alrededor de un 80% de carbono.
- Antracita: 90-95% de carbono. Es el carbón más antiguo y de mayor calidad.

El carbón es el combustible fósil más abundante: se calcula que hay reservas de carbón para más de doscientos años. La mayor parte se utiliza en las áreas donde se produce; sólo la décima parte de la producción se comercializa fuera de estas zonas. El carbón fue la principal fuente energética durante la revolución industrial; ahora ha perdido importancia pero sigue siendo fundamental en la industria siderurgia (altos hornos) y en las centrales térmicas ya que cerca del 30% de la electricidad que consumimos procede de dichas centrales.

#### b) Petróleo y gas natural.

El petróleo y el gas natural se originan al descomponerse los organismos atrapados en los sedimentos de los fondos marinos. El proceso de descomposición produce hidrocarburos, moléculas compuestas principalmente por carbono e hidrógeno. El gas natural está formado por los hidrocarburos más simples: metano, etano, propano y butano. En cambio, los hidrocarburos que contienen un gran número de átomos de carbono por molécula son líquidos y son los constituyentes principales del petróleo.

Los restos de organismos marinos, sobre todo plancton, que caen en los fondos deben enterrarse rápidamente para que no se degraden. Lo ideal es que se deposite un sedimento poco poroso como la arcilla para que puedan actuar las bacterias anaerobias; este sedimento se considera la roca madre del petróleo. La conversión de restos orgánicos en hidrocarburos tiene lugar a temperaturas entre 40 y 60 °C y a profundidades de 1-2 km: el petróleo en zonas más superficiales y el gas natural en zonas más profundas y calientes.

Sin embargo el petróleo en tal estado no es rentable porque se encuentra diseminado en el sedimento en forma de pequeñas gotitas. Es preciso que el petróleo migre a otra roca porosa en donde su concentración será mayor. La migración se realiza buscando zonas sometidas a menor presión y se ve favorecida por la aparición de hidrocarburos ligeros. La nueva roca se denomina roca almacén y puede ser una arenisca, una caliza oolítica o cualquier otra roca próxima a la roca madre con una porosidad elevada.

Ni siquiera en la roca almacén la concentración de petróleo es suficiente. Es necesario que exista una estructura llamada trampa petrolífera. Las trampas son morfologías más o menos caprichosas en las que se combina la presencia de pliegues o fallas con la alternancia de capas permeables y otras impermeables. El petróleo fluye hacia arriba dentro de las capas permeables pero sin salir al exterior porque los materiales impermeables se lo impiden. La presencia de agua favorece la concentración del petróleo en las trampas ya que estas dos sustancias no son miscibles por lo que el agua más densa queda debajo, el petróleo flota encima y el gas natural, si lo hubiera, ocupa la parte más elevada. En estas circunstancias la concentración es mayor y la extracción puede ser rentable.

Cuando se estudia una región para ver su potencial petrolífero se buscan combinaciones adecuadas de roca madre, roca almacén y trampas petrolíferas. Si un sondeo perfora una trampa, el petróleo y el gas natural se mueven desde los poros de la roca almacén hasta el agujero del sondeo y entonces pueden ser llevadas hasta la superficie para su procesado y distribución. Por supuesto, las trampas también pueden abrirse por movimientos de la corteza que produzcan fracturas, o por procesos erosivos.

El gas natural es un producto de fácil uso, con un coste moderado, y menos contaminante que los otros combustibles fósiles. Su consumo está aumentando por razones ambientales y económicas. Puede ser utilizado directamente, como energía primaria, en cocinas, calefacciones y en la industria; también se utiliza como combustible en las centrales térmicas. Su distribución requiere una red de gasoductos, ya que no es fácil su almacenamiento en grandes volúmenes.

El petróleo se destina a plantas de procesado llamadas plantas petroquímicas, donde es sometido a un tratamiento químico o proceso de refinado llamado destilación fraccionada, por el que se separan sus componentes. Del petróleo se extraen los gases licuados empleados en cocinas y calefacciones, las gasolinas y gasóleos que mueven nuestros vehículos, el fuel que alimenta las centrales térmicas y multitud de materias primas entre las que destacan los plásticos. Además, el petróleo es transportado y almacenado con facilidad. Desgraciadamente nuestra civilización es totalmente dependiente de esta fuente de energía que, a pesar de sus ventajas, es muy contaminante y no es renovable: queda petróleo para 40 años y gas natural para 60 años.

### c) La energía nuclear.

La energía nuclear es la que se encuentra almacenada en el núcleo de los átomos, ella es la responsable de que se mantengan unidos los protones y neutrones. Hay dos formas de aprovechar esta energía: la fisión y la fusión. La fisión rompe algunos átomos de gran tamaño, mientras que la fusión une pequeños átomos. En los dos tipos de reacciones se desprende energía.

La fusión nuclear tiene lugar en las estrellas: nuestro Sol, por ejemplo, es un gran reactor nuclear en el que los átomos de hidrógeno se combinan para dar helio. Los científicos no han sido capaces de reproducir este proceso porque se produce a temperaturas de millones de grados centígrados. Esta energía tiene a su favor que utiliza como combustibles elementos abundantes, como el hidrógeno, y que no genera gases contaminantes ni residuos radiactivos. La fusión tardará años en llegar a ser una fuente importante de energía.

La fisión nuclear es el tipo de reacción que produjeron las bombas atómicas de Hiroshima, Nagasaki y otras “explosiones experimentales” realizadas por diversos países. La destrucción que provocaron estas bombas nos habla de la potencia de la energía nuclear. Con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial, se ha desarrollado la tecnología necesaria para obtener electricidad a partir de la fisión nuclear.

Bombardeando con neutrones el núcleo de un isótopo de uranio (el combustible), éste se divide produciendo energía, isótopos más ligeros y nuevos neutrones que vuelven a incidir sobre el uranio provocándose una reacción en cadena que libera mucho calor. En los reactores se utilizan unas barras deslizantes de boro o cadmio, que absorben neutrones, para regular el número de fisiones producidas. El calor producido en los reactores de fisión es utilizado para evaporar agua y generar electricidad a través de una turbina de vapor. Dadas las altas temperaturas que se alcanzan las centrales cuentan con sistemas de refrigeración con agua.

En los años 60 y 70 la energía nuclear se consideraba la solución a la creciente demanda energética. Sin embargo ha pasado a ser una fuente de energía muy controvertida que tiene que hacer frente a tres críticas:

- El peligro de accidente nuclear se puede reducir con medidas de seguridad pero siempre existe esa amenaza como se ha demostrado en varias ocasiones, especialmente en Chernobyl (1986) y Fukushima (2011).
- La imposibilidad de deshacerse de los residuos radiactivos que permanecen activos durante miles de años.
- El carácter no renovable del uranio.

#### d) Energía geotérmica

La temperatura en el centro de la Tierra es de unos 6 000 °C; parte del calor escapa al exterior pero, en general, las rocas actúan como aislantes reteniéndolo en el interior. Esta energía, denominada geotérmica, se pone de manifiesto en los géiseres: chorros de agua hirviendo que emanan de orificios en el suelo como resultado del calentamiento de las aguas subterráneas. Tras la surgencia, el vapor de agua se condensa y cae de nuevo a la tierra, se infiltra y se calienta de nuevo hasta que vuelve a brotar al cabo de un tiempo más o menos fijo.

En las zonas donde hay manantiales que proceden de zonas profundas, el agua caliente se puede destinar a calefacción, es decir, como fuente de energía y no solo como agua para baño en balnearios que es el uso tradicional de este tipo de agua. Además, si la temperatura del agua es muy elevada y está hirviendo puede aprovecharse para producir electricidad ya que el vapor de agua permite mover una turbina; si la temperatura del agua no llega a ebullición se recurre a un intercambiador de calor que convierte en vapor a otro fluido que se hace pasar por la turbina. Tampoco es preciso que haya manantiales porque se pueden realizar perforaciones y hacer circular agua en zonas profundas y recuperarla ya caliente para su uso doméstico o industrial.

Las ventajas de esta fuente de energía son evidentes: es una energía renovable, no contaminante y barata. Presenta el gran inconveniente de localizarse en zonas muy concretas generalmente en regiones volcánicas como las Islas Canarias.

Sin embargo, en los últimos años, se ha desarrollado una tecnología que permite aprovechar esta energía incluso con una pequeña diferencia de temperatura entre la superficie y el interior. Nos referimos a las bombas de calor que con un pequeño consumo eléctrico son muy eficientes en la climatización de las viviendas, tanto para calefacción como para refrigeración.

### **4.3. Impacto de la minería sobre el medio físico, biológico y social.**

La minería, especialmente la de interior, tiene consecuencias negativas para la salud de los trabajadores. Los mineros están expuestos a desplomes, explosiones y accidentes con la maquinaria pesada que les ocasionan lesiones graves y ponen en peligro sus vidas. Además, la inhalación de polvo y gases provoca enfermedades respiratorias y el contacto continuo con metales pesados se relaciona con enfermedades neurológicas. El aparato locomotor, sobre todo las articulaciones, se resiente por el manejo de herramientas pesadas y por las vibraciones de algunas máquinas. El reuma también es frecuente entre los mineros debido a la condiciones de humedad que tienen que soportar.

La minería también tiene consecuencias negativas para el medio ambiente. Especialmente la minería a cielo abierto causa graves impactos porque se remueven inmensos volúmenes de tierras y, una vez abandonados, los terrenos quedan en una situación de degradación total. La legislación

española obliga a las compañías mineras a la realización de una evaluación de impacto ambiental previa a la construcción de una mina y, una vez abandonada su explotación, han de llevar a cabo un plan de restauración del paisaje.

En las explotaciones mineras se desecha una gran masa de materiales estériles (la ganga). Éstos se depositan en escombreras, en algún lugar próximo a la mina porque un transporte largo encarecería mucho los costes de la explotación. Lo ideal es acumular estos residuos en huecos y cicatrices generados por la propia explotación, respetar la morfología del paisaje y acelerar la revegetación de las escombreras.

Frecuentemente, junto a las minas se instalan industrias de transformación que también producen residuos que pueden ser inertes o tóxicos. Se consideran residuos tóxicos los que contienen sustancias peligrosas (arsénico, cadmio...) en cantidades que suponen un riesgo para la salud o para el medio ambiente. Requieren tratamientos especiales para neutralizarlos (reacciones ácido-base, oxidación-reducción), mecanismos de precipitación, destilación, combustión y, si no hay otra opción, aislarlos en depósitos de seguridad adecuados.

Veamos los impactos de la minería sobre cada uno de los componentes del medio ambiente y las medidas correctoras correspondientes:

- Sobre la atmósfera. Las actividades mineras liberan polvo y gases por lo que se deben ubicar las explotaciones lejos de poblaciones y al abrigo de los vientos. Se puede reducir la contaminación por polvo humedeciendo los caminos y colocando las preceptivas lonas sobre los volquetes. Se deberían instalar medidores de contaminación en los alrededores de la explotación minera.
- Sobre la hidrosfera: alteraciones de la circulación del agua, contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Hay que instalar cunetas y canales para la recolección de agua así como filtros verdes y otros sistemas de tratamiento del agua antes de verterla a la red hidrográfica. Se debe vigilar la composición de las aguas subterráneas para detectar una posible contaminación.
- Sobre el suelo. Frecuentemente se pierde la capa de tierra fértil en una explotación minera; la solución es retirar esa capa al principio de la explotación y, cuando se abandona la extracción, devolverla a su posición y revegetar rápidamente. En algunos casos los suelos pueden sufrir contaminación de metales pesados y otros compuestos tóxicos que los hacen inservibles para la agricultura.
- Sobre la biosfera: pérdida de la cubierta vegetal y desaparición de animales al ver alterado su biotopo. La principal medida correctora es revegetar la zona con su flora propia, favoreciendo la sucesión ecológica.
- Sobre el paisaje: cambia la morfología, se rompe la armonía del relieve, aparecen cicatrices, escombreras... Por eso se deben emplazar las canteras en lugares poco visibles y, para corregir los impactos una vez terminada la explotación, se debe restaurar el paisaje rellenando los huecos o cicatrices, suavizando y estabilizando las escombreras, reduciendo los carriles, revegetando, etc.
- Sobre los habitantes de la zona: ruido, vibraciones, contaminantes... Para reducir estos efectos conviene usar maquinaria eléctrica en vez de explosivos, trabajar sólo de día, instalar medidores de ruido y de contaminantes. El porcentaje de trabajadores en paro de algunas regiones mineras oscila mucho según los altibajos del precio del producto que extraen; por eso habría que hacer una planificación económica de la comarca, fomentando otros sectores productivos y evitando el "monocultivo".

#### **4.4. Contaminación térmica y radiactiva.**

La contaminación térmica se produce cuando un proceso altera la temperatura del medio, tanto del aire como del agua. En el caso del aire, es bien conocido el fenómeno conocido como isla de calor que afecta a muchas ciudades que sufren temperaturas más elevadas que las zonas naturales circundantes. Más grave es la contaminación térmica de ríos y lagos: las centrales térmicas y las centrales nucleares requieren sistemas de refrigeración basados en la circulación de agua fría tomada de ríos, lagos o mares. Una vez cumplida su misión refrigerante el agua es devuelta al medio pero a una temperatura superior por lo que se considera contaminación térmica. Muchos organismos acuáticos no soportan el cambio y, además, el incremento de temperatura disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua limitando toda forma de vida aerobia.

Entre los residuos energéticos merecen una mención especial los generados por la energía nuclear. Estos residuos son de los más peligrosos por sus efectos sobre la salud y la larga duración de su actividad. Se generan residuos radiactivos durante los procesos de extracción, enriquecimiento y explotación de los minerales de uranio.

La principal mina de uranio en España se encuentra en Saelices (Salamanca) que cuenta con una planta industrial para la conversión del mineral en sales concentradas de uranio. La purificación y enriquecimiento de las sales de uranio no se lleva a cabo en España pero existe una fábrica de pastillas de combustible nuclear en Juzbado (Salamanca). El combustible es destinado a las ocho centrales nucleares en funcionamiento que son: Sta. M<sup>a</sup> de Garoña, Ascó I, Ascó II, Vandellós II Almaraz I, Almaraz II, Trillo, Cabrera y Cofrentes. Los principales residuos radiactivos se producen en estas centrales y en las que están en desmantelamiento como la de Cabrera.

Los residuos radiactivos siguen siendo activos durante miles de años. Por ello suponen un problema ambiental sin soluciones satisfactorias. Es muy difícil encontrar un lugar seguro para estos residuos, y su almacenamiento en depósitos especiales supone la transmisión del problema a las generaciones futuras. La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) es la encargada de la gestión de dichos residuos en España. Los residuos de baja y media actividad (con una vida inferior a 300 años) se almacenan hormigonados en bidones metálicos y se trasladan desde las centrales nucleares hasta el cementerio nuclear de El Cabril (Córdoba). Se pueden depositar a poca profundidad protegidos de infiltraciones y con los servicios de vigilancia adecuados. Se prevé que el almacén de El Cabril estará lleno en 2030.

Pero el tratamiento de los residuos de alta actividad es mucho más difícil porque permanecerán activos durante cientos de miles de años: los contenedores se deteriorarán y dejarán de ser herméticos en unos pocos siglos. No existe ningún almacén de residuos de alta actividad en España, por lo que durante la actividad normal de las centrales nucleares este tipo de residuos se almacenan temporalmente en piscinas situadas en sus propias instalaciones. Cuando se desmantela una central estos residuos se trasladan a almacenes de otros países (Francia y Reino Unido), pero retornarán a España cuando esté operativo el primer almacén nuclear de alta actividad que, después de mucha controversia, se construirá en Villar de Cañas (Cuenca).

#### **4.5. Impactos derivados de la extracción, transporte, tratamiento del combustible fósil y su utilización.**

La energía geotérmica tiene un bajo impacto sobre el medio ambiente porque, además de renovable, es una energía limpia. Las centrales nucleares liberan agua caliente que afecta a la cantidad de oxígeno disuelto de los ríos y a la vida acuática; no obstante el principal problema de esta fuente de

energía son los residuos radiactivos que se estudian en el apartado siguiente. Los combustibles fósiles, nuestra principal fuente de energía, son muy contaminantes y su impacto negativo abarca desde los procesos de extracción hasta los de combustión:

- a) Extracción. La extracción de carbón, en la minería de interior y sobre todo en minas a cielo abierto, provoca un gran impacto paisajístico. Además se desprenden partículas y gases a la atmósfera y a las aguas del entorno. La extracción de los hidrocarburos es más fácil porque son fluidos y tienden a desplazarse hacia arriba; por eso el impacto de su extracción es menor aunque la alta densidad de torres de perforación en algunas zonas petrolíferas las ha transformado completamente y las frecuentes fugas crean un cinturón de contaminación a su alrededor.
- b) Distribución. El transporte del carbón es difícil y muy costoso; en la medida de lo posible, el carbón se consume cerca de donde se extrae. El transporte del petróleo y, sobre todo del gas, es mucho más fácil por tratarse de fluidos. El petróleo se puede transportar en barcos petrolíferos, con el riesgo de que sucedan accidentes y mareas negras como la del Prestige, o mediante tuberías llamadas oleoductos cuyas fugas contaminan las aguas y los suelos de las regiones que atraviesan. El transporte de gas también se hace mediante tuberías que reciben el nombre de gasoductos.
- c) Transformación y explotación. La mayor parte del carbón, del petróleo y del gas natural se destina a la combustión en centrales térmicas, en las viviendas o en los motores de nuestros vehículos. En todos los casos se desprenden gases contaminantes que provocan polución local (smog), contaminación regional como la lluvia ácida y problemas globales como el efecto invernadero. Somos conscientes de los gases contaminantes de nuestros vehículos pero, con frecuencia, no nos damos cuenta que la electricidad que consumimos, aparentemente una energía limpia, también procede en su mayor parte de procesos que originan mucha contaminación atmosférica. Hay que aclarar que el grado de contaminación es muy diferente de unos combustibles a otros: el gas natural es el más limpio de los tres y el carbón es la energía fósil más contaminante, sobre todo porque su combustión desprende óxidos de azufre, muy corrosivos, responsables del smog sulfuroso y de la lluvia ácida.

Nuestra civilización depende de los combustibles fósiles, es decir de unas fuentes de energía contaminantes y no renovables. Es preciso sustituirlas por energías limpias y renovables. Hay que invertir en la investigación y desarrollo de este tipo de energías hasta incorporarlas en todos los sistemas de producción y abaratar los costes de producción. Esa es la manera de hacer compatibles el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.

Desgraciadamente el proceso de sustitución es muy lento. Se consume más energía alternativa pero también se incrementa el uso de energía fósil porque el consumo energético en general no para de crecer. Así pues, la solución al problema energético no llegará sólo con la sustitución de unas fuentes de energía por otras; también se debe ahorrar energía. Para conseguir el ahorro energético podemos considerar tres tipos de actuaciones:

- a) Medidas técnicas. Corresponde a los técnicos, con el apoyo económico de las administraciones públicas, el desarrollar una tecnología más respetuosa con el medio ambiente:
  - Obtener un mayor rendimiento en las centrales térmicas.
  - Reducir las pérdidas en las conducciones de electricidad.
  - Conseguir una mayor eficiencia en los electrodomésticos, los automóviles y la industria.
  - Diseñar casas que aprovechen la energía solar y consuman el mínimo de energía para calefacción y refrigeración (arquitectura bioclimática).

b) Medidas políticas. Los gobiernos deben apostar decididamente por las fuentes de energía alternativas y por el ahorro energético con las siguientes medidas:

- Incentivar la investigación y uso de las energías renovables hasta conseguir que sean competitivas.
- Penalizar el consumo excesivo de energía y premiar el ahorro energético.
- Mayores exigencias a los fabricantes para que faciliten productos más eficientes.
- Campañas de divulgación sobre los problemas medioambientales asociados al consumo excesivo de energía.

c) Medidas personales. Es responsabilidad de los ciudadanos reducir el consumo de energía en la vida cotidiana; hay una serie de medidas y normas de conducta razonables y sencillas que nos permiten disminuir el consumo sin renunciar a nuestro nivel de confort. Algunas de las principales son las siguientes:

- Valorar el coste real de lo que usamos tanto de la electricidad (cuya producción puede provocar contaminación en otros sitios) como de los productos manufacturados que usamos y que también tienen un coste energético (frente al usar y tirar desarrollar la cultura de las tres erres).
- Reducir el gasto en transporte ya que supone el 40% de toda la energía que consumimos: no utilizando el coche en los trayectos cortos, usando más el transporte público, compartiendo el vehículo privado, manteniendo el motor y las ruedas “a punto”, evitando las altas velocidades, etc.
- Reducir los gastos en calefacción-refrigeración y en agua caliente, que son los más importantes del hogar): evitar la ventilación excesiva, aislar bien las paredes, techos, ventanas o tuberías en las viviendas. Se debe regular el termostato a menos de 20°C para no sobrecalentar la casa. Apagar las luces y otros electrodomésticos cuando no se están usando y utilizar bombillas de bajo consumo que funcionan hasta con cuatro veces menos electricidad.
- Cocinar con olla a presión.

**PREGUNTAS DE LA P.A.U. SOBRE RECURSOS DE LA GEOSFERA.****TEMA**

1. Recursos energéticos: petróleo, carbón y gas natural. Impactos derivados de la extracción y el transporte del combustible fósil. (2012-6)
2. Recursos energéticos: petróleo, carbón y gas natural. Energía geotérmica. (2013-4)
3. Energía nuclear: origen, tipos y explotación. Contaminación térmica y radiactiva. (2014-4)

**PREGUNTAS**

1. ¿Qué es la energía geotérmica?
2. Diferencias entre fisión y fusión nuclear.
3. Ventajas e inconvenientes de la explotación minera a cielo abierto. X
4. ¿Qué es la energía geotérmica?
5. Explique qué es una trampa petrolífera.
6. Diferencie entre recurso y reserva mineral.
7. ¿Cuáles son los contaminantes de una central térmica diseñada para trabajar a partir de carbón?
8. Defina gradiente geotérmico.
9. Ventajas e inconvenientes de la explotación minera subterránea.
10. Describa algunos impactos derivados de la explotación de los recursos minerales.
11. ¿Qué condiciones debe reunir una roca almacén capaz de almacenar petróleo?
12. Conceptos de mena y ganga.

## **III. ATMÓSFERA.**

### **1. ATMÓSFERA: COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA.**

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Se originó en los primeros momentos de la Tierra, cuando esta sufría el llamado bombardeo meteorítico hace unos 4.500 m.a. En los impactos meteoríticos se alcanzaban altas temperaturas que favorecían el desprendimiento de gases; después las emanaciones volcánicas también aportaron más componentes a la atmósfera.

El componente mayoritario de la atmósfera es un gas inerte, el nitrógeno, con un 78% del total. El segundo en importancia es el oxígeno (21%), un gas muy activo que reacciona fácilmente con otros elementos y los oxida. Con la larga historia de la Tierra, ha habido tiempo suficiente para que se perdiera todo el oxígeno en reacciones de oxidación; sin embargo sus niveles se mantienen constantes ya que es continuamente producido por los vegetales en la fotosíntesis. El siguiente gas es el argón (0,93%), un gas noble, inerte, procedente de la desintegración del potasio y liberado a la atmósfera a través de los volcanes.

La cantidad de vapor de agua es pequeña y depende de la temperatura del aire ya que el aire caliente admite mayor proporción de vapor de agua. En los orígenes de la Tierra el vapor de agua tuvo que ser muy abundante, pero el cese del bombardeo meteorítico y la consiguiente bajada de temperaturas provocaron la condensación del vapor de agua, la formación de nubes y las primeras lluvias sobre la superficie sólida del planeta. Las continuas lluvias dieron lugar a los mares quedando la atmósfera muy empobrecida en agua con respecto a sus orígenes.

Los restantes componentes del aire están presentes en cantidades muy reducidas, por lo que se miden en partes por millón (ppm). Por su importancia destaca, entre estos últimos, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que representa en la actualidad unas 340 ppm del aire seco.

La composición del aire es bastante homogénea por debajo de 90-100 km por lo que esta zona se denomina homosfera; por encima se encuentra la heterosfera en la cual se producen reacciones químicas que alteran la composición del aire. Sin embargo, homosfera y heterosfera son términos poco utilizados. Lo habitual es dividir la atmósfera en capas concéntricas haciendo coincidir los límites entre capas con cambios de temperatura. De abajo arriba se distinguen cuatro capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera (algunos autores añaden una quinta capa o exosfera).

#### **a) Troposfera.**

La troposfera es la primera capa, abarca desde la superficie terrestre hasta unos 12 km (límite conocido como tropopausa). En ella se produce una disminución paulatina de la temperatura, desde unos 15°C en la superficie hasta -70°C en la tropopausa; la disminución tiene un valor medio de 0,65°C cada 100 metros y se denomina gradiente vertical de temperatura.

En esta capa se concentran el 80% de los gases atmosféricos. La mayor concentración de estos gases junto a la superficie hace que la presión atmosférica descienda bruscamente en esta capa, desde unos 1013 milibares (mb) en su parte baja hasta unos 200 mb en su parte superior.

La troposfera es responsable del efecto invernadero originado por la presencia de ciertos gases que absorben la radiación infrarroja procedente del sol y de la propia Tierra. Esta capa se caracteriza también por la gran movilidad del aire lo que origina los fenómenos meteorológicos que conocemos: formación de vientos, nubes, precipitaciones...

#### b) Estratosfera.

La estratosfera abarca desde la tropopausa hasta la estratopausa, a unos 50 km de altitud. A diferencia de la capa anterior, la temperatura de la estratosfera aumenta con la altitud hasta alcanzar unos 10°C; este aumento de temperatura se debe a la absorción de radiaciones ultravioleta por las moléculas de ozono.

El ozono es una molécula triatómica de oxígeno (O<sub>3</sub>) que es especialmente abundante entre 15 y 30 km de altitud, en una región llamada ozonósfera o capa de ozono. La importancia del ozono radica en su capacidad para absorber los rayos ultravioleta e impedir que lleguen a la superficie terrestre ya que son perjudiciales para la mayoría de las formas de vida.

#### c) Mesosfera.

La mesosfera se caracteriza por una fuerte disminución de la temperatura, que alcanza los -80°C. Acaba a una altitud de 80 km (mesopausa).

#### d) Termosfera o ionosfera.

Consideraremos la termosfera como la última capa de la atmósfera aunque algunos autores añaden una quinta capa o exosfera. La palabra termosfera hace alusión a que en ella la temperatura vuelve a aumentar con la altitud alcanzando 1000°C a 800 km de altura. Este calor se debe a la absorción de radiaciones de onda corta (rayos X y rayos gamma) por parte de las moléculas de nitrógeno y oxígeno.

También se denomina ionosfera porque las moléculas están ionizadas: las radiaciones de onda corta arrancan electrones y las moléculas se transforman en iones de carga positiva. El rozamiento de estas moléculas ionizadas con los electrones procedentes del sol origina espectaculares manifestaciones de luz y color, sobre todo en zonas polares (auroras boreales). Otra particularidad de la ionosfera es que en ella rebotan algunas ondas de radio haciendo posibles las comunicaciones.

## **2.FUNCIÓN PROTECTORA Y REGULADORA DE LA ATMÓSFERA.**

Las radiaciones que la Tierra recibe del sol se dividen en tres grupos atendiendo a su longitud de onda:

- Las radiaciones de onda corta, con una longitud de onda menor de 0.1 micras, incluyen rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma... En general, son radiaciones muy perjudiciales para la salud. Afortunadamente la atmósfera se comporta como filtro frente a la mayoría de estas radiaciones.
- Las radiaciones de onda media, con una longitud de onda comprendida entre 0.1 y 1 micra, se corresponden fundamentalmente con la luz visible.
- Las radiaciones de onda larga, con una longitud de onda superior a 1 micra, incluyen la radiación infrarroja (responsable del calentamiento de la atmósfera), las ondas de radio, las microondas...

Los rayos ultravioleta provocan afecciones oculares y de la piel pero la mayor parte de esta radiación no llega a la superficie terrestre porque es retenida en las capas altas de la atmósfera. La función de filtro de los rayos ultravioleta la realiza la estratosfera (10-50 km de altitud) y, dentro de ella, la llamada ozonfera o capa de ozono (15-30 km). En esta capa la energía de los ultravioleta es utilizada en una reacción química que disocia la molécula de oxígeno ( $O_2$ ) en átomos de oxígeno que se pueden unir a moléculas de  $O_2$  para dar lugar a la molécula de ozono ( $O_3$ ) y algo de calor. De esta forma se absorbe una radiación dañina, se genera ozono estratosférico y se libera calor que hace que la estratosfera sea una capa relativamente caliente. Algunos gases contaminantes, especialmente los CFC, interfieren en las reacciones de formación de ozono y han hecho que se adelgace mucho la capa de ozono en algunas regiones, sobre todo en las zonas polares donde existen “agujeros” en la capa de ozono.

Otras radiaciones de onda corta muy perjudiciales son los rayos gamma y los rayos X. Al ser radiaciones ionizantes pueden alterar los procesos biológicos, provocar tumores, malformaciones genéticas, cáncer, etc. La termosfera o ionosfera (80-600 km) es la encargada de filtrar estas radiaciones e impedir que lleguen a la superficie terrestre. Más concretamente, son las moléculas de  $N_2$  y  $O_2$  las que reciben esta radiación que les arranca electrones por lo que queda ionizadas positivamente; en estas reacciones también se desprende calor. El hecho de que esta capa tenga carga eléctrica le ha dado el nombre de ionosfera; el desprendimiento de calor justifica el nombre de termosfera.

La atmósfera es bastante permeable a la luz visible por lo que la mayor parte puede llegar al suelo. No obstante, una parte es reflejada por las nubes que se comportan como un espejo, devolviendo la radiación visible al espacio exterior. Este fenómeno de reflexión se denomina albedo y no sucede únicamente con las nubes, también el suelo puede reflejar parte de la luz, sobre todo las superficies nevadas y las zonas continentales desprovistas de vegetación; los mares y los bosques tienen un menor efecto albedo por que resultan más oscuros vistos desde el espacio.

El balance de la radiación de onda larga o infrarroja resulta más complejo pero es muy importante para comprender la regulación de la temperatura atmosférica. En primer lugar su origen es doble: parte viene del Sol pero una parte muy importante procede de la propia Tierra (de su flujo geotérmico y de radiación solar de onda media que la Tierra absorbe y reemite como radiación de onda larga). La radiación terrestre se puede perder al espacio exterior pero también puede acabar retenida por algunos gases de las capas bajas de la atmósfera. Es decir, hay una parte de la radiación infrarroja que queda atrapada entre la superficie terrestre que la emite hacia arriba (radiación terrestre) y las capas bajas de la atmósfera que la devuelven hacia abajo (contrarradiación).

El resultado de la contrarradiación es que el calor queda retenido en las capas bajas provocando un calentamiento conocido como efecto invernadero. Los principales gases de invernadero son el vapor de agua y el  $CO_2$  y su influencia es muy positiva porque mantienen la temperatura de la atmósfera dentro de unos valores óptimos para la vida. Planetas desprovistos de atmósfera, como Mercurio, o con atmósferas muy tenues, como Marte, sufren grandes oscilaciones térmicas entre el día y la noche. En cambio, Venus tiene una atmósfera muy densa y el efecto invernadero es muy acusado: los cientos de grados de temperatura de la superficie venusiana hacen imposible la vida tal como la conocemos. Nuestro planeta, la Tierra, posee una atmósfera con características intermedias y un efecto invernadero moderado. Así pues, el efecto invernadero es positivo; lo que es alarmante es su aumento descontrolado por el uso de los combustibles fósiles y la liberación de grandes cantidades de  $CO_2$  a la atmósfera. Parece demostrado que la contaminación atmosférica está provocando un calentamiento y eso puede conducir a un cambio climático de consecuencias impredecibles.

### **3.RECURSOS ENERGÉTICOS RELACIONADOS CON LA ATMÓSFERA.**

#### **3.1. La energía solar.**

La energía solar es la generada en el Sol por las continuas reacciones nucleares de fusión en las que el hidrógeno se transforma en helio, liberándose gran cantidad de energía en forma de radiaciones que llegan a la superficie terrestre.

La gran ventaja de la energía solar es que no se agota, a diferencia de las energías no renovables como el carbón y el petróleo. Además no es contaminante por lo que está destinada a ser una de las energías del futuro sobre todo en países con muchas horas de insolación, como España. En el caso de nuestro país, desarrollar esta energía supone también reducir la dependencia energética exterior.

Naturalmente, la energía solar también tiene sus inconvenientes. Por un parte, la disponibilidad de sol depende mucho de la región y de la época del año. Por otra parte, las grandes centrales solares tienen un gran impacto paisajístico, dado la gran superficie que ocupan, aunque el impacto es mínimo si las instalaciones son de pequeño tamaño, como las domésticas. A esto hay que añadir el elevado coste de fabricación de los paneles solares.

Consideraremos tres formas de aprovechar esta energía: energía solar térmica, energía solar fotovoltaica y arquitectura solar pasiva.

##### **a) Energía solar térmica.**

Consiste en la captación del calor de las radiaciones solares para calentar un fluido, que posteriormente, según la temperatura alcanzada, es utilizado en distintos usos. Una posibilidad es calentar agua para uso doméstico (baño, calefacción...); la temperatura alcanzada en estas instalaciones no supera los 100°C. Si se concentran los rayos solares por medio de unos espejos especiales llamados colectores, se pueden conseguir temperaturas muy superiores y se genera el vapor necesario para mover una turbina que, asociada a un alternador, produce electricidad. Este es el sistema utilizado en la Plataforma Solar de Almería, uno de los complejos más importantes del mundo.

##### **b) Energía solar fotovoltaica.**

Consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Para ello se han diseñado las denominadas células solares o células fotovoltaicas, formadas por láminas muy delgadas de materiales semiconductores (por ejemplo, silicio), donde la energía de la luz solar (fotones) excita los electrones del material semiconductor y su flujo genera electricidad.

Algunos aparatos como calculadoras y relojes funcionan con pequeñas celdas fotovoltaicas . De mayores dimensiones son las placas fotovoltaicas instaladas en algunas viviendas rurales alejadas de las líneas eléctricas convencionales. Aún mayores son los paneles solares de los satélites artificiales y de las estaciones espaciales. También se pueden reunir muchas placas en una central fotovoltaica.

##### **c) Arquitectura solar pasiva.**

Tradicionalmente se ha aprovechado la energía solar construyendo casas adaptadas al clima local con el consiguiente ahorro de calefacción, refrigeración e iluminación. Se trata de construir eligiendo la orientación adecuada, teniendo en cuenta el espesor de los muros, el tamaño de las

ventanas, los materiales de construcción, el tipo de acristalamiento, etc., a fin de conseguir una temperatura óptima en las viviendas sin tener que recurrir a un aporte energético extra mediante calefacción o aire acondicionado. Todas estas medidas forman parte de la arquitectura bioclimática.

### **3.2.La energía eólica.**

La energía eólica o energía producida por el viento ha sido utilizada por la humanidad desde muy antiguo. Piénsese, por ejemplo, en la navegación a vela y en los molinos de viento con los que se muele el grano desde hace siglos. Sin embargo, en las últimas décadas ha empezado a utilizarse la energía del viento de una forma diferente, transformándola en energía eléctrica. Esa transformación se realiza en un aparato llamado aerogenerador del cual hay versiones domésticas y versiones de grandes dimensiones con aspas de varios metros apoyadas sobre un largo mástil. Es frecuente que decenas de aerogeneradores se reúnan en una zona conformando un parque eólico.

El uso de la energía eólica sigue siendo anecdótico, aproximadamente el 2% de toda la energía que utilizamos, de ahí que sea considerada una energía no convencional o alternativa. Además, a diferencia de los combustibles fósiles, el viento es una fuente de energía renovable y no contaminante. Estas razones justifican la necesidad de usar cada vez más esta fuente de energía que empieza a ser competitiva y que tiene un bajo coste de mantenimiento.

Sin embargo, la energía eólica tiene también sus inconvenientes. La calidad de la energía eólica es más baja que la de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) considerados energías de alta calidad. No obstante, parte de la producción eléctrica de las centrales térmicas que queman carbón y gas debería ser sustituida por la producida en los parques eólicos. La energía eólica no es alternativa a la gasolina, al gasoil y otros combustibles líquidos que mueven nuestros vehículos puesto que, hoy por hoy, los vehículos movidos por electricidad están muy poco desarrollados.

También hay que tener en cuenta que no en todas las regiones el viento sopla con suficiente fuerza como para hacer rentable la instalación de aerogeneradores. Incluso en las regiones más ventosas hay días de calma por lo que la producción energética no es constante y hay que prever acumuladores de energía.

Los parques eólicos que se están extendiendo por España tienen también sus detractores. Se les acusa de un gran impacto visual; habría que minimizar este impacto instalándolos lejos de parques naturales, y no en las líneas de cumbres principales. También se les acusa de provocar muerte de aves, aspecto que hay que tener muy en cuenta en la provincia de Cádiz ya que es paso obligado de muchas aves en sus migraciones a través del Estrecho de Gibraltar. Además, los aerogeneradores provocan un zumbido molesto (contaminación acústica) para las viviendas situadas cerca por lo que siempre deberían instalarse lejos de las poblaciones.

## **4.LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.**

### **4.1. Los contaminantes atmosféricos más frecuentes.**

Se consideran contaminantes atmosféricos a las sustancias y formas de energía que en concentraciones determinadas pueden causar molestias, daños o riesgos a personas o seres vivos, o bien pueden ser origen de alteraciones en el funcionamiento de ecosistemas, en los bienes materiales y en el clima. Consideraremos en primer lugar, las sustancias químicas; después nos referiremos a las formas de energía o radiaciones.

### a) Sustancias químicas.

Las sustancias químicas se pueden separar en contaminantes primarios, los emitidos por alguna actividad humana concreta, y los contaminantes secundarios, resultantes de reacciones químicas espontáneas que tienen lugar en la atmósfera con la participación de algún contaminante primario. Estos son los contaminantes primarios más importantes:

1. **Partículas.** Son sustancias sólidas o líquidas con un tamaño que oscila entre 0.1 y 100 micras (el polvo atmosférico, por ejemplo, está formado por partículas). Aparecen de forma natural en los incendios y en las erupciones volcánicas. Algunas actividades humanas también liberan muchas partículas, especialmente la minería, las cementeras y las combustiones industriales y domésticas. Entre los efectos de estos contaminantes destacan los problemas respiratorios, la suciedad que cubre edificios, monumentos y plantas que ven limitada su capacidad fotosintética. Además las partículas contribuyen al smog clásico, que estudiaremos más adelante.

Hay unas partículas que merecen una mención especial por ser muy tóxicas y porque no se degradan, recorriendo la cadena alimentaria hasta acumularse en los eslabones superiores. Son los metales pesados entre los que destacamos plomo, cadmio y mercurio. El plomo procede de la combustión de las gasolinas y es uno de los principales contaminantes de nuestras ciudades; puede originar insuficiencia respiratoria, alteraciones neurológicas y renales. El cadmio tiene su origen en actividades mineras del carbón y del cinc y ocasiona problemas respiratorios y cardiovasculares. El mercurio también tiene su origen en actividades mineras y provoca daños en el sistema nervioso central y en los riñones.

2. **Compuestos de azufre ( $\text{SO}_x$ ).** El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas incoloro, pesado, de olor picante y muy corrosivo. Procede de la quema de combustibles fósiles y su concentración puede ser muy elevada en ciudades de intenso tráfico rodado y donde sean frecuentes los sistemas de calefacción central. Su carácter corrosivo hace que irrite a las mucosas y a los ojos, las plantas pueden perder las hojas, ataca también a las rocas y a los monumentos provocando en ellos el llamado “mal de la piedra”; incluso puede corroer los metales. El  $\text{SO}_2$  provoca las nieblas contaminantes de las ciudades (smog clásico) y, después de sufrir una reacción química, es el principal responsable de la lluvia ácida.

Otro compuesto de azufre, aunque más escaso, es el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Es un gas incoloro pero característico por su mal olor a huevos podridos. Su presencia hace el ambiente muy desagradable. En la naturaleza aparece de forma natural en la descomposición anaerobia de materia orgánica. Su origen antropogénico está ligado a refinerías de petróleo y fábricas de gas.

3. **Compuestos orgánicos.** Los hidrocarburos formados por cadenas de pocos átomos de carbono (metano, etano, propano, butano) son gaseosos y se cuentan entre los contaminantes frecuentes en ciudades y zonas industriales donde se usan muchos combustibles derivados del petróleo, que es una mezcla de hidrocarburos. El metano también se encuentra de forma natural como resultado de la descomposición anaerobia de materia orgánica en zonas pantanosas y de la fermentación bacteriana que tiene lugar en el intestino de los rumiantes. Los hidrocarburos producen irritación de los ojos y de las vías respiratorias y, además contribuyen al efecto invernadero. Algunos compuestos orgánicos volátiles (COV) incluyen cloro en su composición lo que los hace especialmente peligrosos; afectan al sistema reproductor y poseen efectos cancerígenos y mutagénicos. Estos COV se forman durante el tratamiento de productos químicos clorados y en la incineración de residuos que contienen sustancias cloradas (los envases de PVC, por ejemplo).

4. Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). En este grupo estudiaremos tres gases: el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), el más abundante de los tres, que es un gas tóxico, incoloro e inodoro; el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), gas tóxico, asfixiante, de color pardo rojizo y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gas incoloro, de olor y sabor dulce. Producen afecciones de las vías respiratorias e irritaciones oculares... Se forman por oxidación del  $\text{N}_2$  atmosférico en procesos de combustión a temperaturas elevadas (motores, centrales térmicas, calefacciones) y, de forma natural, por desnitrificación del suelo. Además, los fertilizantes nitrogenados se transforman en el suelo y pasan a la atmósfera como  $\text{N}_2\text{O}$ .
5. Óxidos de carbono. El monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) es un gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable y muy tóxico, tanto que su inhalación puede provocar la muerte porque este gas impide el transporte sanguíneo del oxígeno. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es incoloro, inodoro pero nada tóxico; de hecho es un componente habitual y fundamental de la atmósfera (0,03 % de su composición). Ambos existen en la naturaleza de forma natural (la respiración libera  $\text{CO}_2$ ) pero sus proporciones se ven muy elevadas por la quema de combustibles fósiles, siendo preocupantes en las zonas urbanas por las emisiones de los automóviles donde provocan el llamado smog. Además, el  $\text{CO}_2$  es el principal gas de invernadero.
6. Compuestos halogenados. Son sustancias que contienen cloro o flúor en su molécula como el cloro ( $\text{Cl}_2$ ), el cloruro de hidrógeno ( $\text{HCl}$ ), el fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ ) y los clorofluorocarbonos (CFC).

$\text{Cl}_2$  y  $\text{HCl}$  son gases muy tóxicos que provocan irritación de las mucosas de las vías respiratorias. Pueden tener un origen marino o proceder de los vehículos de motor o de la incineración de plásticos.

El  $\text{HF}$  se degrada muy lentamente y tiende a acumularse en los organismos de los niveles tróficos elevados, especialmente en los huesos. Es un gas corrosivo que puede dañar las hojas de los vegetales. Se origina de manera espontánea en el mar y, de manera artificial, en las industrias de fertilizantes, de aluminio, de vidrio, de cerámica...

Los CFC son gases estables, no tóxicos ni inflamables, utilizados en aerosoles, refrigerantes y frigoríficos. Cuando alcanzan las capas altas de la atmósfera intervienen en una reacción química que destruye las moléculas de ozono estratosférico que nos protege de las radiaciones ultravioletas; los CFC son, por tanto, unos de los principales causantes del agujero en la capa de ozono.

Los contaminantes secundarios, los que proceden de contaminantes primarios, incluyen algunas sustancias muy importantes. El ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) son causantes de la lluvia ácida pero, generalmente, no son liberados directamente por la industria; lo que la actividad humana lanza a la atmósfera es  $\text{SO}_3$  y  $\text{NO}_3$ , estos compuestos reaccionan con el agua de la atmósfera originando los ácidos mencionados.

El ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) y los PAN (nitratos de peroxiacilo) son también contaminantes secundarios importantes porque a ellos se debe el smog fotoquímico presente en muchas ciudades y que origina irritación ocular, daños en la vegetación y materiales como cuero y fibras sintéticas. Se forman a partir de  $\text{NO}_2$ , hidrocarburos y  $\text{O}_2$  en condiciones de intensa insolación.

### b) Formas de energía o radiaciones.

Las formas de energía o radiaciones introducidas por el hombre en la atmósfera pueden tener un efecto muy perjudicial para nuestra salud. Las radiaciones se pueden clasificar en ionizantes y no ionizantes.

Las radiaciones ionizantes, como su nombre indica, pueden ionizar átomos o moléculas por lo que alteran la materia sobre la que inciden. Este efecto lo tienen las radiaciones alfa (formadas por núcleos de helio), las radiaciones beta (haces de electrones) y radiaciones electromagnéticas, como los rayos X y las radiaciones gamma, que tienen un alto poder de penetración. Estas radiaciones se pueden encontrar en condiciones naturales procedentes del espacio exterior o de la desintegración radiactiva espontánea, pero la humanidad aumenta su proporción con los escapes radiactivos de las centrales nucleares, con ciertas técnicas de diagnóstico y de tratamiento médico, con la instalación de pararrayos radiactivos, etc. Son radiaciones muy perjudiciales para la salud ya que modifican la materia viva, alteran algunas funciones biológicas provocando incluso el desarrollo de tumores. Si los cambios afectan al ADN de las células sexuales pueden surgir malformaciones congénitas.

Las radiaciones no ionizantes son menos peligrosas ya que no modifican la estructura de la materia. A este grupo pertenecen, además de la radiación visible, los infrarrojos, las radiaciones ultravioleta, las ondas de radio, las ondas de telefonía móvil... Es decir, radiaciones que son frecuentes en nuestra vida cotidiana porque se desprenden de muchos aparatos que hay en nuestros hogares. La exposición a ellas puede ser perjudicial, según la intensidad de la radiación y el tiempo de emisión, y se ha demostrado que es causa de alteraciones del sistema nervioso (estrés, ansiedad, cefaleas, insomnio...) y de trastornos hormonales e inmunológicos.

Las ondas sonoras también son una forma de radiación no ionizante. Se genera mucho ruido en las industrias (por la presencia de máquinas), en el transporte (coches, trenes, metro, aviones), en la construcción e, incluso, dentro de los edificios (aparatos eléctricos, cisternas, música, gritos...). Los efectos del ruido sobre la salud son bien conocidos destacando trastornos en el oído aunque también hay alteraciones respiratorias, circulatorias, digestivas y hormonales. Además el ruido provoca problemas psíquicos importantes como la irritabilidad, el estrés y hasta neurosis. Para algunas personas el ruido es un grave problema que no les deja dormir, trabajar, estudiar o mantener una conversación relajada.

**Factores que intensifican la contaminación local. Dispersión de contaminantes.**

El impacto de las sustancias contaminantes depende también de su mayor o menor dispersión. Lo deseable es que los contaminantes se dispersen lateralmente y hacia arriba de manera que la concentración disminuya en la zona del foco emisor. Los factores que influyen en la dinámica de la dispersión son las características de la emisión, las condiciones atmosféricas, la geografía y el relieve.

Cuando hablamos de características de la emisión nos referimos a la naturaleza del contaminante (los gases, por ejemplo, se dispersan mejor que las partículas que se depositan cerca del foco emisor), la altura del foco emisor, la velocidad de la emisión, la temperatura (elevadas temperaturas favorecen la dispersión),

Las condiciones meteorológicas son muy importantes. La lluvia y los vientos contribuyen a limpiar la atmósfera. La insolación suele tener un efecto perjudicial ya que favorece la aparición de algunos contaminantes de origen secundario (smog fotoquímico). La situación barométrica es decisiva: la estabilidad propia de un anticiclón impide la dispersión de los contaminantes, mientras que las borrascas la favorecen. También es muy importante la temperatura de la atmósfera y sus variaciones con la altura; lo normal es que la temperatura disminuya hacia arriba pero a veces se producen inversiones térmicas, es decir, el aire que está en contacto con el suelo está más frío que las masas de aire superiores. Las inversiones se forman frecuentemente durante la noche, como consecuencia del enfriamiento del suelo y en los valles estrechos cuyas laderas están más soleadas y calientes que el fondo del valle. Algunas ciudades tropicales tienen graves problemas de contaminación porque padecen una inversión térmica provocada por masas de aire caliente procedentes del Ecuador.

La situación geográfica y el relieve tienen una influencia en los vientos que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación. Así, por ejemplo, es preferible colocar una fuente de contaminación en un valle ancho antes que en un valle estrecho ya que las laderas de las montañas son un obstáculo para el movimiento de las masas de aire e impiden la dispersión de contaminantes.

Las zonas costeras, gracias a las brisas marinas, ven facilitada la dispersión de contaminantes; no obstante, si el foco contaminante está entre el mar y una cordillera puede haber problemas de contaminación durante el día, cuando la brisa se desplaza del mar hacia tierra.

Otro factor geográfico a destacar es la presencia de masas vegetales. Los bosques disminuyen la cantidad de contaminación en el aire al frenar la velocidad del viento, facilitando la deposición de partículas que quedan retenidas en las hojas, de forma mayoritaria. Además, la vegetación absorbe CO<sub>2</sub> para realizar la fotosíntesis.

La presencia de núcleos urbanos dificulta la dispersión de contaminantes. En ellas se da el efecto denominado isla de calor, que hace que la temperatura en el interior de la ciudad sea más alta que en su periferia, por el calor que se produce en las combustiones en vehículos automóviles, calefacciones y el desprendido por edificios y pavimento. Ello favorece que el aire caliente contaminado ascienda por el centro de la ciudad y vuelva a bajar por la periferia, originando un movimiento cíclico del aire urbano pero sin que haya intercambio con zonas más alejadas y de aire limpio. Por eso no se disipa ni el calor ni los contaminantes. El resultado es la formación de una cúpula de contaminantes.

**4.2. Efectos de los contaminantes atmosféricos: impactos.**

Estudiaremos dos impactos de carácter global o mundial: el efecto invernadero y el agujero en la capa de ozono. A continuación consideraremos la lluvia ácida, cuyo radio de influencia es regional, y finalmente consideraremos el smog que es un problema local que afecta a ciudades muy contaminadas.

### a) Efecto invernadero. Cambio climático.

Se entiende por efecto invernadero el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera. El fenómeno se debe a los llamados gases invernadero: metano, vapor de agua, óxido nitroso, ozono, CFCs y, sobre todo, CO<sub>2</sub>, que tienen la capacidad absorber la radiación infrarroja (calor) procedente de la superficie terrestre, enviándola de nuevo en su mayor parte a dicha superficie.

Este efecto es el responsable de las agradables temperaturas (15 °C de media) que se registran en la mayor parte de la superficie terrestre. De no existir este fenómeno la temperatura media del planeta sería de -18 °C, lo que haría imposible la vida que conocemos. No obstante, el aumento del efecto invernadero supone un problema ambiental hoy día como consecuencia del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, debidas principalmente a la utilización masiva de los combustibles fósiles. Incremento que no es contrarrestado por la captación de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis de las plantas (a causa de la deforestación), ni por su transformación y almacenamiento como carbonatos en el medio marino.

Este incremento del CO<sub>2</sub> puede conducir a un aumento de la temperatura global del planeta entre 2 °C y 3,5 °C sobre todo si los países desarrollados no reducimos nuestros niveles de emisión y los países en vías de desarrollo siguen nuestro modelo.

Sin embargo, las diferencias de temperatura no serían iguales en toda la Tierra. El calentamiento sería mayor en las latitudes altas, y las áreas continentales se calentarían más rápidamente que el mar. Habría un aumento global de las precipitaciones en todo el planeta, aunque con una distribución más variada que la temperatura.

La expansión térmica provocaría el deshielo de las zonas heladas con lo que subiría el nivel del mar. Este hecho produciría inundaciones en las regiones costeras siendo las más vulnerables el Sur de Europa, África, y el Sur y Sureste de Asia. Esta subida de nivel anegaría manglares costeros y otros hábitats de humedales, y supondría modificaciones en los procesos de erosión y sedimentación costeros. También habría cambios en las corrientes oceánicas, en la salinidad y en la temperatura de las aguas, lo que constituiría una seria amenaza para la biodiversidad marina.

Asimismo un cambio climático podría tener numerosas consecuencias en el desarrollo de las enfermedades infecciosas. Alteraciones mínimas de las temperaturas pueden conllevar efectos notables en los organismos transmisores de enfermedades (moscas, mosquitos y roedores). En el caso de la malaria,

La solución a este problema es reducir el consumo de los combustibles fósiles. En general, cuanto mayor es la emisión de gases de invernadero de un país mayor es su grado de desarrollo económico y social. Entonces, ¿hay que frenar el desarrollo para que se reduzcan los contaminantes? Muchos países no están dispuestos. El problema ya fue tratado en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992) pero fue abordado de una manera monográfica en 1997 en la ciudad japonesa de Kioto. En esta reunión se llegaron a acuerdos en los que se especifican los plazos y reducciones de la emisión de gases a partir de 2005 ó 2010 respecto a los niveles de 1990, pero los acuerdos no se están cumpliendo. España, por ejemplo, apoya el Protocolo de Kioto pero hasta Septiembre de 2004 no tomó las primeras medidas que afectan a unas mil empresas eléctricas, siderúrgicas, cementeras y refinerías que se ven obligadas a reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Estados Unidos, que es responsable de la cuarta parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, apoyó los acuerdos de Kioto durante el mandato de Clinton pero el presidente Bush se negó a ratificar dichos acuerdos porque son contrarios a los “intereses de América”.

## **Cambios climáticos en la historia de la Tierra.**

Es frecuente oír hablar de cambio climático para referirse a las consecuencias del calentamiento que está sufriendo la atmósfera por la emisión de los gases de invernadero. Sin embargo, frecuentemente se olvida que nuestro planeta ha sufrido numerosos cambios climáticos y que nosotros mismos, la especie *Homo sapiens*, hemos pasado la mayor parte de nuestra historia en una “edad del hielo”, como atestiguan los sedimentos y los fósiles de otras épocas. Así pues, para tener una mayor perspectiva de los que significa cambio climático, haremos un repaso de la historia térmica de la Tierra.

La Tierra primitiva estaba mucho más caliente que la que conocemos hoy día, debido a la elevada concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, un importante gas de invernadero. La aparición de la vida supuso un cambio radical: mediante la fotosíntesis las algas tomaban el CO<sub>2</sub> y fabricaban compuestos orgánicos ricos en carbono que se transmitía a lo largo de la cadena trófica. Además, muchos organismos, tanto autótrofos como heterótrofos, empezaron a utilizar el carbono para fabricar partes duras de carbonato cálcico: conchas, caparazones, esqueletos, espinas... El resultado de todo esto fue un empobrecimiento de la atmósfera en CO<sub>2</sub> y un descenso de las temperaturas.

Desde entonces las temperaturas se mantienen dentro de unos márgenes aceptables para la vida pero no son constantes y las oscilaciones térmicas han estado siempre presentes. La existencia de períodos fríos o glaciaciones y períodos cálidos o interglaciares obedece a diversas causas dependiendo de la escala de la oscilación.

Así hay glaciaciones cuya duración es de decenas de millones de años: la glaciación del Paleozoico Inferior (hace unos 450 m.a.), la glaciación del final del Paleozoico (300 m.a.) y la glaciación cenozoica (en los últimos 40 m.a.). Estas glaciaciones coinciden con tres períodos orogénicos: la orogenia caledoniana, la orogenia hercínica y la orogenia alpina, respectivamente. Durante las orogenias aumenta la actividad volcánica y la emisión de ceniza a la atmósfera que provoca un oscurecimiento y reduce la entrada de la radiación solar. Además, las orogenias suponen la creación de continentes mayores y la aparición de amplias zonas de clima continental frío, sin las temperaturas suaves propias de las zonas costeras. En las nuevas cordilleras puede haber amplias superficies cubiertas de nieve que tiene un gran efecto albedo, es decir zonas que, por su color claro, reflejan un alto porcentaje de la radiación solar incidente. Al final del Paleozoico superior se dieron todas estas circunstancias, se reunieron todos los continentes en un supercontinente o Pangea y el consiguiente deterioro climático pudo ser una de las causas que condujo a la extinción a cerca de la mitad de las especies que en ese momento habitaban en el planeta.

El efecto albedo está siendo especialmente importante durante la glaciación cenozoica en la que nos encontramos inmersos. La deriva continental ha hecho que un continente, la Antártida, se haya situado en el polo Sur y que otra gran masa de tierra, Groenlandia, esté muy cerca del polo norte. Estas tierras están permanentemente cubiertas de un manto blanco lo que provoca un gran efecto albedo y que estemos en uno de los períodos más fríos de la historia de la Tierra. En otras eras, en las zonas polares sólo había océanos que, vistos desde el espacio, son mucho más oscuros que los continentes y absorben más calor; como, además esos océanos polares estaban conectados con el resto de los océanos del planeta, había una circulación oceánica que repartía el calor y suavizaba la temperatura en todas las regiones. Esta podría ser una de las razones de que el Cretácico (final de la Era Secundaria) fuese un período tan cálido.

Dentro de la glaciación cenozoica, que dura muchos millones de años, se han producido, a su vez, oscilaciones de menor magnitud, con una periodicidad entre diez mil y cien mil años. Estas oscilaciones no se deben a orogenias o a movimientos continentales, ya que esos intervalos de tiempo son demasiado cortos. La explicación más admitida es de carácter astronómico: de la misma manera que la traslación y la rotación originan períodos fríos (invierno, noche) y períodos cálidos (verano, día), otros movimientos más sutiles de la Tierra provocan ciclos térmicos que se completan en miles de años. El científico serbio Milankovitch estudió estos fenómenos y diferenció tres tipos principales de movimientos:

- La excentricidad de la órbita terrestre. La órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es siempre igual: varía desde más elíptica a más circular, aproximadamente a lo largo de 100.000 años.
- La inclinación del eje. Aproximadamente a lo largo de 40.000 años varía el ángulo de inclinación

del eje de rotación terrestre, respecto al plano de traslación. Éste ángulo determina las diferencias de duración entre el día y la noche y la existencia de las estaciones.

- La posición en el perihelio. El perihelio es el punto de la órbita terrestre más cercano al Sol y varía a lo largo de 23.000 años. En la actualidad la Tierra está en el perihelio durante el invierno del hemisferio norte pero esto va cambiando.

El estudio de estos movimientos permitió a Milankovitch dibujar una gráfica con las oscilaciones térmicas de los últimos milenios. Recientemente se ha podido constatar que Milankovitch estaba en lo cierto porque una nueva técnica ha permitido conocer la temperatura real de esas épocas, estudiando las burbujas de gases enterradas en los hielos de la Antártida. Los ciclos astronómicos de Milankovitch también permiten realizar predicciones sobre la evolución futura del clima: sabemos que vivimos un período interglacial que ya ha durado tanto como la mayoría de los interglaciales; la llegada de la glaciación puede ser rápida y antes de 4.000 años, fecha en que se alcanzará el primer mínimo térmico de la próxima glaciación. Luego, la Tierra quedará inmersa en el frío intenso durante los siguientes 100.000 años.

Pero no todos los cambios climáticos son cíclicos, como las variaciones astronómicas, ni graduales como los debidos a la variación de la posición de los continentes. También se han producido cambios catastróficos, en muy poco tiempo. El más famoso tuvo lugar al final de la Era Secundaria o Mesozoica y provocó la extinción de numerosas especies, incluidos los dinosaurios. El estudio de los estratos depositados en diferentes lugares del mundo en esa época, hace 65 m.a., ha revelado que contienen una elevada cantidad de iridio, un elemento normalmente muy escaso y para el que se ha supuesto un origen extraterrestre. Es posible que un gigantesco meteorito impactara sobre la superficie de la Tierra provocando, entre otras cosas, que la atmósfera se volviera opaca a los rayos del sol debido al polvo, ceniza y humo generados en el impacto y en los incendios que le siguieron. Tal vez una fría noche de varios meses de duración impidió la vida vegetal fotosintética y la de los animales que de ella dependen. Sólo las formas de vida más resistentes escaparon de la extinción.

Todo lo anterior demuestra la complejidad de la máquina climática y los numerosos factores que sobre el clima inciden. Sin embargo, falta todavía por considerar el factor humano. Durante la mayor parte de la historia de la humanidad el hombre no ha influido sobre el clima pero su influencia actual no puede ser menospreciada. La quema continuada de combustibles fósiles libera  $\text{CO}_2$  y otros gases llamados gases invernadero porque retienen la radiación calorífica que desprende la geosfera y la devuelven a ella provocando un ascenso de la temperatura media que, a su vez, provocará una alteración en la circulación general atmosférica y cambios en los climas locales difícilmente predecibles.

#### b) Agujero en la capa de ozono.

El ozono es un gas de color azul pálido, irritante y picante, formado por tres átomos de oxígeno. En la estratosfera se forma por la acción de la luz ultravioleta sobre la molécula de oxígeno, mientras que en la troposfera se origina a partir de reacciones fotoquímicas. Mientras que en la troposfera es un contaminante muy activo y peligroso, en la estratosfera resulta ser imprescindible para la existencia de la vida en la Tierra.

La mayor parte del ozono existente en la atmósfera se forma y se encuentra en la estratosfera, a una altura de entre 12 y 40 km sobre la superficie terrestre. Este es el denominado ozono estratosférico que se crea cuando la radiación ultravioleta disocia las moléculas de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) a oxígeno atómico (O). El oxígeno atómico se combina rápidamente con las moléculas de oxígeno molecular para formar ozono ( $\text{O}_3$ ).

Entre los productos químicos que dañan la capa de ozono estratosférico destacan los clorofluorocarbonos (CFC), los agentes de extinción de incendios (halones o  $\text{CFBr}$ ), los hidroclorofluorocarbonos (HFC), el bromuro de metilo, el metilcloroformo (MCF) y el

tetracloruro de carbono. Estos productos se encuentran en los frigoríficos, los aerosoles, las espumas plásticas y los sistemas de prevención de incendios.

Los CFC y los halones son compuestos muy estables y pueden tener una vida media mayor de 100 años; cuando son liberados a la atmósfera no son degradados y alcanzan la estratosfera. Al ser irradiados por la luz ultravioleta, estos compuestos se descomponen rápidamente para liberar átomos de cloro (o bromo), los cuales comienzan una cadena de reacciones químicas que conducen a la destrucción del ozono estratosférico. Se estima que un átomo de cloro, antes de ser neutralizado, puede destruir 100.000 moléculas de ozono en la estratosfera.

En los últimos años se han realizado numerosas mediciones del ozono estratosférico constatándose una disminución persistente de los niveles medidos en el año 1979, sobre todo en la Antártida. La magnitud del agujero de la capa de ozono es prácticamente del tamaño del continente helado. Pero, ¿por qué se encuentra en la Antártida?

La razón es que en la Antártida la estratosfera se ve desprovista de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que tienen un efecto protector del ozono porque bloquean al cloro formando nitratos de cloro. En efecto, en las zonas polares, sobre todo en invierno, se instalan potentes anticiclones siendo aún mayor el de la Antártida porque es un continente. El anticiclón hace que descienda la tropopausa y que se formen nubes en la estratosfera; estas nubes consumen los óxidos de nitrógeno al utilizarlos como núcleos de condensación; los  $\text{NO}_x$  reaccionan con el agua formando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que cae con la nieve, con lo que la atmósfera queda desnitrificada.

La pérdida de ozono en la estratosfera hace que toda la población mundial se encuentre hoy más expuesta a la radiación ultravioleta. Esto lleva implícita la posibilidad de contraer enfermedades, especialmente las personas que trabajan al aire libre en la agricultura, la pesca, la construcción, etc. La altitud intensifica el riesgo al aumentar la intensidad de la radiación. Las principales afecciones y enfermedades que pueden producirse son el cáncer de piel, las cataratas en los ojos, y el debilitamiento del sistema inmunológico. Estudios recientes han demostrado que un 1% de reducción en la capa de ozono supone entre un 4 y un 6% de incremento en los casos de carcinomas de piel.

La disminución de la capa de ozono y el aumento de la radiación ultravioleta afectan a la vida del planeta, produciendo cambios en la producción y diversidad de los ecosistemas. En los ecosistemas marinos afecta especialmente a aquellos organismos que se encuentran en la base de la cadena alimenticia (las bacterias, el fitoplancton, los huevos y larvas de peces), ya que viven en las zonas más superficiales. La radiación ultravioleta es dañina para el ADN y para los procesos de crecimiento y reproducción de muchas especies. Más del 50% de la biomasa del mundo se encuentra en los ecosistemas acuáticos; por tanto, una disminución en la productividad podría tener graves consecuencias en el planeta.

Actualmente se está frenando la producción de freones y halones, que tendrá sus efectos a medio y largo plazo. Se calcula que el restablecimiento de los niveles normales de ozono llevará como mínimo un par de décadas, debido a la permanencia de los CFC y los halones en la estratosfera.

### c) Lluvia ácida.

El término “lluvia ácida” fue empleado por primera vez a mediados del siglo XVIII en Manchester, una de las primeras zonas industrializadas de Inglaterra. La acidez del agua de lluvia corroía los metales, desteñía la ropa puesta a tender, e incluso hacía enfermar a las personas y dañaba gravemente a los vegetales.

Se considera lluvia ácida cualquier precipitación que tenga un pH inferior a 5. En Europa, las lluvias con fuerte acidez, con un pH medio de 4,2, solo se dan en los países del centro de la región. El pH medio en los demás países de Europa oscila entre 4,2 y 5,6. En España, Portugal, Italia y Grecia, salvo en casos muy localizados, no hay problemas de lluvia ácida porque suele haber en el aire partículas de polvo, algunas veces procedentes del Sáhara, que contienen diversas sales de calcio.

La lluvia ácida se forma cuando las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) reaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y los oxidantes, y forman ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Otras emisiones que producen acidez son el ácido clorhídrico, el amoníaco y los compuestos orgánicos volátiles.

Las fuentes naturales de óxidos de azufre son las erupciones volcánicas y la descomposición de la materia orgánica. Por su parte, las fuentes naturales de óxidos de nitrógeno son la acción bacteriana en el suelo y las reacciones químicas en la atmósfera superior. Sin embargo, las fuentes naturales solo se consideran un porcentaje pequeño de los contaminantes. Las actividades humanas son las responsables del 90% de las emisiones de azufre y del 95% de las emisiones de nitrógeno en los países desarrollados.

Una de las causas principales de la lluvia ácida es la quema de carbón a gran escala para producir electricidad. Debido a que algunos carbones tienen una concentración relativamente alta de azufre, al quemarlos liberan a la atmósfera dióxido de azufre. El refinado de aceites y algunos pozos de gas natural pueden generar también este contaminante.

Los óxidos nitrosos son emitidos a la atmósfera cuando se queman combustibles a altas temperaturas. Aproximadamente el 40% lo producen los automóviles (camiones, autobuses y trenes), el 25% procede de las plantas generadoras termoeléctricas, y el 35% restante tiene su origen en los procesos de combustión industrial.

La lluvia ácida no es una amenaza directa para la salud humana. Sí origina daños importantes sobre los monumentos a los que causa el “mal de la piedra” y sobre distintos materiales sobre los que tiene un efecto corrosivo. Pero el impacto más grave de lluvia ácida es sobre los ecosistemas:

- Sobre la vegetación. Son muchos los lugares de la Tierra en los que la lluvia ácida afecta a los árboles. En Checoslovaquia y Polonia, millones de árboles han desaparecido debido a las lluvias ácidas causadas por contaminaciones locales de enorme intensidad. Los bosques situados en zonas de montaña sufren, además, nieblas ácidas que envuelven a las hojas y atacan su cutícula. La pérdida de esta capa daña las hojas y produce manchas de color castaño. Esto hace que disminuya la fotosíntesis de la planta y, por tanto, quede afectado su desarrollo. Si el proceso continúa las hojas se vuelven amarillas y se inicia la defoliación que provoca la muerte de las plantas.
- Sobre el suelo. Se cree que la lluvia ácida disuelve los nutrientes y los minerales útiles del suelo, que son arrastrados por el agua de escorrentía. En los suelos agrícolas a veces hay que incorporar al suelo caliza (una sustancia básica) para neutralizar su acidez.
- Sobre ríos y lagos. Algunos lagos ácidos no tienen ningún pez. Generalmente, los individuos jóvenes son más sensibles que los adultos: así, con pH 5 la mayoría de los alevines de pez no pueden salir del cascarón.

La solución al problema de la lluvia ácida implica cambios en nuestro modelo energético. Es preciso reducir el uso de combustibles fósiles, especialmente el carbón por su elevado contenido en azufre.

#### d) Smog (nieblas contaminantes).

El smog (de inglés smoke, humo, y fog, niebla) es un fenómeno de contaminación atmosférica típico de las áreas urbanas y zonas industrializadas, que se caracteriza por la formación de nieblas de sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente.

Existen dos tipos de smog: el clásico o sulfuroso y el oxidante o fotoquímico, que no deben confundirse, ya que están constituidos por contaminantes diferentes y se generan de distinta forma, aunque en ambos casos se deben dar condiciones de estabilidad atmosférica que impidan la dispersión de los contaminantes.

El smog sulfuroso está formado por una nube gases debidos a las emisiones de humos y óxidos de azufre que se generan en la combustión del carbón y otros combustibles con un alto contenido en azufre. Se produce en ciudades frías y húmedas, principalmente en invierno y los contaminantes que lo forman son primarios. Las partículas contaminantes actúan como núcleos de condensación del vapor de agua, que junto con el  $\text{SO}_2$  forman las nieblas contaminantes. Este tipo de smog produce afecciones respiratorias e irritaciones oculares, y deteriora las hojas de las plantas decolorándolas y endureciéndolas. El caso más llamativo de smog ácido se dio en Londres en 1952 y causó la muerte de 4.000 personas.

El smog fotoquímico está formado por una nube gases contaminantes secundarios cuya aparición se ve favorecida por una reacción de fotooxidación, es decir que requiere la luz solar. Los reactivos de la reacción son los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos procedentes de los motores de combustión; el resultado de la fotooxidación es un grupo de contaminantes secundarios entre los que destacamos ozono, PAN (nitrato de peroxiacilo) y aldehídos, que forman una niebla no tan densa como la del smog sulfuroso pero muy perjudicial para la salud. Produce irritaciones oculares, afecciones respiratorias, dolores de cabeza, alergias, etc. También ataca diversos materiales, alterando gravemente las fachadas de los edificios (mal de la piedra), y es muy dañino para los vegetales: las hojas se decoloran y en su envés aparecen manchas plateadas, incluso cuando las concentraciones de los oxidantes son bajas.

La niebla fotoquímica se ve favorecida por situaciones anticiclónicas, con fuerte insolación y vientos débiles que no permiten la dispersión de los contaminantes, ni en sentido vertical ni horizontal y ocurre sobre todo en los meses de agosto y septiembre.

### **4.3. Medidas de prevención para reducir la contaminación atmosférica.**

Las medidas frente a la contaminación atmosférica se han de centrar en los procesos energéticos, los transportes y las actividades industriales. Diferenciaremos las medidas preventivas de las correctivas.

Las medidas preventivas están encaminadas a evitar la aparición del problema. Entre ellas destacamos:

- Planificar los usos del territorio con el fin de ubicar las industrias donde sus efectos sobre los seres humanos y el medio ambiente sean menores.
- Potenciar el transporte público en lugar del privado.

- Favorecer la investigación y el uso de tecnologías de baja o nula emisión de contaminantes aplicando medidas fiscales (reducción de impuestos) y medidas financieras (préstamos, ayudas).
- Establecer un control y vigilancia de los focos emisores.
- Evaluar el impacto ambiental de cualquier proyecto que pueda tener una incidencia medioambiental.
- Medidas legales que limiten los niveles de emisión como las normas adoptadas en el año 2005 en España en aplicación del Tratado de Kioto.
- Fomentar la información y la educación ambiental para que los ciudadanos hagan un uso más racional y eficiente de la energía.

Las medidas correctoras, se aplican cuando la prevención no alcanza los objetivos propuestos. Las industrias y otros focos emisores que no cumplan con las normas establecidas deberán instalar sistemas de filtro que retengan los contaminantes; a veces se imponen multas y tasas por vertidos a las empresas que sobrepasan los niveles admitidos. Otras actuaciones están encaminadas a favorecer la dispersión de los contaminantes como la instalación de chimeneas adecuadas. En algunos casos se han modificado los procesos industriales como la sustitución del plomo de las gasolinas por compuestos oxigenados, la reducción del contenido de azufre de los gasóleos.

Frente a la contaminación sonora las medidas son parecidas: ordenación del territorio, medidas legales, fiscales, financieras, educativas... Destacamos la importancia de una arquitectura que prevea la insonorización de edificios y la instalación de pantallas acústicas. La ingeniería también tiene mucho que aportar en el diseño de aparatos y vehículos más silenciosos.

## **PREGUNTAS DE LA P.A.U. SOBRE ATMÓSFERA.**

### **TEMA.**

1. La atmósfera. Composición y estructura
2. Efecto de los contaminantes atmosféricos: alteración de la capa de ozono, lluvia ácida y aumento del efecto invernadero
3. Contaminantes atmosféricos más frecuentes. Contaminantes primarios y secundarios. Medidas de prevención para reducir la contaminación atmosférica.
4. Función protectora y reguladora de la atmósfera. Efecto protector de la ionosfera y de la ozonosfera. El efecto invernadero.
5. La variación del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Efecto invernadero y medidas de corrección.

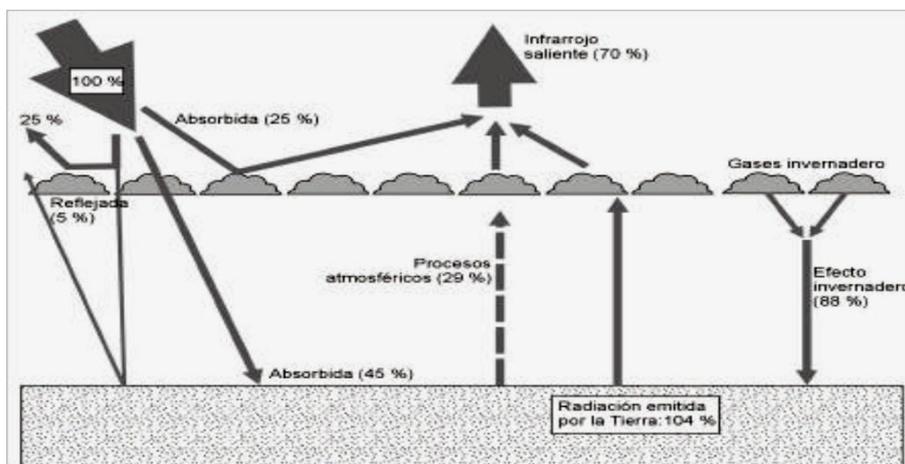
### **PREGUNTAS BREVES.**

1. ¿Cuáles serían las condiciones actuales de la atmósfera si no existieran los seres vivos?
2. ¿Cómo varía la densidad de la atmósfera con la altura? Razone la respuesta.
3. ¿Por qué la presión atmosférica disminuye rápidamente desde la superficie hasta alcanzar la tropopausa?
4. ¿Cómo varía normalmente la temperatura de la troposfera con la altura? ¿A qué es debido?
5. ¿Por qué aumenta la temperatura en la ozonosfera?
6. Efecto de la capa de ozono en la atmósfera.
7. ¿Qué es la ionosfera?
8. Localización y principales características de la ionosfera.
9. ¿Por qué la ionosfera tiene un efecto protector? Razone la respuesta.

10. ¿Qué tipo de radiaciones solares son filtradas por la ionosfera?
11. ¿Qué efectos nocivos tienen las radiaciones solares sobre los seres humanos y sobre otros seres vivos?
12. ¿Qué es el efecto albedo? Explique brevemente su influencia en el clima terrestre.
13. ¿Qué es el efecto albedo? Cite dos ejemplos que pongan de manifiesto el albedo y comente su influencia en la insolación de la superficie terrestre.
14. ¿Cómo afectaría la deforestación masiva al albedo terrestre?
15. ¿Qué es la contrarradiación atmosférica?
16. ¿Qué es un contaminante atmosférico? Pon un ejemplo.
17. ¿En qué consiste la inversión térmica en la atmósfera? ¿Cómo influye en la dispersión de los contaminantes?
18. Enumere las posibles causas de una inversión térmica.
19. ¿En qué consiste el fenómeno conocido como isla de calor urbana?
20. ¿Qué es el "smog"? Explique sus consecuencias.
21. ¿Cuáles son los contaminantes atmosféricos de una central térmica diseñada para trabajar a partir de carbón?
22. ¿Qué diferencias existen en el origen y en los efectos del ozono troposférico y del ozono estratosférico?
23. Describa brevemente el efecto invernadero y sus consecuencias climáticas.
24. Cite tres medidas correctoras para evitar el aumento del efecto invernadero
25. ¿Qué es la lluvia ácida? ¿Por qué se produce?
26. ¿Qué contaminantes reaccionan con el agua para dar la lluvia ácida?
27. Relación entre lluvia ácida y deforestación.
28. Explique cuáles son las diferencias que existen en los usos y el interés de la energía térmica solar y la energía solar fotovoltaica.
29. Energía solar y eólica: aprovechamiento energético.
30. ¿Qué problemas presenta la utilización de la energía eólica?
31. Ventajas e inconvenientes de la energía eólica.

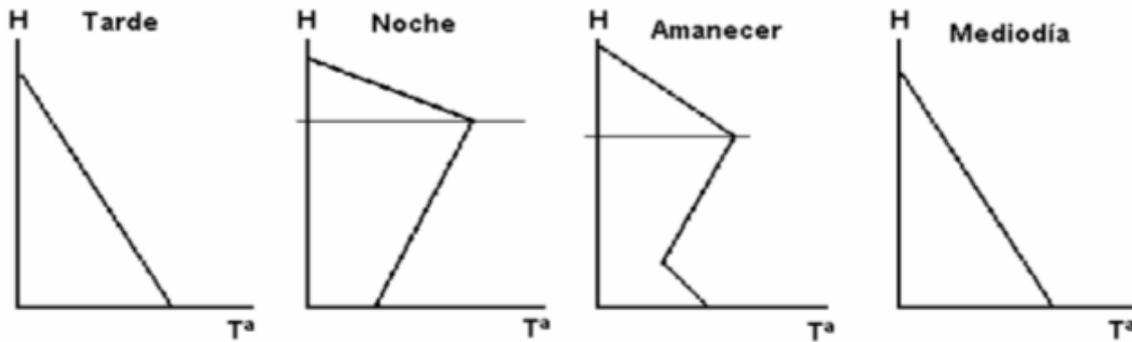
## PREGUNTAS DE APLICACIÓN.

1. Teniendo en cuenta el diagrama adjunto, responda a las siguientes cuestiones:
  - a). ¿En qué consiste el albedo? Indique algunos factores que puedan modificarlo.
  - b). ¿Cuánta energía absorbe la Tierra? ¿Cuánta energía remite al espacio?
  - c). ¿En qué consiste el efecto invernadero?



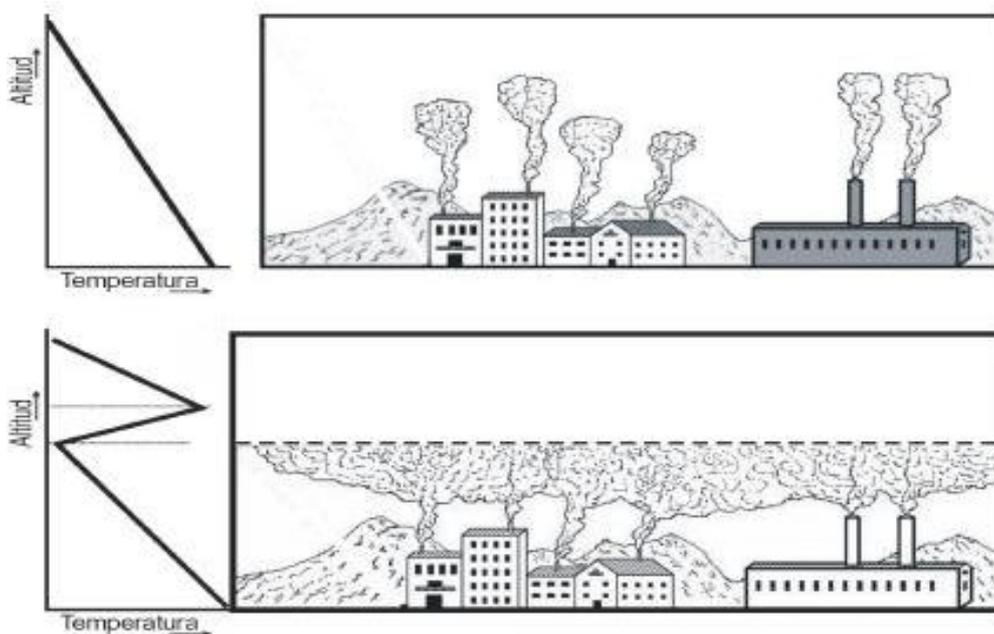
2. En una ciudad y a lo largo del día, se observa la siguiente variación de temperatura en los niveles bajos de la atmósfera. (H = altitud; T<sup>a</sup>= temperatura)

- a) Explique el fenómeno que está ocurriendo y su influencia en la dispersión de los contaminantes.
- b) ¿Qué medidas preventivas y correctoras se pueden tomar frente a la contaminación?
- c) ¿Por qué cabe esperar que la temperatura en un núcleo urbano sea superior a la de las zonas colindantes? ¿Cómo influye dicho comportamiento en la dispersión de los contaminantes?



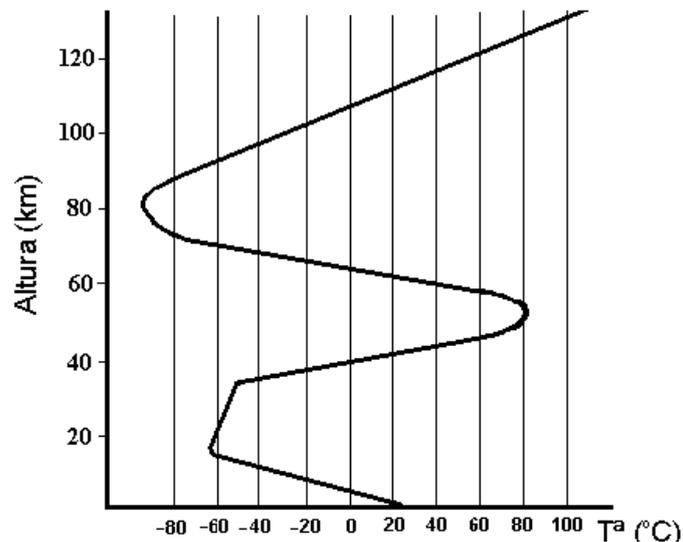
3. Observe la siguiente gráfica de gradientes de temperatura en estas dos situaciones y conteste a las siguientes cuestiones:

- a) Explique qué tipo de situación atmosférica se representa en cada uno de los dibujos.
- b) Describa las situaciones meteorológicas que se dan en los dibujos, relacionando cada una de ellas con el fenómeno de la contaminación atmosférica.
- c1) Explique razonadamente si existe alguna relación entre las situaciones meteorológicas y la forma en que se produce la dispersión del humo emitido por las chimeneas
- c2) Explique razonadamente las consecuencias de la ausencia de dispersión de contaminantes en las áreas urbanas.
- c3) Explique razonadamente si existe alguna relación entre esos dibujos y la forma en que se produce la dispersión de los penachos de humo emitidos por las chimeneas.



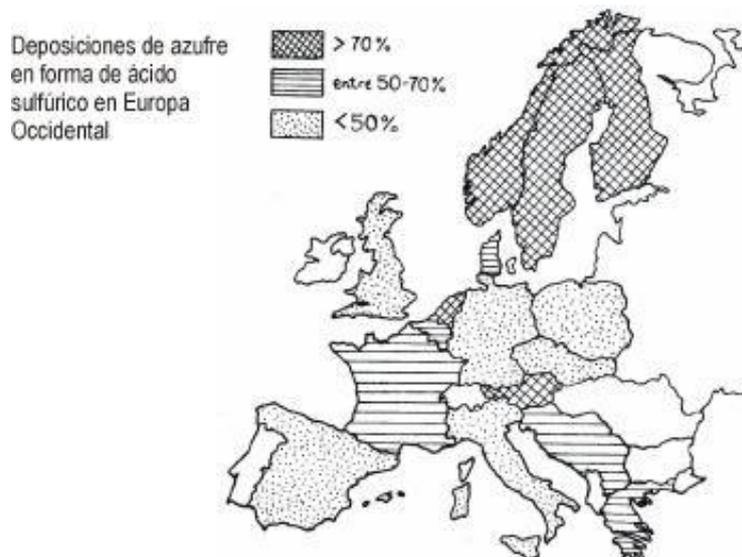
4. El gráfico adjunto representa la variación de la temperatura en la atmósfera terrestre en función de la altura. Reproduzca en su papel de examen dicha gráfica y, a partir de ella, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:

- Indique la situación de las capas de la atmósfera y los límites entre ellas.
- Sitúe aproximadamente la altura a la que se registra la máxima concentración de ozono. ¿Por qué la temperatura es elevada hacia los 50 km de altura?
- ¿Dónde se producen los fenómenos meteorológicos que determinan el clima terrestre? ¿Qué tipo de radiaciones llegan a esta capa atmosférica?

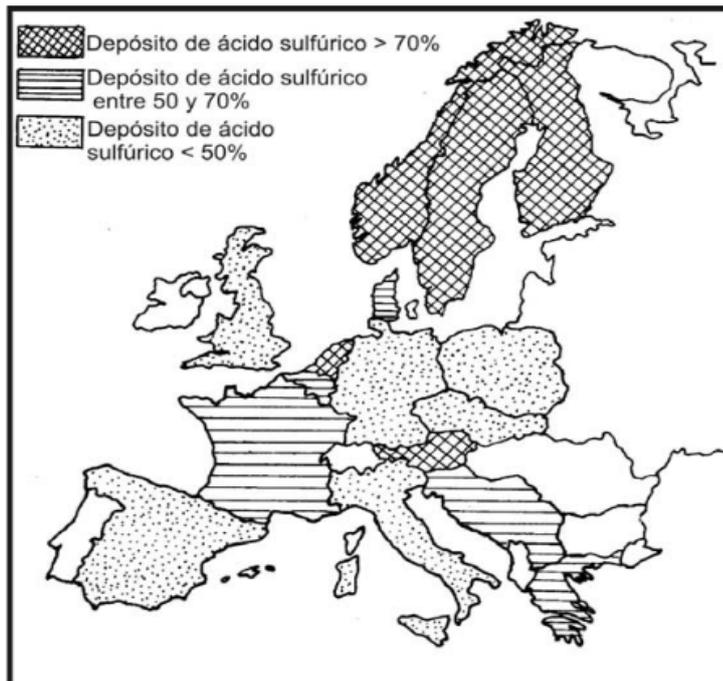


5. El mapa adjunto recoge el porcentaje de azufre depositado en forma de ácido sulfúrico.

- Explique de dónde procede el ácido sulfúrico presente en la atmósfera y cuáles son las actividades tecnológicas que llevan a su formación.
- Sabiendo que la obtención de energía en Gran Bretaña se fundamenta principalmente en el uso del carbón, explique los porcentajes de azufre depositados en forma de ácido sulfúrico en este país y relaciónelos con los porcentajes detectados en los países escandinavos.
- Explique las consecuencias que sobre los lagos escandinavos puede tener la acumulación de ácido sulfúrico.



6. En el mapa se representa el porcentaje de ácido sulfúrico depositado a partir de las emisiones de  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre) en Europa. Según dicho mapa, conteste a las siguientes cuestiones justificando su respuesta:



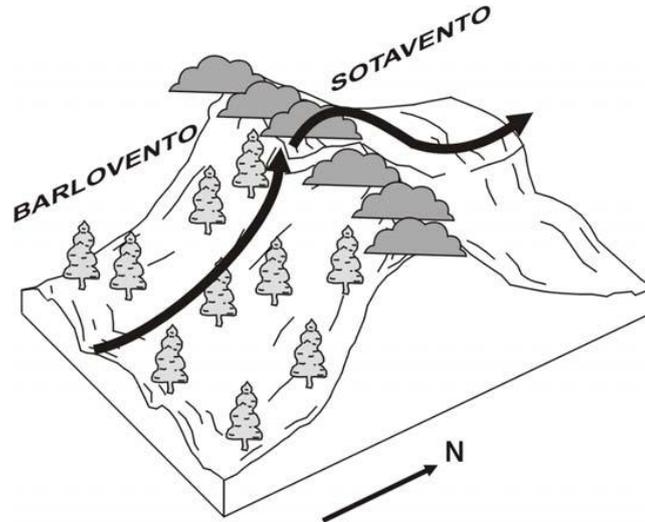
a) ¿Cómo se denomina a este tipo de mapas? ¿Cuál es su finalidad? ¿En qué tipo de medidas (preventivas, predictivas o correctoras) se encuadraría? Razone la respuesta.

b) ¿Qué efectos provoca dicho contaminante sobre la biosfera y la geosfera?

c) ¿Qué países verán afectados sus monumentos con mayor intensidad?

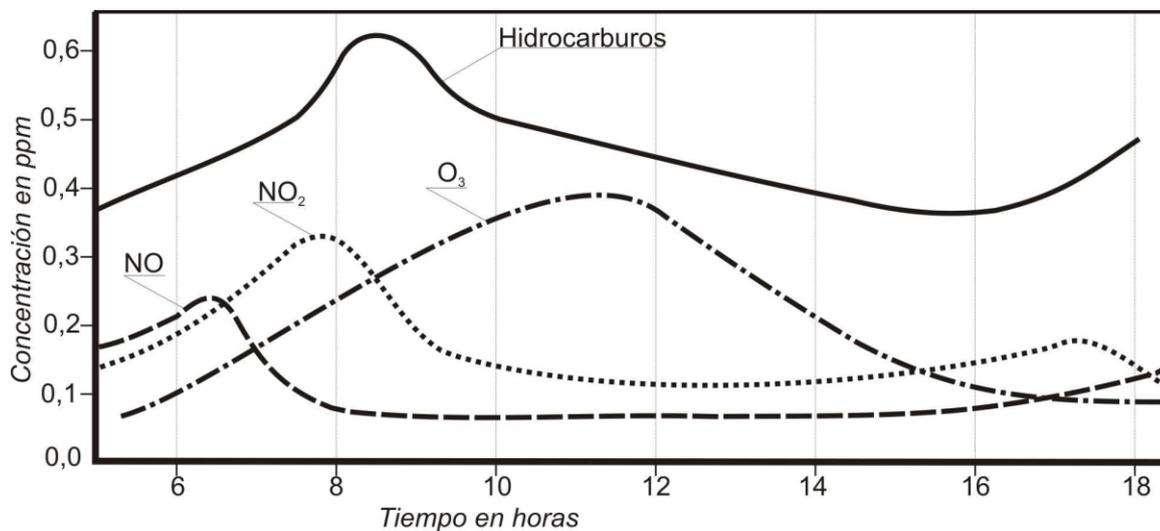
7. Observe la figura adjunta y responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo explicaría la existencia de grandes desiertos o sombras pluviométricas en el lado de sotavento de las grandes cordilleras?
- ¿Cómo será la temperatura en la llanura de sotavento respecto a la de barlovento?
- ¿Qué riesgos climáticos cabría esperar en los grandes relieves de sectores de barlovento y sotavento?



8. La gráfica adjunta muestra la variación de concentración de los contaminantes en una atmósfera urbana en partes por millón (ppm) a lo largo del día (horas). A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- ¿Por qué no coinciden los valores máximos para el NO y el NO<sub>2</sub>?
- ¿Por qué se alcanzan los niveles máximos de ozono (O<sub>3</sub>) en las horas de máxima radiación solar y los niveles mínimos durante la noche?
- Diferencie entre contaminante primario y secundario.



## **IV HIDROSFERA.**

### **1. DISTRIBUCIÓN EL AGUA EN LA TIERRA. EL CICLO DEL AGUA. BALANCE HÍDRICO.**

La mayor parte del agua del planeta se encuentra en océanos y mares (97,2 %); es agua salada y no es válida para la agricultura ni para el consumo humano. El agua continental, en cambio, tiene una concentración salina baja: se consideran aguas dulces las que contienen como máximo 1 gramo de sales disueltas por litro. (1 g/l). La naturaleza y cantidad de estas sales depende de la naturaleza del sustrato geológico. En general, la sal más abundante en el agua dulce es el hidrógeno carbonato de calcio, que caracteriza este tipo de agua igual que el cloruro de sodio caracteriza el agua oceánica.

El agua, en los continentes, se distribuye de la siguiente manera: 69 % en los glaciares, 30 % en las aguas subterráneas y 1 % en ríos y lagos. La mayor parte de nuestras reservas de agua dulce está en zonas polares y no es asequible, aunque existen proyectos de remolcar grandes icebergs hasta regiones deficitarias en agua.

El agua pasa de la hidrosfera a la atmósfera por evaporación. Al enfriarse, se condensa y se forman las nubes. Con la precipitación el agua es devuelta a la tierra en forma líquida o sólida y, a partir de ahí, puede seguir varios caminos: parte del agua puede quedar retenida en lagos y glaciares, otra parte constituye la escorrentía superficial, que consiste en un desplazamiento sobre la superficie terrestre hacia las zonas más bajas ya sea de manera libre o encauzada en los ríos y una tercera parte se infiltra atravesando las capas permeables del terreno, se incorpora a las aguas freáticas, dando lugar la escorrentía subterránea, que circula hacia el mar. El agua que se incorporó a la biosfera, retorna a la atmósfera por transpiración y, unida a la evaporación ocurrida sobre la superficie terrestre, se incluye en el concepto de evapotranspiración.

Para conocer las disponibilidades de agua de una cuenca hidrográfica, acuífero, país, etc., e incluso de toda la Tierra, es preciso conocer su balance hídrico, es decir la cuantificación de las entradas y salidas de agua en un tiempo determinado. En su forma más simple puede expresarse según la ecuación:

$$P = ET + ES \pm V$$

- P es la precipitación.
- ET es la evapotranspiración Se diferencian dos tipos: la evapotranspiración potencial (ETP), que es el agua devuelta por un suelo cuya superficie estuviera cubierta totalmente por la vegetación y no existiera limitación de agua; y la evapotranspiración real (ETR), que es la que realmente se produce, y es menor o igual que la potencial.
- ES es la escorrentía total que incluye la escorrentía superficial y la subterránea.
- V es el volumen de agua almacenada.

En la ecuación anterior, la entrada de agua proveniente de la precipitación se iguala a la evapotranspiración más la escorrentía total, a lo que hay que sumar o restar el volumen de agua almacenada. Para un período largo de tiempo el último sumando se puede despreciar pues es constante. El valor medio de la diferencia entre P y ET constituye los recursos hídricos renovables. No obstante, existen volúmenes mucho mayores, que se pueden consumir, pero que no se van a renovar: son las reservas, que pueden tener edades considerables.

En el conjunto de los continentes las precipitaciones alcanzan los 99.000 km<sup>3</sup>/año y la evapotranspiración llega a los 62.000 km<sup>3</sup>/año, por lo que los recursos hídricos renovables anualmente, representados por la escorrentía, son de 37.000 km<sup>3</sup>/año. Por tanto, sólo la tercera parte de las precipitaciones son un recurso potencial.

Por su parte, en los océanos, las precipitaciones suponen 324.000 km<sup>3</sup>/año y la evaporación de 361.000 km<sup>3</sup>/año. En principio parece que existe un desequilibrio entre entradas y salidas, sin embargo, el balance hídrico se equilibra con la entrada de agua en los océanos proveniente de la escorrentía continental que es de 37.000 km<sup>3</sup>/año.

La precipitación y la evapotranspiración de una zona en un tiempo determinado, generalmente un mes, suelen representarse en los llamados diagramas hídricos. Estos diagramas permiten conocer el exceso o déficit de agua disponible en el suelo y así poder planificar el riego, el tipo de cultivos, etc. Además es importante para evaluar los recursos hídricos disponibles. En un diagrama se pueden diferenciar los siguientes períodos:

- Período en el que la precipitación supera a la evapotranspiración potencial (meses de noviembre a abril). Durante este tiempo existe superávit de agua, que se acumula en el suelo, recarga los acuíferos y más tarde circula por el terreno pasando a los cursos de agua superficiales.
- Período en el que la precipitación es inferior a la evapotranspiración real (meses de abril a julio), pero en el que no existe déficit de agua, pues la vegetación está utilizando el agua acumulada en el suelo.
- Período en el que la precipitación sigue siendo inferior a la evapotranspiración real (meses de julio a octubre), pero en el que sí existe déficit de agua, pues el suelo no tiene agua suficiente para la vegetación. Es el período de sequía.
- Período en el que la precipitación es mayor que la evapotranspiración real. El suelo recupera el agua perdida (de octubre a noviembre), momento este en que la evapotranspiración real iguala a la potencial y de nuevo existe exceso de agua.

La influencia humana en el ciclo hidrológico es notable: cada vez consumimos más agua y estamos sobreexplotando los acuíferos, cada año extraemos más agua de la que se repone con la precipitación anual. Además, para disponer de mayores cantidades de agua dulce, la humanidad procura reducir los desequilibrios en la distribución temporal y espacial de este recurso. Con la acumulación de agua en presas y embalses, se pueden afrontar épocas de escasez de agua (desequilibrio temporal); con los trasvases o transferencias de agua de unas cuencas hidrográficas a otras se persigue solucionar los desequilibrios en la distribución espacial.

## **2.RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN DEL AGUA.**

### **2.1.Aguas superficiales: embalses y trasvases.**

Las aguas corrientes superficiales incluyen a los ríos pero también a los torrentes, que se caracterizan por estar secos en algunos períodos, y las aguas salvajes, que no están canalizadas y discurren por todas partes cuando llueve. Cada región posee una red de drenaje formada por todos sus ríos y torrentes; éstos se agrupan en cuencas hidrográficas que son territorios cuyas aguas fluyen a un mismo río principal; la línea que envuelve a una cuenca hidrográfica y que la separa de la adyacente se denomina divisoria de aguas. En la Península Ibérica hay grandes cuencas como la del Ebro, la del Duero, la del Tajo, la del Guadiana y la de Guadalquivir; los ríos más cortos, como los que nacen en la Cordillera Cantábrica, tienen cuencas reducidas.

La mayoría de los ríos vierten al mar o a otros ríos y se dice que sus cuencas son exorreicas; en cambio, algunas cuencas están cerradas, están cerradas, sin salida y se llaman cuencas endorreicas.

El funcionamiento de un río como sistema hidráulico puede representarse mediante gráficos denominados hidrogramas, curvas que muestran las variaciones del caudal a lo largo del tiempo. Los aumentos del caudal pueden ser graduales (debidos a la estacionalidad) o bruscos (crecidas). En un hidrograma-tipo observamos que, como consecuencia de una precipitación, el caudal aumenta (curva de crecimiento) hasta un máximo o caudal punta, para bajar después (curva de descenso) debido a la disminución de la escorrentía superficial. Si el crecimiento es muy rápido aumenta el riesgo de inundación; esto sucede en regiones con terrenos impermeables, desprovistas de vegetación y sin lagos a lo largo de su cauce. Para regular el caudal de estos ríos se acomete la construcción de embalses con lo que disminuye el caudal punta aguas abajo de la presa.

Los lagos son acumulaciones de agua más o menos estancadas en la superficie de los continentes debidas a la formación de una depresión en el relieve o a la aparición de una barrera que atraviesa un sistema fluvial. Los embalses tienen una apariencia similar pero su origen es artificial: la construcción de una presa o dique en un valle fluvial hace que el agua se acumule río arriba de la presa.

El principal fenómeno geológico que tiene lugar en los lagos es el depósito de sedimentos, por lo que pueden desaparecer por colmatación. Otras veces, el cierre de un lago es erosionado y se produce el vaciamiento de éste.

En los lagos de mayor tamaño, el agua tiene un comportamiento similar al de los océanos, produciéndose en ellos corrientes, mareas y olas. Durante los períodos cálidos el agua del lago puede estar estratificada como también lo está en el mar: en la parte superficial están las aguas más cálidas, en profundidad las aguas frías y, entre ambas, una zona de transición llamada termoclina. La existencia de estratificación impide la mezcla vertical y puede hacer que en el fondo existan condiciones de anoxia que impiden la vida de la mayoría de los organismos. En muchos casos, al finalizar el verano, el agua superficial se va enfriando cada vez más y adquiriendo mayor densidad, con lo que llega un momento en que se hunde y las aguas profundas ascienden. Así se inicia un período de mezcla vertical, como consecuencia de la cual las zonas inferiores se oxigenan y las superficiales se enriquecen en nutrientes procedentes del fondo.

### Planificación hidrológica.

En España, la Ley de Aguas de 1985 declara el agua como un bien público, tanto las aguas superficiales como subterráneas. También forman parte del dominio hidrológico del Estado los terrenos en los que se encuentra el agua: los cauces de las corrientes, los lechos de los lagos, lagunas y embalses en cauces públicos y los acuíferos subterráneos (en este caso sólo a los efectos de disposición o de afección).

La gestión del agua está supeditada a los Planes Hidrológicos de Cuenca y al Plan Hidrológico Nacional. La realización de los Planes de Cuenca corresponde a las Confederaciones Hidrográficas y comprende el inventario de los recursos, su demanda y usos, el control de los recursos y de su calidad y la administración y gestión de los mismos. Por su parte, el Plan Hidrológico Nacional coordina los Planes de Cuenca y marca las pautas para la gestión integrada de todos los recursos hídricos del país; su realización corresponde al Ministerio de Medio Ambiente.

La gestión del agua tiene como objetivo el diseño y ejecución de un conjunto de acciones que permitan responder a las demandas actuales de agua, y las que se proyectan en el futuro, y a la calidad requerida para cada uso, respetando el principio del mínimo impacto ambiental. Estas acciones abarcan desde la

captación y almacenamiento del agua hasta las políticas de ahorro, pasando por su distribución y transporte, depuración, acondicionamiento y reutilización.

Otra respuesta posible ante la creciente demanda de agua es la construcción de grandes obras hidráulicas. Como esto supone un coste económico y medioambiental muy elevado, sólo debe abordarse cuando tenga una clara justificación social y siempre que las medidas de ahorro comentadas anteriormente resulten insuficientes.

- Los embalses representan una de las opciones, ya que por una parte permiten el almacenamiento del agua con diversos fines (abastecimiento urbano, regadío, producción eléctrica) y, por otra, la regulación de los caudales a fin de prevenir inundaciones.
- Trasvases. Consisten en exportar agua desde una cuenca hidrográfica con excedentes a otra con déficit por medio de un sistema de canales.
- Plantas desaladoras. Su finalidad es obtener agua potable a partir del agua de mar. Las desaladoras se están desarrollando en el litoral mediterráneo y en las Islas Canarias, donde las precipitaciones son escasas. Esta tecnología es especialmente importante en las zonas costeras, pues al tiempo que aumentan las reservas se impide la intrusión salina.
- Restauración de cuencas fluviales. Son acciones encaminadas a facilitar la circulación del agua, eliminando aterramientos, recuperando pendientes, limpiando los cauces, favoreciendo bosques de ribera que den estabilidad a los márgenes... Las actuaciones no se limitan a los cauces sino que afectan a toda la cuenca: reforestar una amplia región garantiza una mayor infiltración y recarga de los acuíferos.

## **2.2.Las aguas subterráneas y su explotación.**

Como se ha señalado anteriormente, el agua subterránea es mucho más abundante que la que existe en ríos y lagos (30 % frente a 1%) por lo que es fundamental para el abastecimiento humano. Veamos el origen de las aguas subterráneas.

El agua que se infiltra en el terreno circula por poros y fisuras de las rocas (los ríos y lagos subterráneos son raros y se limitan a zonas kársticas). Para que una roca transmita agua hace falta, por tanto, una alta porosidad pero, sobre todo, que sus poros estén conectados. Se define la permeabilidad de un material como la propiedad de dejar pasar fluidos a su través; se expresa como una velocidad.

El agua de lluvia que penetra en el terreno lo hace hasta que llega a una roca impermeable. Desde el material impermeable y hacia arriba se produce un encharcamiento de los poros; es la zona de saturación. La zona donde quedan los poros llenos de aire es la zona de aireación y el contacto entre ambas es el nivel freático cuya altura depende de las precipitaciones.

El conocimiento de las reservas de agua requiere estudiar el clima y la naturaleza del subsuelo. Atendiendo a su comportamiento frente al agua se pueden distinguir:

- Acuíferos (del latín transportar agua): rocas porosas y permeables que pueden transportar y almacenar agua. Ejemplos: la grava, la arena o las calizas fracturadas.
- Acuífugos (rocas que repelen agua): son rocas impermeables no porosas. Ejemplo: granito fisurado.
- Acuicludos (que encierran agua): son rocas porosas pero impermeables, almacenan pero no transmiten agua. Ejemplo: arcillas.

Uno de los objetivos del hidrogeólogo es determinar la posición de los acuíferos y los lugares idóneos para una posible perforación. Se pueden diferenciar al menos dos tipos de acuíferos: libres y

confinados. Los acuíferos libres se caracterizan porque el nivel freático sólo está sometido a la presión atmosférica; para obtener agua se realizan los llamados pozos de gravedad: se perfora el terreno y se extrae agua con un motor. La extracción produce un descenso del nivel freático pero el descenso no es uniforme sino que es más acusado en las proximidades de la perforación donde presenta una morfología de cono invertido denominada cono de depresión.

En los acuíferos confinados la presión del agua es mayor porque el acuífero está comprendido entre dos capas impermeables; en estos casos no se habla de nivel freático sino de nivel piezométrico para referirse a la altura que alcanzaría el agua si se suprimiera el confinamiento. Si una perforación rompe el confinamiento el agua sube por encima del terreno: son los llamados pozos artesianos o pozos surgentes.

Otras veces la perforación no es necesaria porque el agua brota espontáneamente en manantiales. Estos aparecen siempre que el nivel freático es cortado por la topografía; frecuentemente coinciden con puntos del relieve en los que aflora el contacto entre materiales permeables con otros impermeables infrayacentes.

### **2.3. Energía hidroeléctrica y mareal.**

#### **a) Energía hidroeléctrica.**

La energía potencial que impulsa el agua en su camino desde las montañas al mar puede ser capturada y transformada en energía eléctrica mediante los embalses, que permiten concentrar y almacenar dicha energía. Al abrir las compuertas se libera esta energía, impulsando unas turbinas, las cuales estarán conectadas a una dinamo que transformará la energía mecánica en eléctrica.

En España sólo el 3% de la energía consumida tiene este origen. La energía hidroeléctrica es una energía renovable y no contaminante por lo que es una alternativa muy importante frente a los combustibles fósiles. El coste del mantenimiento de estas centrales es mínimo y, además, favorece la regulación del cauce de los ríos, evitando inundaciones y permitiendo el aprovechamiento del agua para otros usos. Pero la construcción de embalses también tiene sus inconvenientes:

- Inundación de tierras de cultivo.
- Reducción del caudal de los ríos.
- Disminución del aporte de nutrientes aguas abajo y en la desembocadura de los ríos.
- Reducción de la diversidad biológica.
- Dificultad para la migración de peces.
- Eutrofización de las aguas.
- Impacto visual.
- Riesgo de catástrofes debidas a la rotura de las presas.

Debido a la toma de conciencia sobre el impacto producido por las grandes presas, se están reduciendo mucho los proyectos de nuevas construcciones. Comienzan a aparecer nuevos diseños de pequeñas centrales hidroeléctricas (minicentrales), muy indicados para países en desarrollo porque tienen un menor coste económico, producen menos impacto ambiental y reducen las distancias que deben recorrer los tendidos eléctricos desde las centrales a las poblaciones, lo que disminuye las pérdidas.

#### **b) Energía mareomotriz y energía del oleaje.**

Las interacciones del sistema Tierra-Luna-Sol producen unas variaciones en el nivel del mar conocidas como mareas. En zonas costeras con gran diferencia de mareas se generan importantes corrientes hacia

tierra durante la marea alta y hacia el mar durante la marea baja. En esta energía se basan los tradicionales molinos de marea de la Bahía de Cádiz.

Hoy día la energía mareomotriz se aprovecha en centrales eléctricas, con sus correspondientes turbinas, que se colocan en lugares con importantes corrientes de marea, por ejemplo en la boca de una ría. Hasta ahora es un sistema poco desarrollado; sólo existe en unos pocos lugares del mundo. Tampoco está desarrollado el uso de la energía del oleaje; en España destacan dos centrales de este tipo: una en Santoña de 1,2 MW y otra en Santiago de Castelo de 2 MW.

## **2.4. Usos y consumo del agua.**

Se suelen diferenciar usos consuntivos de usos no consuntivos. Si el agua empleada para realizar una actividad ya no puede ser utilizada de nuevo, hablamos de un uso consuntivo de la misma (por ejemplo, el agua destinada a las actividades agrícolas, urbanas o industriales); si una vez empleada en una determinada actividad puede ser utilizada de nuevo, por mantener una calidad suficiente, hablamos de uso no consuntivo (por ejemplo, los usos energéticos, recreativos o ecológicos).

- a) Usos agrícolas. Las mayores demandas de aguas subterráneas, de ríos y de lagos son para el riego, aunque también debe incluirse dentro de estos usos la empleada en otras prácticas agrícolas. La utilización del agua como recurso agrícola representa una media del 65% del consumo total a nivel mundial. El consumo de agua está condicionado por las características climáticas de la zona, los tipos de suelos y cultivos, la mecanización agrícola y los sistemas de riego. En relación con este último, es necesario resaltar que la eficiencia del mismo en todo el mundo es inferior al 40%, dado que en determinadas prácticas agrícolas la mayoría del agua se pierde por evaporación o por canalizaciones en mal estado.
- b) Usos urbanos del agua. Los usos urbanos o domésticos son aquellos que surgen para cubrir las necesidades de agua en el hogar, el comercio o los servicios públicos. El agua empleada procede principalmente de embalses (previamente tratada) y de aguas subterráneas, que tienen menos posibilidades de estar contaminadas. La cantidad demandada está en relación directa con el nivel de vida, el desarrollo económico y la población (un incremento en estos usos del agua es un indicador de un aumento o mejora en la calidad de vida). La cantidad de agua utilizada con fines urbanos supone menos de una décima parte del consumo mundial.
- c) Usos industriales. En este caso se trata de demandas de agua provocadas por los diferentes procesos industriales, en los que este elemento puede tener diversos usos: como materia prima (en las industrias químicas), como agente refrigerante (en las industrias energéticas), como depósito de vertidos, como transporte de materiales y como medio de limpieza. Las cantidades empleadas guardan una relación directa con el mayor o menor desarrollo industrial. La utilización del agua con fines industriales constituye la segunda gran demanda de este elemento a nivel mundial (aproximadamente una cuarta parte del consumo total).
- d) Usos energéticos. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los saltos de agua para accionar unas turbinas y así obtener electricidad. Con este objetivo se construyen embalses que, además, son reservas de agua y reducen el peligro de inundación aguas abajo del embalse. La energía hidroeléctrica es importante en países con escasos recursos petrolíferos. También se puede incluir en este apartado el agua empleada en los procesos de refrigeración de centrales nucleares. Este tipo de usos del agua no supone un consumo de la misma, ya que una vez empleada, y siempre que presente unos índices de calidad adecuados, puede volver a ser utilizada.

- e) Usos en navegación y ocio. El empleo del agua dulce para la navegación necesita de unos caudales fluviales mínimos. Este es un uso no consuntivo, pero puede provocar una pérdida de su calidad que restrinja su utilización posterior; de ahí que las exigencias en cuanto a normativa de seguridad en la navegación fluvial sean mayores que en la navegación marítima. En España la navegación fluvial es escasa, pues únicamente presenta un uso navegable el río Guadalquivir en su último tramo (desde la desembocadura hasta Sevilla), aunque en el pasado también el río Ebro fue utilizado como vía de transporte de materias primas.

Los usos recreativos del agua comprenden la utilización de embalses, de ríos, de lagos y del mar para ocio o deporte, así como la construcción de piscinas, etc. Esta utilización del agua está relacionada con el nivel y la calidad de vida, y aunque no implica consumo, puede generar conflictos relacionados con vertidos y pérdida de la calidad del agua que condicione otras aplicaciones. De ahí que se establezcan medidas para una ordenación de este tipo de usos.

- f) Usos ecológicos o medioambientales. En lugar de extraer agua indiscriminadamente de un río, hay que establecer unos caudales mínimos, de forma que se mantenga el equilibrio en el ecosistema acuático y en su dinámica. Por otro lado, esta utilización tiene como objetivo el mantenimiento del paisaje, la recarga de acuíferos, y evitar el estancamiento del agua. Si consideramos como ejemplo una cuenca fluvial, estos usos suponen aproximadamente un 10% del total.

#### Medidas de ahorro y racionalización del consumo.

Las medidas de ahorro están dirigidas al uso eficiente del agua en los tres usos consuntivos: agrícola, industrial y doméstico.

En la agricultura se pueden ahorrar agua utilizando sistemas de riego más eficientes, sustituyendo el tradicional riego a manta por métodos más modernos como el riego por goteo y mejorando los sistemas de canalización y distribución, donde se pierde gran cantidad de agua. Otra alternativa es la utilización de las aguas residuales, una vez depuradas, para el riego.

En la industria se debe promover el estudio de procesos industriales que requieran menos agua e incentivar a las industrias que reduzcan el consumo. El agua que se emplea en los sistemas de refrigeración se puede reutilizar en sistemas cerrados dentro de la industria.

El ahorro en las ciudades es un objetivo prioritario en toda gestión del agua. Entre las medidas que se pueden aplicar destacamos las siguientes:

- Mejora de las redes de distribución mediante la renovación de las conducciones, así como la detección y reparación de las mismas, para evitar fugas, que se cifran entre el 20% y el 50%.
- Educación ambiental que conciencie al ciudadano de la importancia de ahorrar agua y le informe de medidas sencillas como ducharse en vez de bañarse, evitar el goteo de los grifos, etc.
- Empleo de electrodomésticos e instalaciones de bajo consumo, como cisternas ecológicas, grifos con temporizadores, etc.
- Precios distintos según las necesidades y precios que reflejen el verdadero coste del agua. Un precio demasiado bajo y una política de subvenciones indiscriminadas favorece el derroche de agua.
- Construcción de jardines con plantas que requieren poca agua, y utilización de aguas depuradas para el riego.
- Limitación de las construcciones de instalaciones deportivas y recreativas (piscinas, campos de golf, etc.) en zonas deficitarias de agua.

### **3.IMPACTOS SOBRE LA HIDROSFERA.**

La contaminación del agua se define, según la Ley de Aguas, como la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Su origen se debe tanto a causas naturales como antrópicas y afecta a todo tipo de aguas: continentales y marinas. Las fuentes naturales son las precipitaciones, que arrastran distintas sustancias presentes en la atmósfera (gases, partículas, polen, etc.) y las escorrentías, que llevan diversos componentes del suelo. Las fuentes antrópicas son las diversas actividades humanas que originan todo tipo de residuos, que son vertidos de manera sistemática o accidental a las aguas.

Las fuentes pueden tener una localización puntual o difusa. Las puntuales son las que vierten a las aguas desde puntos localizados geográficamente; así sucede por ejemplo con los vertidos industriales, los desechos domésticos y sanitarios que se descargan a través de una tubería. La contaminación difusa no tiene una delimitación geográfica concreta. Este es el caso de las actividades mineras, agrícolas y forestales, construcción, etc. En esta ocasión los contaminantes llegan a las aguas por la escorrentía superficial o por infiltración.

Según la naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas se habla de tres tipos de contaminación: física, química y biológica.

a) La contaminación física es la producida por diversos agentes que provocan cambios en las propiedades físicas del agua como la temperatura, el color, la turbidez y la radiactividad.

- La contaminación térmica o calentamiento del agua está provocada por el vertido de aguas que han sido utilizadas como refrigerantes en diversas industrias (térmicas, nucleares, siderúrgicas). La modificación de la temperatura produce una variación en el ciclo vital de muchos organismos, sobre todo de aquellos que son estrechamente dependientes de la misma. El aumento de temperatura produce asimismo, una variación en los niveles de oxígeno disuelto en el agua (a mayor temperatura menor concentración de oxígeno), lo que reduce la capacidad autodepuradora de las aguas.
- Los sólidos en suspensión. La presencia de partículas coloidales o muy finas en suspensión, tanto orgánicas (restos animales o vegetales) como inorgánicas (lodos, arenas, etc.) producen turbidez en las aguas. Estas partículas provienen principalmente de las industrias y de las explotaciones mineras. La turbidez afecta de manera negativa a la fotosíntesis, ya que disminuye la transparencia de las aguas y con ello la penetración de la luz.
- Las partículas radiactivas emitidas por los residuos radiactivos generados en las centrales nucleares o en los hospitales, centros de investigación, etc., que producen contaminación radiactiva. Cuando afecta a las células somáticas causa la muerte o lesiones graves, como cáncer, y si afecta a las células germinales puede provocar mutaciones y malformaciones en la descendencia.

b) La contaminación química es la originada por sustancias químicas muy diversas: sólidas, líquidas o gaseosas, que se presentan disueltas o en suspensión. Proceden, principalmente, de las actividades industriales, aunque ciertas sustancias, como nutrientes orgánicos, detergentes y pesticidas, también tienen un origen doméstico o agrícola. Los contaminantes químicos pueden ser:

- Inorgánicos, como ácidos, álcalis y distintas sales solubles e insolubles, que en muchos casos son sustancias tóxicas. Como anión más tóxico destaca el cianuro, y como metales muy tóxicos

el Hg, Cd, Cr o el Pb, y menos tóxicos, el Al o el Fe. Algunas de estas sustancias son biodegradables, caso de los nitratos o fosfatos, pero otras, como los metales pesados (Hg, Pb, Cd, etc.) no lo son. Por biodegradable se entiende toda sustancia que puede ser descompuesta por organismos diversos, especialmente bacterias aerobias. Los ácidos y álcalis causan variaciones en el pH que influyen en los organismos. Las sustancias tóxicas son letales a una cierta concentración, y si la concentración es tolerable se van acumulando en cada eslabón de la cadena trófica hasta llegar a concentraciones perjudiciales, que afectan sobre todo a las especies situadas en la cima de la pirámide ecológica. Normalmente la mayoría de los metales son tóxicos, pero el envenenamiento por mercurio y plomo causa efectos desastrosos en las comunidades. En cuanto a las sales, los nitratos y fosfatos producen la eutrofización de las aguas.

- Orgánicos, tales 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. Los residuos orgánicos de origen doméstico, agrícola y ganadero (purines) producen en las aguas una disminución del oxígeno disuelto, al ser consumido por las bacterias en la descomposición aerobia, y la formación de sustancias indeseables por fermentación anaerobia, tales como ácidos orgánicos o gases (sulfuro de hidrógeno, metano, amoníaco, etc.), que causan malos olores. Merece especial mención la contaminación producida por los detergentes y los pesticidas. Los primeros producen espumas que dificultan el intercambio gaseoso y reducen los procesos biológicos; además, como contienen polifosfatos eutrofizan las aguas. Los pesticidas son en muchos casos tóxicos y cuando se trata de compuestos poco degradables se van acumulando a lo largo de la cadena trófica.

c) La contaminación biológica se debe a la presencia de diferentes tipos de microorganismos: virus, cianobacterias, bacterias, algas, protozoos y hongos, presentes en las aguas residuales, y de la materia orgánica en suspensión procedente de los seres vivos. Cuando existe materia orgánica en grandes cantidades, las aguas son un auténtico caldo de cultivo, lo que provoca la proliferación de microorganismos y, por tanto, una pérdida de calidad del agua. La contaminación por microorganismos patógenos resulta gravemente peligrosa pues convierte al agua en un vehículo de transmisión de múltiples enfermedades como cólera, fiebre tifoidea, disentería, etc.

### **3.1. Contaminación de las aguas marinas. Mareas negras.**

Tradicionalmente se han considerado los mares como los vertederos naturales, donde podían ir a parar todo tipo de sustancias sin que ello constituyese un grave problema medioambiental, ya que el gran volumen de agua del mar permitía la dilución de los productos y los distintos organismos de las cadenas tróficas purificaban las aguas. Sin embargo, en las últimas décadas la contaminación se ha disparado y la capacidad autodepuradora del mar es insuficiente.

La contaminación procede de ríos contaminados, de la descarga directa en el mar de las aguas residuales urbanas, de vertidos industriales como los de las refinerías costeras, de la limpieza de barcos en alta mar, etc. Entre todas las agresiones que sufre el mar merecen una especial atención las mareas negras. Los vertidos de petróleo proceden de las plataformas petrolíferas marinas, de operaciones de trasvase, descarga y limpieza de barcos petroleros y, sobre todo, de los accidentes de barcos petroleros como el Prestige.

La mancha de petróleo impide la penetración de la luz, lo que inhibe la fotosíntesis, por lo que disminuye el fitoplancton, que es la base de las cadenas tróficas marinas. Además el petróleo dificulta el intercambio de gases entre la atmósfera y el mar, con lo cual el oxígeno disuelto disminuye causando la muerte de gran número de organismos, especialmente a los huevos y larvas que son muy sensibles a los contaminantes. Por otra parte, numerosas aves marinas, peces, etc., quedan intoxicados o mueren

por hundimiento (al perder flotabilidad), por la ingestión del petróleo que obstruye los conductos digestivos o al no poder desplazarse por estar impregnados.

A estas consecuencias de la marea negra sobre el medio natural hay que añadir las consecuencias sociales. Se ven limitadas muchas actividades productivas como la pesca, el marisqueo, las industrias agroalimentarias ligadas a la pesca, el turismo, etc. Las poblaciones afectadas sufren una crisis profunda.

La limpieza de las aguas es posible, ya que de manera natural el petróleo sufre una serie de procesos físico-químicos y biológicos que permiten su eliminación. Así, los productos más volátiles se evaporan y en la atmósfera se oxidan formando agua y CO<sub>2</sub>. El petróleo que permanece en superficie sufre una fotooxidación, se disuelve, en una pequeña cantidad, o se emulsiona, y los productos más pesados del crudo se depositan en los fondos marinos. Una determinada cantidad de petróleo, disuelto o emulsionado, es asimilada por diversos organismos, pero la mayor parte se va degradando poco a poco por oxidación bacteriana en los fondos.

Los procesos naturales de autodepuración son lentos y hay que complementarlos con la eliminación artificial de las mareas negras. Entre las medidas a aplicar destacamos:

- Aislamiento mediante flotadores.
- Recogida mecánica del petróleo. En mar abierto se pueden utilizar aspiradores pero cuando el petróleo llega a las costas la recogida se hace de forma manual.
- Detergentes que facilitan la dispersión.
- Biorremediación que es la degradación natural mediante la inoculación de bacterias consumidoras de petróleo. Añadiendo nutrientes inorgánicos, como fósforo o nitrógeno, se acelera el proceso.

Para evitar los accidentes de barcos petroleros hay establecer una normativa exigente sobre los barcos y sus tripulaciones. Una de las medidas fundamentales es obligar a los barcos a tener un doble casco para que en caso de fractura del casco exterior no se produzca el vertido. Una vez más hay que insistir en la necesidad de reducir el consumo de petróleo; no sólo para evitar mareas negras, también porque es un recurso no renovable y por la contaminación atmosférica derivada de su combustión.

### **3.2. Contaminación de las aguas superficiales. Eutrofización.**

#### **Parámetros para determinar la calidad del agua.**

Los parámetros son indicadores de las características y propiedades que los diferentes contaminantes pueden proporcionar al agua, por lo que son de utilidad para determinar el grado y el origen de las alteraciones de su calidad. Se clasifican en físicos, químicos y biológicos.

Entre los parámetros físicos destacan los siguientes:

- La transparencia o turbidez, que indica la presencia de partículas sólidas o microorganismos.
- El color, el olor y el sabor: un agua coloreada y con mal olor o sabor implica la presencia de elementos extraños.
- La conductividad eléctrica, que indica la existencia de sales disueltas. Es directamente proporcional a los sólidos disueltos y en suspensión.
- La temperatura. Los vertidos de aguas calientes elevan la temperatura del agua de los ríos y reducen el oxígeno disuelto porque la solubilidad de éste disminuye con la temperatura.

Los parámetros químicos son los más importantes para definir la calidad del agua. Existe una gran variedad de ellos, entre los que destacamos:

- El oxígeno disuelto (OD) tiene enorme importancia como indicador de calidad, ya que su concentración disminuye al ser utilizado para la degradación de la materia orgánica. Las aguas limpias y corrientes están oxigenadas hasta la saturación.
- La demanda biológica de oxígeno (DBO), que mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Se toma como referencia la demanda de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica en cinco días, por eso se designa como DBO<sub>5</sub>. No debe confundirse con la demanda química de oxígeno (DQO) que se determina con un ensayo de oxidación de compuestos orgánicos por la acción de agentes químicos.
- El carbono orgánico total (COT), que mide el contenido de carbono de los compuestos orgánicos. Este parámetro, junto con la DBO y la DQO, informa de la contaminación orgánica del agua.
- El nitrógeno (amoníaco, nitritos y nitratos). La presencia de amonio y nitritos supone contaminación orgánica reciente; esta contaminación suele ir acompañada de la presencia de gérmenes. Amonio y nitritos pueden dar lugar a nitratos que de ser un elemento biolimitante pasa a ser abundante y favorecer la proliferación de algas. Los nitratos también pueden proceder del lavado por las aguas superficiales de los suelos agrícolas tratados con mucho fertilizante.
- El pH que indica la acidez o basicidad y que está en función de los iones H<sup>+</sup> presentes. Un agua demasiado ácida o básica tiene muchas posibilidades de contener elementos indeseables.
- La dureza, que viene dada por la presencia de los iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. Una elevada dureza puede tener una causa natural, como cuando las aguas discurren por terrenos calcáreos, o puede tener su origen en vertidos contaminantes. El agua dura supone un riesgo de incrustaciones calcáreas en las conducciones.
- Otros parámetros químicos que se pueden determinar son el cloro y el ozono (utilizados en la desinfección), el sulfuro de hidrógeno (que produce mal olor), el dióxido de carbono, los cloruros, sulfatos, fosfatos, metales pesados (muy tóxicos), fenoles, plaguicidas, detergentes, sustancias húmicas, hidrocarburos, etc.

Los parámetros biológicos indican las especies de microorganismos presentes en el agua y su abundancia. Algunos microorganismos son patógenos y pueden causar enfermedades como el cólera o la disentería. Destacamos las bacterias coliformes y los estreptococos fecales que son gérmenes cuya presencia indica contaminación fecal reciente.

Resulta muy útil el estudio de pequeños invertebrados acuáticos, como gusanos y larvas de insectos, para establecer la calidad del agua de un río. La presencia, por ejemplo, de larvas de efemerópteros nos dice que el agua está limpia y que lo ha estado todo el tiempo necesario para que estos insectos completen su ciclo vital. Mientras que los análisis físico-químicos y bacteriológicos facilitan una información de la calidad del agua en el momento de la toma de la muestra, el análisis de saprobios (organismos que se alimentan de materia orgánica), nos informa de la calidad del agua en las últimas semanas o meses:

- Los polisaprobios toleran elevadas concentraciones de materia orgánica.
- Los mesosaprobios toleran concentraciones medias.
- Los oligosaprobios sólo viven en aguas poco contaminadas.

A veces se determina la calidad del agua con índices compuestos, que son los que incluyen simultáneamente parámetros físicos, químicos y biológicos.

Uno de los problemas más graves de contaminación hídrica es la eutrofización que destruye la vida acuática y hace que el agua tenga una apariencia y olor desagradables. Afecta, sobre todo, a las masas de agua estática como lagos y embalses, aunque también se da en los ríos de régimen lento e incluso en algunas aguas litorales (zonas portuarias). Es debida a un exceso de nutrientes; de ahí el nombre de eutrofización, del griego *eutros*, que significa bien alimentado mientras que las aguas oligotróficas son pobres en nutrientes.

El fósforo y nitrógeno son nutrientes muy importantes y no suelen ser abundantes en el agua, sobre todo el fósforo ya que el nitrógeno puede ser incorporado desde la atmósfera por las algas cianofíceas. De ahí que cuando se realiza un aporte excepcional de estos elementos se produce un cambio muy importante en la vida acuática.

La eutrofización de los lagos es un hecho natural, sin embargo este problema afecta últimamente a muchos embalses y lagos debido a la denominada eutrofización por fertilización; o sea, la provocada por el uso abusivo de fertilizantes (nitratos y fosfatos), cuyos excedentes son arrastrados por la lluvia, y el excesivo consumo de detergentes con fosfatos, vertidos por las aguas residuales a los cauces. También contribuyen al aumento de estos nutrientes en las aguas la descarga industrial y los residuos animales.

En este proceso podemos diferenciar tres etapas:

- Proliferación del fitoplancton: el exceso de nitratos y fosfatos en las aguas favorece un rápido y excesivo crecimiento de las algas (y plantas acuáticas), que recubren y enturbian las aguas, adquiriendo éstas un coloración verdosa, amarillenta o pardusca, 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 fotosintetizadores y la consiguiente acumulación de materia orgánica en los fondos. En esta situación, la materia es descompuesta por las bacterias aerobias que consumen grandes cantidades de oxígeno, por lo que éste empieza a escasear, dándose situaciones de anoxia y merma de la capacidad autodepuradora de las aguas. El resultado es que, al verse privadas de oxígeno, mueren también las poblaciones animales.
- Degradación anaerobia de la materia orgánica: se desarrollan las bacterias anaerobias que fermentan la materia orgánica presente y desprenden sustancias como el  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ , que proporcionan mal olor y sabor a las aguas. Así aparecen las aguas eutrofizadas: estancadas, coloreadas y con malos olores.

Para minimizar y corregir la eutrofización hay que depurar las aguas residuales antes de su vertido, limitar o prohibir los vertidos domésticos y agrícolas en ecosistemas acuáticos reducidos o con escasa dinámica, y disminuir el contenido de fosfatos de los detergentes.

### **3.3. Contaminación de las aguas subterráneas. Sobreexplotación y salinización de acuíferos.-**

La contaminación de las aguas subterráneas puede deberse a un foco puntual o puede tener un origen difuso. En el primer caso, las principales causas se encuentran en las actividades urbanas e industriales.

Como causa de contaminación difusa hay que destacar la actividad agropecuaria. En especial, el uso de grandes volúmenes de fertilizantes químicos en los cultivos intensivos, que afecta a la calidad de las aguas subterráneas y amenaza el suministro de agua potable a las poblaciones. También los purines (mezcla de excrementos sólidos y líquidos del ganado, aguas de limpieza de los establos y restos de comida) pueden constituir una fuente difusa de contaminación cuando se expanden en el campo como abono orgánico. La parte líquida de los purines se convierte en una fuente puntual, con grave incidencia en el ámbito local, cuando los tanques de almacenamiento se vacían sobre un cauce fluvial o un terreno próximo, ya que contamina los acuíferos cuyo nivel freático esté cercano a la superficie.

Los principales contaminantes que afectan a los acuíferos en España son los nitratos, que proceden de las actividades humanas antes descritas y con mucha menor incidencia, de los residuos orgánicos y los pesticidas

El problema de la contaminación del agua subterránea es particularmente serio por tres razones:

- El agua subterránea no puede autodepurarse del mismo modo que las corrientes superficiales. Esto se debe a la escasez de oxígeno disuelto y de organismos descomponedores, así como a la dificultad de dilución y dispersión de los contaminantes.
- La gran lentitud en el desplazamiento del agua subterránea implica que la expulsión de los contaminantes al exterior de acuífero tarda cientos de años.
- La evaluación y el control de la verdadera extensión de la contaminación subterránea, así como la purificación artificial de los acuíferos, son muy difíciles y costosos.

Además de la contaminación, los acuíferos tienen otro problema grave: la sobreexplotación. Un acuífero está sobreexplotado si se extrae agua del subsuelo a un ritmo superior al de la infiltración o recarga natural. Esto supone el agotamiento progresivo del agua almacenada durante siglos y tiene diversos efectos negativos, como el encarecimiento de la extracción, la reducción de los cursos de agua superficial, los conflictos entre usuarios y la degradación de la calidad del agua. La sobreexplotación de acuíferos conduce, además, a la degradación de los ecosistemas de los humedales que se alimentan de aguas freáticas. En España la sobreexplotación de acuíferos es preocupante en el sudeste peninsular, Cataluña, la zona occidental de La Mancha y Baleares.

En los acuíferos situados en regiones costeras se puede producir intrusión de agua marina cuando la explotación es intensa. El agua salada provoca lo que se denomina salinización del acuífero; los poros y conductos que quedan libres por la extracción se rellenan con agua del mar, que desaloja poco a poco al agua dulce de manera irreversible, debido a la mayor densidad del agua salada.

### **3.4. Medidas preventivas de la contaminación de las aguas.**

Las medidas contra la contaminación de las aguas pueden ser preventivas y correctoras. Éstas últimas tratan de controlar la contaminación una vez que se ha producido: ya hemos comentado algunas de ellas para hacer frente a las mareas negras; para la descontaminación de acuíferos contaminados se realiza un bombeo del agua contaminada y la inyección simultánea de agua limpia.

Las medidas preventivas, en cambio, tienen como objetivo evitar que la contaminación se produzca. La principal medida es la construcción de depuradoras para que cada localidad o industria descontamine sus aguas residuales antes de verterlas a los ríos o al mar. También son medidas preventivas las siguientes:

- Protección de los acuíferos estableciendo un perímetro en el que se impidan actividades contaminantes.
- El uso racional de pesticidas, herbicidas y nitratos en la agricultura.
- Utilización de productos de limpieza biodegradables.
- La construcción de barreras filtrantes en acuíferos poco profundos.
- El desvío de la escorrentía superficial alejándola de las fuentes de contaminación.
- El establecimiento de un sistema de sanciones y multas que disuadan a los posibles infractores de realizar vertidos ilegales.

**Depuración (autodepuración, depuradoras y potabilizadoras).**

Las corrientes fluviales son capaces de recuperarse rápidamente a partir de algunas formas de contaminación. Lo hacen mediante sedimentación de partículas y procesos químicos y biológicos que producen la degradación de la materia orgánica existente para su conversión en materia inorgánica que servirá como nutriente a las algas, aumentando su actividad fotosintética y enriqueciendo de oxígeno el agua. Con ello se elimina la materia extraña del agua y se restablece el equilibrio natural.

Cuando a un río llegan grandes cantidades de aguas residuales los procesos de autodepuración no son suficientes y el río se convierte en una cloaca. Para evitarlo, existen sistemas de tratamiento de las aguas residuales, que eliminan la mayor parte de los contaminantes antes de verterlas al río o al mar. El tipo de tratamiento a que debe someterse el agua depende del tipo y del grado de contaminación que contiene, de la capacidad de dispersión en el medio receptor, de la calidad y fragilidad de éste y de la función que se dará al agua resultante.

En pequeños núcleos de población con pocos recursos económicos interesan los sistemas de depuración que supongan poco gasto de instalación y de mantenimiento. Estos sistemas se denominan “tecnologías blandas” pretenden favorecer los procesos de autodepuración sin necesidad de aporte energético y sin mecanismos sofisticados que requieran la presencia permanente de especialistas. Destacamos dos tratamientos:

- Lagunaje. Consiste en colocar las aguas residuales en lagunas artificiales, poco profundas, y dejarlas allí durante meses dando tiempo a la sedimentación de materiales sólidos y a la degradación de la materia orgánica.
- Filtros verdes. Se trata de terrenos en los que se plantan chopos o carrizos y sobre los que se realiza el vertido de aguas residuales. La depuración es realizada en el suelo por procesos físicos, químicos y biológicos en los que intervienen los microorganismos del suelo.

La mayoría de nuestros pueblos y ciudades cuentan con, al menos, una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) en la que se emplean “tecnologías duras”. Manejan mayores volúmenes de aguas y el proceso de depuración está acelerado artificialmente. Las EDAR pueden tener hasta cuatro niveles de tratamiento del agua:

- a) Pretratamiento. El pretratamiento incluye desbaste, desarenado y desengrasado. El desbaste consiste en eliminar los sólidos gruesos de gran tamaño (trapos, palos, plásticos, etc.) mediante un sistema de rejas y tamices. El desarenado se realiza en unos canales por los que circula el agua tan lentamente que la arena se deposita en su fondo. Finalmente, el desengrasado se realiza en unos recipientes en los que las grasas, por flotación, se separan del agua; el agua sin grasas sale por un orificio situado en la parte inferior del recipiente.
- b) Tratamiento primario. El tratamiento primario tiene como principal misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento. Se realiza en una especie de piscinas llamadas decantadores primarios; en ellas se separan por gravedad las partículas o sólidos en suspensión de mayor densidad. En los decantadores primarios se elimina un 60% de los sólidos en suspensión y un 30% de la materia orgánica. Los fangos decantados se evacúan de forma periódica para ser tratados posteriormente.
- c) Tratamiento secundario. También se llama tratamiento biológico, porque en él participan microorganismos vivos. Sirve para eliminar las sustancias orgánicas por la acción de organismos aerobios, como sucede de forma natural en los ríos. Para ello se utilizan bacterias que crecen en un depósito agitado y aireado en el que se vierte el agua por depurar. Después de un tiempo, se envía esa mezcla a un decantador secundario, en el cual se separan del agua, por sedimentación, los fangos o lodos. Con este proceso se elimina entre un 85% y un 90% de la DBO.
- d) Tratamiento terciario. Los procesos anteriores se dan en todas las EDAR pero los tratamientos terciario y cuaternario son optativos. Los tratamientos terciarios o avanzados, tienen la finalidad de eliminar ciertos contaminantes específicos que permanecen después de un tratamiento secundario, como son los metales pesados, el fósforo, el nitrógeno, los isótopos radiactivos y otras sustancias inorgánicas. Son tratamientos sofisticados y muy costosos tanto por su construcción como por su operación y mantenimiento, por lo que solo se utilizan cuando los vertidos presentan determinadas

concentraciones de las citadas sustancias.

- e) Desinfección. La desinfección tiene como objetivo eliminar bacterias patógenas. Se puede llevar a cabo mediante radiación ultravioleta, ozonización o cloración. Éste último procedimiento, que consiste en añadir un compuesto de cloro al agua, es el más utilizado.

Hemos descrito la línea del agua, es decir el recorrido que hace el agua en una EDAR para finalmente salir depurada pero, a lo largo del proceso, se van acumulando unos fangos o lodos que también requieren tratamiento. La línea de lodos se inicia en los decantadores primarios y secundarios en cuyo fondo se acumulan. A partir de ahí sufren estos procesos:

- Concentración en espesadores. Su finalidad es reducir el volumen de los lodos eliminando la mayor parte del agua que contienen.
- Destrucción de la materia orgánica dentro de digestores anaerobios, con producción de biogás (metano y CO<sub>2</sub>).
- Deshidratación o eliminación del agua que todavía contienen los lodos.
- Evacuación y traslado a vertederos, o sufrir procesos de incineración o fabricación de compost para su uso en agricultura.

Si el agua está destinada al consumo humano las exigencias de calidad son mucho mayores: no puede haber microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas, el color, el sabor y el olor han de ser agradables, etc. Esto se consigue con la potabilización, que se realiza en las ETAP (Estaciones de Tratamiento de Agua Potable), e incluye los siguientes procesos:

- Eliminación de partículas por decantación.
- Tratamientos químicos para favorecer los agregados de partículas y su precipitación.
- Desinfección utilizando cloro, ozono o radiaciones ultravioleta.
- “Tratamientos de afiné” como la neutralización, que reduce la acidez del agua empleando reactivos, o el ablandamiento, para reducir la dureza del agua y evitar las deposiciones calcáreas en las tuberías.

**PREGUNTAS DE LA P.AU. SOBRE HIDROSFERA.****PREGUNTAS-TEMA.**

1. El ciclo del agua. Distribución del agua en la Tierra. Balance hídrico general.
2. Las aguas subterráneas: acuíferos, nivel freático, manantial.
3. La contaminación de las aguas subterráneas. Sobreexplotación y salinización de acuíferos.
4. La contaminación de las aguas continentales superficiales. Eutrofización. Medidas preventivas de la contaminación de las aguas.
5. Contaminación de las aguas marinas y continentales. Eutrofización. Medidas preventivas de la contaminación de las aguas.
6. Contaminación de las aguas continentales. Medidas correctoras.
7. La contaminación de las aguas marinas y sus efectos. Medidas preventivas y correctoras.

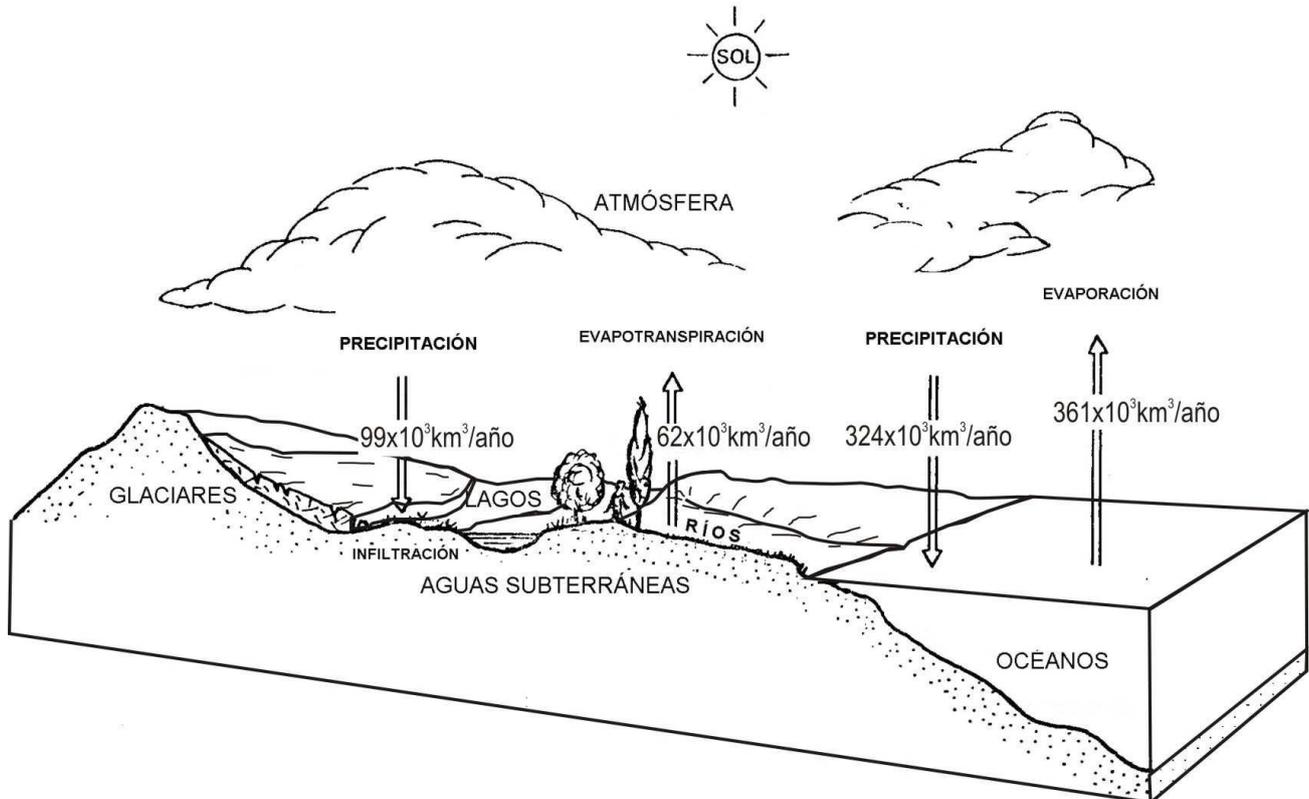
**PREGUNTAS BREVES.**

1. ¿Qué es la evapotranspiración?
2. ¿Cómo afectaría la deforestación masiva a los procesos del ciclo del agua?
3. Cuando efectuamos el balance hídrico en un determinado lugar decimos que la precipitación es igual a la suma de tres parámetros. ¿Cuáles son esos parámetros?
4. Cite los tres parámetros en los que se reparte la precipitación en el balance hídrico.
5. Explique qué se entiende por “acuífero”.
6. ¿Qué es un acuífero? Tipos básicos de acuíferos.
7. ¿A qué se denomina escorrentía?
8. ¿Qué relaciones existen entre escorrentía e infiltración del agua en una zona determinada? Razone la respuesta.
9. Defina el concepto de “nivel freático” de un terreno.
10. La permeabilidad de una roca con gran cantidad de huecos no comunicados entre sí, ¿será alta o baja? Justifique la respuesta.
11. Defina el concepto de cuenca hidrográfica.
12. Cite las etapas del proceso de eutrofización de las aguas y sus consecuencias.
13. Consecuencias de la eutrofización.
14. Ventajas e inconvenientes de la construcción de embalses.
15. Ventajas e inconvenientes de los trasvases entre cuencas hidrográficas
16. Indique al menos tres ventajas y tres inconvenientes que presenta la energía hidroeléctrica sobre otras fuentes de energía.
17. Señale las principales ventajas e inconvenientes que representa la energía hidroeléctrica sobre otras fuentes de energía no renovables.
18. A qué se denomina termoclina. ¿Qué importancia tiene?
19. ¿A qué se denomina zona fótica en los mares y lagos? ¿Dónde suelen localizarse los afloramientos de nutrientes en las áreas marinas? Explique las causas.
20. Explique brevemente qué son las mareas y sus causas.
21. Explique brevemente qué son las olas y sus causas.
22. Defina uso consuntivo y no consuntivo del agua. Ejemplos
23. ¿Por qué las aguas marinas próximas a la costa del Sáhara son ricas en recursos pesqueros?
24. Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas.
25. ¿Qué impactos se pueden derivar de la sobreexplotación de las aguas subterráneas en las zonas próximas a la costa?
26. ¿Qué consecuencias se derivan de la sobreexplotación de aguas subterráneas en zonas próximas a la costa?
27. Cite tres causas que provoquen contaminación de las aguas marinas.
28. Principales medidas para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

29. ¿En qué condiciones se produce la salinización de un acuífero?
30. ¿Qué problemas podemos esperar de la explotación de un acuífero costero?
31. ¿Pondría un vertedero en una región cárstica? Justifique la respuesta.
32. ¿Qué efectos produce el vertido de petróleo al mar?
33. ¿Qué es la capacidad de autodepuración de un río?

### PREGUNTAS DE APLICACIÓN.

1. En la figura adjunta se representa esquemáticamente el ciclo del agua, así como los volúmenes de agua que se intercambian anualmente. A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- a. ¿Existe equilibrio en el balance anual? ¿Qué procesos principales no están cuantificados en la figura? ¿Con ellos se completaría el ciclo del agua? Una vez completado el balance, ¿se produce un incremento progresivo del nivel del mar debido a los aportes de escorrentía continental?
- b. ¿Existe relación entre el volumen de agua en los océanos y el volumen retenido en forma de hielo en los glaciares?
- c. ¿Cuáles son las consecuencias de las variaciones del nivel del mar sobre la población humana?

2. En la tabla adjunta se presentan datos sobre las reservas y las extracciones de agua subterránea de dos acuíferos, el del Campo de Dalías (Almería) y el de Bedmar-Jódar (Jaén). A partir de estos datos responda a las siguientes cuestiones:

ACUÍFERO	RESERVAS	RECARGA ANUAL	EXTRACCIÓN ANUAL
Campo de Dalías	800 Hm <sup>3</sup>	160 Hm <sup>3</sup>	215 Hm <sup>3</sup>
Bedmar-Jódar	100 Hm <sup>3</sup>	2 Hm <sup>3</sup>	3 Hm <sup>3</sup>

- Compare el grado de explotación de cada acuífero. En el caso de que considere que alguno de ellos está sobreexplotado, indique el número de años que aproximadamente tardará en agotarse.
- En el supuesto de sobreexplotación, señale posibles riesgos y medidas correctoras.
- Teniendo en cuenta que el acuífero del Campo de Dalías está próximo al mar y el de Bermar-Jódar está en el interior, describa qué riesgos diferentes pueden existir entre ellos.

3. La tabla adjunta muestra algunos datos relativos a las inundaciones por desbordamiento generalizado de los ríos Níger (Nigeria, Golfo de Guinea, África) y Rhin (Alemania y Holanda, Europa), ambos en su curso bajo, en llanuras próximas a su desembocadura en el mar.

PERÍODO: 1920-1990	NÍGER	RHIN
Nº de inundaciones	24	31
Nº total de víctimas	87.000	4.700
Población (en la cuenca del río)	62 millones	77 millones
Renta <i>per capita</i> anual (en US\$)	1.050	22.000

4. La fotografía muestra un arroyo, que tras discurrir por una zona agropecuaria, sus aguas presentan una gran proliferación de algas.

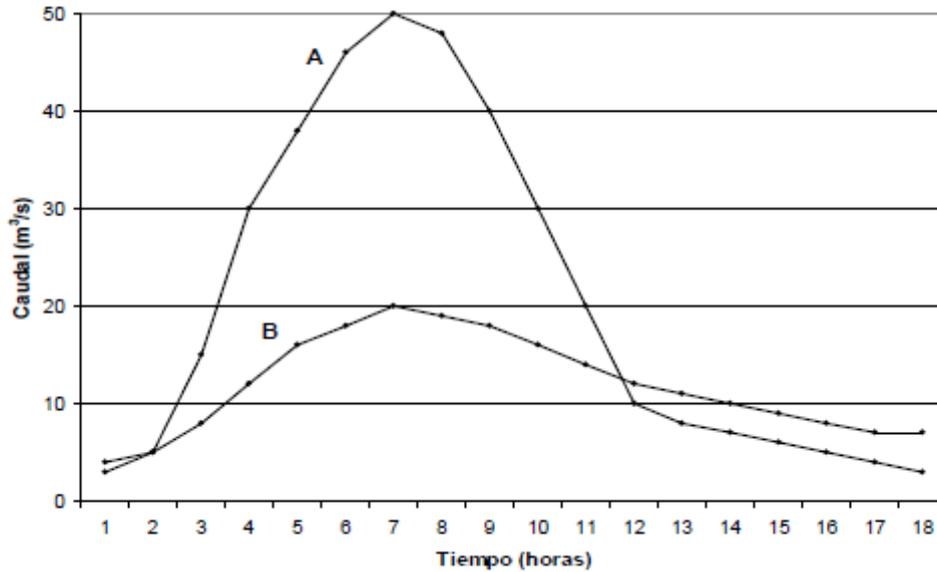


A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

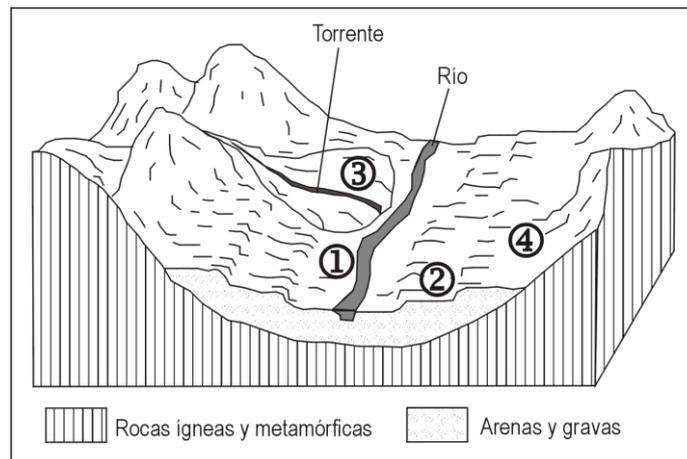
- ¿Qué nombre recibe este proceso? ¿En qué consiste?
- Cite dos causas que puedan originar dicho proceso.
- Mencione dos actuaciones para evitar el desarrollo de este proceso.

5. Los hidrogramas **A** y **B** se han obtenido en el mismo punto de un cauce y bajo un régimen de lluvias similar, aunque el **A** unos años antes que el **B**. En relación con ellos, responda a las siguientes cuestiones:

- Comente brevemente la respuesta del río en cada caso.
- ¿Qué actuaciones se han podido desarrollar sobre la cuenca que expliquen el distinto comportamiento del río?
- ¿Qué consecuencias ambientales (favorables o desfavorables) han podido derivarse de las actuaciones sobre la cuenca hidrográfica?

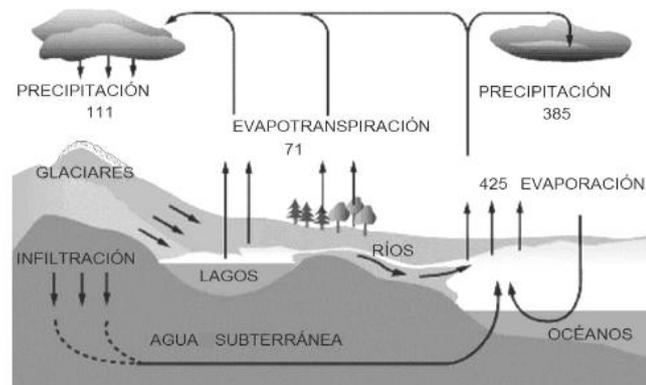


6. A partir del diagrama adjunto, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- ¿Qué procesos geológicos externos tienen lugar en la región mostrada en el diagrama anterior?
- Los lugares marcados con 1, 2, 3 y 4 son áreas donde se quiere montar un camping. ¿Cuáles son los riesgos geológicos ligados a la dinámica externa que podrían tener lugar en cada uno de ellos?
- Para cada uno de los riesgos geológicos enumerados en el apartado anterior, cite al menos dos medidas de prevención para contrarrestarlos.

8. En la figura adjunta se representa esquemáticamente el ciclo del agua, así como los volúmenes anuales de agua (expresados en miles de  $\text{km}^3/\text{año}$ ) que se intercambian anualmente. A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- ¿Existe equilibrio en el balance anual? ¿Qué procesos no están cuantificados en la figura? ¿Con ellos se completaría el ciclo del agua? De acuerdo con ese balance completado, ¿se produce un incremento progresivo del nivel del mar debido a los aportes de escorrentía continental?
- ¿Existe relación entre el volumen de agua en los océanos y el volumen retenido en forma de hielo en los glaciares?
- ¿Cuáles son las consecuencias de las variaciones del nivel del mar sobre la población humana?

9. La fotografía adjunta es de una central eléctrica existente en el estuario del río Rance, localizado en la región de Bretaña (Francia). A partir de su observación, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- En el momento que representa la imagen ¿cómo se está obteniendo energía eléctrica en esta central?
- Nombre el tipo de energía que se obtiene en esta central y califíquela como renovable o no renovable. Justifique la respuesta.
- Razone cómo contribuye al efecto invernadero la forma de obtener energía eléctrica en esta central.

# **V. BIOSFERA.**

## **1. EL ECOSISTEMA.**

La palabra ecología es de uso frecuente en el lenguaje popular, sin embargo no siempre se utiliza con precisión. En sentido estricto, la ecología es una ciencia que estudia las interacciones entre los organismos y su medio ambiente; también se puede definir como la ciencia que estudia los ecosistemas. ¿Y qué es un ecosistema? Es un conjunto de individuos de muchas especies, en el seno de un ambiente de características definidas e implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste y regulación.

Otra definición clásica dice que ecosistema es la biocenosis (todos los organismos vivos del medio) más el biotopo (el ambiente físico y químico en el que viven). No se debe confundir biocenosis con población. Una población es un conjunto de individuos de la misma especie que comparten un mismo espacio; la biocenosis es el conjunto de poblaciones.

A la definición anterior de ecosistema le falta algo importante: insistir en las interrelaciones, tanto en las relaciones entre seres vivos como en las relaciones entre éstos y su medio. Los ecosistemas son complejos tanto en su composición como en las interacciones que hay entre ellos. Pero un ecosistema no es algo caótico, posee una estructura, una organización y una gran capacidad de autorregulación que le permite soportar cambios ambientales.

Cuando hablamos del medio ambiente de un organismo nos referimos a todo lo que rodea y que comprende factores abióticos y factores bióticos. Los factores abióticos son aquellas características del medio como la temperatura, la salinidad, la presión, etc. Los factores abióticos son determinantes en la distribución y abundancia de los seres vivos ya que cada especie está adaptada a un ambiente determinado.

En los ecosistemas terrestres los factores abióticos más importantes son los factores edáficos (composición y estructura del suelo) y los factores climáticos (temperatura, humedad, luz). Según el agua que necesiten, por ejemplo, hay especies higrófilas o amantes de la humedad y especies xerófilas, que buscan lugares secos.

En los ecosistemas acuáticos juega un papel fundamental la salinidad: la mayoría de los peces marinos sólo admiten agua salada, otros son exclusivos de aguas dulces e incluso los hay especializados en aguas salobres. En las aguas continentales también es importante la disponibilidad de oxígeno que es menor en las aguas estancadas que en las aguas corrientes. En las aguas marinas destacamos el papel de la luz: en las regiones profundas no penetra la luz solar lo que limita enormemente la vida.

Para un organismo concreto los factores bióticos son los demás organismos con los que interactúa, ya sean de su misma especie como de otras. Las relaciones con los de la misma especie o intraespecíficas pueden ser de competencia, como en los animales territoriales, o de cooperación como la de los animales que se agrupan en familias o en grupos mayores para buscar alimento o por razones reproductivas, defensivas, etc. También hay varios tipos de relaciones interespecíficas, es decir entre organismos de distintas especies: competencia, depredación, parasitismo, mutualismo, comensalismo, etc.

## **2. EL CICLO DE LA MATERIA EN LOS ECOSISTEMAS.**

El reciclaje de los elementos que componen la materia viva se realiza mediante los llamados ciclos de la materia o ciclos biogeoquímicos. Todos los organismos intervienen en ellos, pero son los microorganismos descomponedores los que ofrecen la más importante contribución a los ciclos mediante el proceso de mineralización que realizan. Este proceso consiste en la transformación de los elementos de su forma orgánica a la inorgánica, que es como quedan a disposición de los productores en el suelo y en el agua.

Todos los elementos necesarios para la vida (C, O, N, S y P) se encuentran sometidos en la biosfera a transformaciones cíclicas. En el caso del carbono y del oxígeno la principal reserva está en la atmósfera; su circulación es relativamente cerrada y rápida y no suele haber pérdidas de estos elementos.

El nitrógeno atmosférico no puede ser captado desde la atmósfera por la mayoría de los vegetales y tienen que tomarlo del suelo (en forma de nitratos) donde suele ser escaso; por eso decimos que es un factor biolimitante. También suelen ser biolimitantes el azufre y el fósforo: tienen su principal reserva en la litosfera; los procesos de meteorización liberan lenta, pero continuamente, los elementos presentes en las rocas sedimentarias y los incorporan al suelo. Estos ciclos son mucho más lentos y tienden a estancarse, al incorporarse el elemento a los sedimentos profundos del océano o de lagos profundos, quedando inaccesible para los organismos.

### **2.1. Ciclo del carbono**

Este elemento es abundante en la atmósfera en forma del gas  $\text{CO}_2$ . Los autótrofos lo utilizan directamente en la fotosíntesis para producir glúcidos. El carbono regresa a la atmósfera como  $\text{CO}_2$  por medio de la respiración de los productores, de los consumidores y, sobre todo, de los descomponedores, casi al mismo ritmo con que es retirado de ella. Una cantidad adicional procede de la combustión, accidental o natural, de la madera.

En el suelo, la descomposición de la materia orgánica realizada por bacterias y hongos puede llegar a ser total. En los ambientes acuáticos puede quedar una parte que no se descomponga.

Los restos orgánicos que caen en los fondos acuáticos no pueden ser descompuestos por los descomponedores aerobios, se inicia su descomposición por bacterias anaerobias pero ésta también se detiene cuando se acumulan en exceso los gases liberados por esas bacterias. En estas condiciones se interrumpe el ciclo y los compuestos orgánicos se van acumulando lentamente en el fango. De esta manera se formaron, en ambientes lacustres y pantanosos, los grandes depósitos de carbón a lo largo de la historia de la Tierra. De un modo similar se originaron, en ambientes marinos, los depósitos de petróleo. El carbono queda estancado y aislado de la biosfera. La extracción de combustibles fósiles y su combustión devuelve el carbono a la atmósfera.

En el medio acuático una parte importante de carbono se encuentra disuelta en forma de bicarbonato cálcico. La sobresaturación del agua en este componente origina la precipitación del carbonato cálcico y la formación de un fango calcáreo que, más tarde, dará lugar a rocas calizas. La mayoría de las calizas tienen un origen bioquímico: muchos organismos acuáticos extraen carbonato cálcico del agua y construyen con él sus partes duras; cuando muera, sus restos se acumularán y darán lugar a calizas que, por metamorfismo, pueden convertirse en mármoles.

En el caso de las calizas y mármoles el carbono queda retenido en la litosfera que actúa como sumidero. Se puede cerrar el ciclo si esas rocas emergen y su meteorización devuelve el CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El carbono también puede retornar a la atmósfera si las rocas carbonatadas se ven afectadas por el vulcanismo.

## **2.2. Ciclo del nitrógeno.**

El nitrógeno es un componente fundamental de los seres vivos que se encuentra sobre todo en las proteínas. En la atmósfera es muy abundante (78%) pero, a diferencia del carbono, las plantas no pueden asimilar el nitrógeno directamente de la atmósfera en forma gaseosa (N<sub>2</sub>). Por esta razón, deben tomarlo del suelo, donde no es abundante, en forma de nitratos.

¿Cómo pasa el nitrógeno de la atmósfera al suelo? Una parte lo hace por medio de las descargas eléctricas de las tormentas y de las reacciones fotoquímicas; el agua de lluvia arrastra este nitrógeno al suelo en forma de amoníaco.

Sin embargo, la mayor cantidad de nitrógeno que llega a los ecosistemas se debe a la fijación biológica. Esta la llevan a cabo tanto microorganismos de vida libre como simbióticos. Entre los fijadores de vida libre se encuentran las algas cianofíceas y algunas bacterias que viven en el suelo, tanto aerobias (*Azotobacter*) como anaerobias (*Clostridium*). Todas ellas toman directamente el nitrógeno del aire y lo utilizan para formar sus aminoácidos.

Los microorganismos fijadores de nitrógeno simbióticos son bacterias exclusivamente terrestres. Las más importantes son las especies del género *Rhizobium*, que se asocian con ciertas leguminosas como tréboles, guisantes o judías. Invaden los pelos radicales de estas plantas, y se multiplican formando unos abultamientos o nódulos, en cuyo interior se realiza la fijación.

Los excrementos y cadáveres aportan amoníaco al suelo que puede ser atacado por bacterias nitrificantes, que liberan nitratos válidos para ser absorbidos por los vegetales. El amoníaco y sus derivados también pueden ser atacados por las bacterias desnitrificantes que liberan nitrógeno molecular a la atmósfera, con lo que se empobrece el suelo pero se cierra el ciclo.

También hay intervenciones humanas en el ciclo del nitrógeno: la industria de fertilizantes que realiza la fijación del nitrógeno atmosférico, el abonado excesivo de los cultivos que provoca una liberación de óxidos de nitrógeno a la atmósfera, los motores de combustión también liberan NO<sub>x</sub> que favorecen el efecto invernadero y la lluvia ácida.

## **2.3. Ciclo del fósforo**

El fósforo (P) y el nitrógeno (N) se encuentran en la tierra en una relación de 1 a 23 y, sin embargo, los organismos deben poseer más cantidad de fósforo que de nitrógeno, sobre todo como componente de los nucleótidos. Por ello, éste es el elemento más importante que puede limitar la producción de la biomasa en los ecosistemas.

El ciclo comienza a partir de los fosfatos disueltos que los productores incorporan a sus células. A través de ellos llega el fósforo a los consumidores. Cuando los organismos mueren, o a partir de sus desechos y excrementos, las bacterias degradan los compuestos orgánicos de fósforo, transformándolos en fosfatos inorgánicos y completando el ciclo.

Las prácticas agrícolas intensivas agotan rápidamente las disponibilidades de fósforo del suelo. En un suelo agrícola de la zona templada, se estima que en 50 años se puede reducir en más de un tercio la cantidad disponible de este elemento.

Gran parte de los fosfatos del suelo son arrastrados por las aguas superficiales y llegan al mar y se acumulan en los fondos marinos que actúan de sumidero, con lo que sale del ciclo. Una pequeña cantidad de fósforo vuelve a la superficie de la Tierra a través del pescado que es ingerido por aves marinas cuyos excrementos se acumulan en las costas (guano).

Al explotarse los yacimientos de fosfato y utilizarse restos de pescado y guano como fertilizantes, se acelera el proceso natural aumentando la cantidad de fósforo en circulación.

### **3. EL FLUJO DE LA ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS.**

Ya hemos visto que la materia se mueve de forma cíclica en el ecosistema; la energía, en cambio, lo hace de forma unidireccional, se degrada en su paso por el ecosistema y no se recupera. La energía solar es captada por los organismos fotosintéticos y almacenada en forma de compuestos orgánicos, la mayor parte se pierde en el mantenimiento, reproducción y respiración de estos organismos y sólo una pequeña parte se transmite a los consumidores primarios que, a su vez, la transmiten a los consumidores secundarios y así sucesivamente hasta que la energía se agota.

Para visualizar de una forma más clara las relaciones alimentarias de los distintos componentes de un ecosistema, los ecólogos construyen tres tipos de modelos: las cadenas tróficas, las redes tróficas y las pirámides tróficas.

Las cadenas tróficas o alimentarias son representaciones lineales en las que cada eslabón es una especie y el eslabón siguiente corresponde a la especie que se alimenta de la anterior.

Las cadenas más populares son las de depredadores: comienzan en los productores, que asimilan los nutrientes minerales del entorno abiótico; siguen con los herbívoros, que se alimentan de ellos y que serán comidos, a su vez por carnívoros, que son presa de otros carnívoros, etc. En general se cumple que los organismos situados en la base de una cadena son relativamente abundantes, mientras que los situados en el extremo están en número mucho menor. Estas cadenas no pueden alargarse demasiado debido a la limitación de espacio del ecosistema; es raro que haya más de cinco eslabones.

Las cadenas de detritófagos o saprobios son un caso especial: comienzan en la materia orgánica muerta, y continúan con diversos eslabones de organismos habitualmente microscópicos. El inicio de la cadena pueden ser detritos procedentes del exterior del ecosistema. Esto ocurre en zonas abisales del océano, en cuevas, o en cimas de altas montañas.

En la naturaleza no existen habitualmente cadenas perfectas sino que un mismo productor puede ser el alimento de varios herbívoros, y éstos ser la presa de diversos carnívoros, que a su vez podrán ser presas de otros. En la realidad se entrelazan diversas cadenas alimentarias, cuyo conjunto constituye una red trófica.

Según se va movilizand la energía a través de una red alimentaría, la mayor parte se va perdiendo en la respiración celular de sus organismos. Del 80 al 90% de la energía que reciben los seres de un determinado nivel trófico la utilizan para mantenerse, crecer y reproducirse. La llamada regla del diez por ciento establece que sólo alrededor del 10% de la energía procedente de un nivel trófico es útil para los organismos del nivel siguiente. Es decir, que la energía total contenida en un nivel trófico es la

décima parte de la que tenía el nivel precedente. Por eso, en las redes tampoco hay más de cuatro o cinco niveles.

Las redes tróficas de un ecosistema presentan tal complejidad en sus interconexiones, que hacen muy complicada su lectura o comprensión y la evaluación del sistema en su conjunto. Para solucionar esto se suele reunir a todos los seres de hábitos alimenticios semejantes en categorías generales: productores, consumidores primarios, consumidores secundarios, etc., y se los representa gráficamente con rectángulos superpuestos. Cada uno de estos corresponde a un nivel, y juntos forman una pirámide escalonada.

En función del parámetro que se haga proporcional a los rectángulos, se distinguen pirámides de números, de biomasa y de energía.

- a) Pirámides de números. Las pirámides de números son aquellas cuyos escalones son proporcionales al número de individuos que se encuentran en el ecosistema. Permiten establecer el número de herbívoros que soportan los autótrofos, el de carnívoros primarios que comen herbívoros, y así sucesivamente. En algunos casos las pirámides de números tienen forma invertida: cuando los productores primarios son muy grandes en relación con los herbívoros.
- b) Pirámides de biomasa. Las pirámides de biomasa son mucho más representativas que las anteriores. Sus distintos escalones corresponden a las biomásas de cada categoría. Su interés estriba en que ponen en evidencia la cantidad de materia viva presente en cada nivel trófico, aportando información sobre la composición y el funcionamiento del ecosistema. En la mayoría de las pirámides de biomasa aparece un ancho rectángulo de productores que soporta al de los consumidores, mucho más estrecho. En ocasiones, pueden darse pirámides invertidas, como las de los ecosistemas marinos donde la biomasa de fitoplancton es menor que la biomasa de zooplancton. ¿Cómo se puede mantener el zooplancton? La explicación es que el fitoplancton se renueva muy rápidamente, puede duplicar su biomasa en un día, y no se agota a pesar de que el zooplancton sea abundante.
- c) Pirámides de energía. Las pirámides de energía, también llamadas pirámides de producción, aportan una idea precisa de los intercambios energéticos en el interior del ecosistema. Cada peldaño de la pirámide es proporcional a la energía utilizada por el nivel en un período de tiempo, normalmente un año. Esto representa la energía que un nivel pone, en una unidad de tiempo, a disposición del nivel trófico superior, es decir, del que vive a sus expensas. En función de la ley del 10%, estas pirámides deben ser forzosamente decrecientes hacia arriba, con una progresiva reducción del flujo energético, dado que cada nivel trófico tiene a su disposición únicamente una fracción del que lo precede, que es del orden del 10%.

#### **4. LA PRODUCCIÓN BIOLÓGICA.**

Para evaluar la rentabilidad de una especie (por ejemplo en agricultura o ganadería) se suelen utilizar una serie de medidas que se conocen como parámetros tróficos. Los parámetros que más se utilizan son la biomasa, la producción, la productividad, el tiempo de renovación y la eficiencia.

La biomasa es la cantidad en peso de materia orgánica viva o muerta de cualquier nivel trófico o de cualquier ecosistema. La biomasa se mide en kilogramos, gramos, miligramos, etc., aunque es frecuente expresarla en unidades de energía: un gramo de materia orgánica equivale a 4 ó 5 kilocalorías. Normalmente, al calcularla hacemos referencia a su cantidad por unidad de área o

volumen, por lo que es frecuente expresarla de este modo:  $\text{gC}/\text{cm}^2$ ,  $\text{kgC}/\text{m}^2$ ,  $\text{tmC}/\text{ha}$ , etc. (C representa la materia orgánica.)

La producción representa la cantidad de energía que fluye por cada nivel trófico; podemos hablar de producción primaria (energía fijada por los productores) y de producción secundaria (energía fijada por los consumidores). Se suele expresar en  $\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ ,  $\text{kcal}/\text{ha} \cdot \text{año}$ , julios o vatios.

Interesa diferenciar la producción bruta de la neta. La producción bruta ( $P_b$ ) es la cantidad de energía asimilada por unidad de tiempo. Si nos referimos a los productores, este concepto representará el total fotosintetizado por día o año; si se trata de la de los consumidores, corresponderá a la cantidad de alimento asimilado del total ingerido. La producción neta ( $P_n$ ) es la energía almacenada en cada nivel que queda disponible para ser transferida al siguiente nivel trófico. Representa el aumento de la biomasa por unidad de tiempo y se obtiene restando de la producción bruta la energía consumida en el proceso respiratorio de automantenimiento  $R$ . Recuerda que  $P_n = P_b - R$ . En general la energía que pasa de un eslabón a otro es aproximadamente el 10% de la acumulada en él.

La productividad es la relación que existe entre la producción y la biomasa. Sirve para indicar la riqueza de un ecosistema o nivel trófico, ya que representa la velocidad con que se renueva la biomasa, por lo que también recibe el nombre de tasa de renovación, y su valor es el cociente  $P_n/B$ .

El cociente inverso,  $B/P_n$ , se denomina tiempo de renovación ya que permite calcular el período que tarda en renovarse un nivel trófico o un sistema. Se puede expresar en días, años, etc. En un pastizal, por ejemplo, el tiempo de permanencia de los elementos es breve y su productividad es alta; en un bosque maduro, en cambio, hay una gran cantidad de biomasa que se mantiene constante por lo que su tiempo de renovación es muy largo y su productividad baja.

La eficiencia representa el rendimiento de un nivel trófico o de un sistema y se calcula mediante el cociente salidas/entradas. La eficiencia de los productores se calcula mediante la relación energía asimilada/energía incidente. La rentabilidad de los consumidores se suele valorar en función de la relación  $P_n/\text{total ingerido}$  o, como acostumbra los ganaderos, engorde/alimento ingerido.

## **5. DINÁMICA DEL ECOSISTEMA.**

### **5.1. Mecanismos de autorregulación.**

#### **a) Tolerancia y factores limitantes.**

Si queremos que los ecosistemas se mantengan en equilibrio las poblaciones se tienen que mantener dentro de unos márgenes. Esto se consigue, en parte, con una serie de condicionantes físicos que ponen freno al crecimiento poblacional; entre ellos destacan la escasez de nutrientes, la luz, la disponibilidad de espacio y los factores climáticos. También contribuyen los desastres naturales como incendios, las olas de calor o de frío o las inundaciones.

Un organismo puede prosperar solamente si tiene disponible todo lo que le es necesario para vivir. Una planta, por ejemplo, puede tener un adecuado suministro de espacio, luz, humedad y nutrientes, pero si le falta un solo mineral esencial, el organismo no sobrevivirá. La ley de los factores limitantes establece que el crecimiento o la supervivencia de una especie están limitados por el recurso menos disponible en el ecosistema, es decir el factor más escaso es el que, con su presencia o ausencia, regula la supervivencia de los organismos y por tanto el tamaño de la población.

Así, por ejemplo, en los climas áridos, el agua es el factor limitante dominante. En las partes centrales de los océanos el plancton es escaso; el factor limitante es la escasez de nutrientes que apenas llegan allí, procedentes de los continentes.

Los factores, tanto si son muy escasos como si son demasiado abundantes, pueden ser perjudiciales (limitantes) para los organismos. La presencia o la actividad vital de los organismos está limitada a un cierto intervalo de valores para cada factor ambiental. Cuando se representa gráficamente el número de individuos de una población, o su nivel de actividad, frente a intensidades variables del factor considerado, se obtiene una curva en forma de campana que se llama curva de tolerancia. La parte central de la campana representa el intervalo de valores del factor abiótico que resulta óptimo para el desarrollo de los organismos, y que coincide con el mayor efectivo de la población. El punto de inflexión se corresponde con el punto óptimo. Los extremos de la curva se corresponden con los límites de tolerancia mínimo y máximo; si se sobrepasan, los organismos mueren.

El intervalo de tolerancia de una especie respecto a un factor del medio se denomina valencia ecológica. También se define como la aptitud de un organismo para poblar medios diferentes. Algunas especies presentan curvas de tolerancia muy estrechas para cierto factor ambiental, recibiendo el calificativo de estenoicos. En concreto, se los llama estenotermos, estenohalinos o estenohigros para indicar su estrecha tolerancia a la temperatura, a la salinidad o a la humedad, respectivamente. Son especies muy exigentes, que necesitan para vivir unas condiciones con límites muy estrechos. Por ello tienen una valencia ecológica pequeña. Suelen ser organismos especialistas, muy bien adaptados a su medio, pero cuando se producen cambios ambientales apenas tienen capacidad de superarlos y sus poblaciones se resienten.

Por el contrario, los organismos que muestran amplios rangos de tolerancia (curvas anchas), esto es, que se acomodan a condiciones con mucha mayor variación, se denominan eurioicos. Referidos a factores concretos, como la temperatura, la salinidad o la humedad, se llaman euritermos, eurihalinos o eurihigros. De ellos se dice que tienen una valencia ecológica de gran amplitud o elevada; son los primeros que aparecen en los ecosistemas más hostiles por los que se les aplica el calificativo de especies pioneras. A estas especies se les puede aplicar el refrán de “quien mucho abarca poco aprieta” ya que pueden vivir en muchos ambientes (generalistas) pero en cuanto aparece un competidor más especializado los desplaza.

La valencia ecológica guarda relación con el concepto de hábitat que es el conjunto de biotopos en los que puede vivir una especie. No se debe confundir con nicho ecológico, un término más amplio que incluye, además de las relaciones con el ambiente, las conexiones tróficas y las funciones ecológicas desempeñadas por una especie.

#### b) Crecimiento de una población: estrategias k y r.

Imaginemos un grupo de individuos de una especie que entra, por vez primera en una isla que le ofrece unas condiciones óptimas para su desarrollo. Es de esperar que la población inicial aumente su número. Sin embargo no todas las especies lo hacen de la misma manera: unas tienen un alto potencial biótico (R), es decir aumentan rápidamente sus efectivos; otras lo hacen más lentamente.

En cualquier caso la población no puede crecer indefinidamente, ni siquiera cuando faltan competidores y depredadores. Llegará un momento en que falte alimento o espacio y los individuos estarán debilitados, enfermarán, se contagiarán infecciones unos a otros, etc. Decimos que esa población ha alcanzado el límite de carga (k), el número máximo de individuos que puede soportar el ecosistema (también se llama capacidad portadora).

Por este motivo las curvas de crecimiento de las poblaciones al final tienden a ser horizontales; el conjunto presenta un trazado en S o sigmoideo, siendo el tramo final horizontal y más o menos coincidente con el límite  $k$ . La forma en que el tamaño de una población se acerca a ese límite nos permite distinguir dos tipos de especies: estrategias de la  $r$  y estrategias de la  $k$ . Los estrategias de la  $r$  aumentan sus poblaciones rápidamente, se aseguran la supervivencia con elevadas tasas de reproducción y el número de descendientes es grande aunque la mortalidad es alta. En cambio, los estrategias de la  $k$ , que viven en medios estables, presentan un desarrollo lento de los individuos pero su mortalidad es menor.

Estrategia de la $r$	Estrategia de la $k$
Desarrollo rápido.	Desarrollo lento.
Vida corta.	Vida larga.
Elevado potencial biótico.	Bajo potencial biótico.
Reproducción temprana.	Reproducción tardía.
Reproducción reiterada.	Reproducción única o pocas veces.
Muchos y pequeños descendientes.	Pocos descendientes y mayor tamaño.
Eurioicos, generalistas.	Estenoicos, especialistas.

Cuando una población, cualquiera que sea la estrategia seguida, alcanza su máximo  $k$  no se mantiene constante sino que oscila en torno al límite de carga, por eso se encuentra en equilibrio dinámico. Las variaciones en el tamaño de la población se llaman fluctuaciones y pueden ser regulares o irregulares. Las fluctuaciones regulares o cíclicas son las que se repiten de forma periódica, como sucede con las debidas a cambios estacionales (migraciones, períodos reproductivos). Las fluctuaciones irregulares se dan de forma esporádica y pueden ser de signo positivo, como cuando un clima benigno favorece a una especie, o de signo negativo como las provocadas por inundaciones, plagas, incendios o la actividad humana que, en algunos casos, provoca la extinción de especies.

### c) Dinámica de comunidades.

Hemos visto como los factores físicos suponen una limitación al crecimiento desenfrenado de una población; también son una limitación las características reproductivas propias de cada especie ( $r$  ó  $k$ ). A eso hay que añadir que las relaciones que se establecen entre los organismos también frenan su crecimiento.

Uno de los mecanismos más importantes que regulan una población es la competencia que se establece entre sus individuos, cuando la densidad es elevada. La competencia por el alimento o el espacio impide el crecimiento de la población. La población se autorregula, mediante la competencia, para mantener una densidad más o menos estable, en equilibrio con las condiciones del medio. Esto le permite persistir en el tiempo.

La territorialidad es un caso extremo de competencia intraespecífica. Un individuo, una pareja o un grupo pequeño escogen un área que luego defienden frente a individuos de su misma especie y la utilizan con exclusividad. Los territorios indican que existe competencia por algún recurso poco abundante, como el alimento. Si el tamaño del territorio ofrece suficiente alimento y el riesgo que representa defenderlo es asumible, el propietario del territorio tiene mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse que los individuos sin territorio. Esto supone un control para la población, pero además, un eficaz mecanismo de selección natural.

Las relaciones interespecíficas, es decir entre especies diferentes, también sirven como mecanismo de regulación del tamaño de las poblaciones. Designando un efecto perjudicial con un signo (-), un efecto

nulo con un cero (0), y un efecto beneficioso con un signo (+), podemos caracterizar las principales interacciones de la siguiente forma:

	Especie A	Especie B	Ejemplos
Competencia	-	-	Lechuza y gineta
Depredación	+	-	Lechuza y ratón
Parasitismo	+	-	Muérdago y olivo
Mutualismo	+	+	Mariposa y planta con flores
Comensalismo	+	0	Tiburón y pez rémora

En todas las relaciones en la que una especie B aparece con el signo (-) sucede que esa especie no puede aumentar su número de individuos por la existencia de la especie A. Pero la limitación no afecta sólo a la especie B, también la A sufre un freno a su crecimiento demográfico. Esto es particularmente evidente en el caso de la interacción predador-presa: un aumento en la población de depredadores provoca al cabo de un tiempo una disminución de presas lo que, a su vez, provoca una disminución de los predadores, entonces volverán a aumentar las presas, poco después los predadores y así sucesivamente. Por eso las especies se regulan mutuamente.

## **5.2. Sucesión de los ecosistemas.**

Cuando un terreno agrícola no se cultiva durante varios años aparecen en él una serie de hierbas y arbustos que le dan un aspecto de maleza. Lo mismo sucede con los solares abandonados que hay en las ciudades. Esto nos demuestra que los ecosistemas cambian a lo largo del tiempo; esta serie de cambios se denomina sucesión ecológica.

El proceso se inicia con una comunidad sencilla y poco exigente que coloniza un territorio sin explotar, poco a poco, a medida que va madurando, se implanta una comunidad más compleja y organizada. El último nivel de complejidad recibe el nombre de comunidad clímax, que representa el grado de máxima madurez, de equilibrio con el medio, al que tienden todos los ecosistemas naturales. En nuestras latitudes la comunidad clímax suele ser un bosque.

Los ecosistemas pueden sufrir un proceso inverso a la sucesión por causas naturales (una erupción volcánica o un cambio climático) o provocadas por el hombre. Este proceso de vuelta atrás, rejuvenecimiento o involución de un ecosistema, se conoce con el nombre de regresión.

Las sucesiones que parten de un terreno virgen, como rocas, dunas o islas volcánicas, se denominan sucesiones primarias; las que tienen su comienzo en los lugares que han sufrido una perturbación anterior que ha sido la causa de una regresión, pero que conservan parcial o totalmente el suelo, reciben el nombre de sucesiones secundarias. Estas últimas suelen ser más cortas que las primarias y su longitud depende del estado de conservación del suelo.

A medida que transcurren las sucesiones, se pueden apreciar una serie de cambios en los ecosistemas:

- La diversidad aumenta. La comunidad clímax presenta una elevada diversidad que implica la existencia de un gran número de especies.
- La estabilidad aumenta. Las relaciones entre las especies que integran la biocenosis son muy fuertes, existiendo múltiples circuitos y realimentaciones que contribuyen a la estabilidad del sistema.

- Cambio de unas especies por otras. Las especies pioneras u oportunistas colonizan, de forma temporal, los territorios no explotados. Se pasa de forma gradual de las especies r estrategias, adaptadas a cualquier ambiente, a especies k estrategias, más exigentes y especialistas.
- Aumento en el número de nichos. Este incremento es debido a que cuando se establecen relaciones de competencia, las especies r son expulsadas por las k, que ocupan sus nichos. El resultado final es una especie para cada nicho y un aumento en el número total de ellos.
- Disminuye la productividad: la comunidad clímax es el estado de máxima biomasa y mínima tasa de renovación.

Si se piensa en la comunidad clímax de un ecosistema, la selva tropical es su máximo exponente: tiene una gran diversidad y biomasa y es un ecosistema prácticamente cerrado, pues la materia se recicla con suma rapidez, debido a la acción eficaz de los descomponedores.

El ser humano, al explotar los ecosistemas, ha sobrestimado la capacidad de autorregulación de los mismos provocando regresiones importantes mediante talas, incendios, utilización agrícola, explotación silvícola, pastoreo, ocupación urbana e industrial, contaminación, introducción de especies nuevas, etc.

## **6. RECURSOS DE LA BIOSFERA.**

### **6.1. Recursos alimentarios.**

En época prehistórica los humanos eran cazadores y recolectores; la búsqueda del alimento obligaba a una vida nómada. La domesticación de animales y de plantas permitió tener una fuente de alimentos estable; al tiempo que surgían la ganadería y la agricultura aparecieron también los primeros asentamientos estables. Este conjunto de cambios, iniciado hace 10.000 años, se conoce como revolución neolítica y, desde entonces nuestros alimentos proceden básicamente de la agricultura, la ganadería y la pesca.

#### **a) Agricultura.**

La agricultura es el conjunto de actividades humanas dirigidas a transformar el medio natural para favorecer el crecimiento de las plantas necesarias para el consumo humano. Las especies más cultivadas son el trigo, el arroz y el maíz. También se cultiva con fines distintos a los alimenticios; así hay plantas forrajeras como la alfalfa, plantas textiles como el algodón, plantas medicinales, plantas aromáticas, etc.

A mediados del siglo XX se produjo la revolución verde, nombre con que se conoce al desarrollo de fertilizantes, plaguicidas y una serie de innovaciones que permitieron multiplicar la producción agrícola (aunque no consiguió reducir el hambre en el mundo). Desde entonces se está generalizando la agricultura intensiva caracterizada porque se dedican grandes extensiones, generalmente en zonas llanas, al monocultivo buscando el máximo rendimiento mediante el uso de fertilizantes, plaguicidas, selección de semillas, mecanización intensa, etc.

Sin embargo, las nuevas técnicas agrícolas también tienen sus inconvenientes. Los setos, que antiguamente demarcaban las pequeñas parcelas y que eran refugio de vida silvestre, han desaparecido. Las tierras desnudas, roturadas por los tractores, sufren una importante erosión y su cultivo continuo, sin descanso, deja a las tierras sin nutrientes. El uso abusivo de insecticidas, herbicidas y fertilizantes provoca problemas de salud en los consumidores, hace que las aguas superficiales sufran eutrofización y que se contaminen aguas subterráneas; además, la proliferación de los cultivos de regadío en

antiguas zonas de secano provoca el agotamiento de los acuíferos. La selección de semillas realizada por unas pocas multinacionales está acabando con la variabilidad genética de muchas regiones al tiempo que implica que los agricultores dependan de los diseños de esas multinacionales.

Es preciso asegurar que nuestras tierras de cultivo sigan alimentando a las generaciones futuras. Los ingenieros agrónomos defienden la agricultura de conservación, una serie de prácticas agrícolas que pretenden evitar la erosión de los suelos limitando el arado excesivo, entre otras medidas. El agotamiento de los nutrientes del suelo se puede evitar con la rotación de cultivos y con el abonado natural; así se hacía en las explotaciones tradicionales donde la agricultura y la ganadería estaban íntimamente unidas. Simultáneamente hay que evitar la sobreexplotación de acuíferos. Se debe fomentar el uso de las semillas y especies autóctonas de cada región como las más adaptadas a esa región; en todo caso se deberían constituir bancos de semillas y de material genético en cada región y evitar la dependencia exterior.

Muchas de estas prácticas se engloban bajo la denominación de agricultura ecológica que podemos definir como sistema de gestión de la explotación agraria que implica grandes restricciones en el empleo de fertilizantes y plaguicidas para obtener productos agrícolas de calidad sin que contengan residuos químicos, respetando el medio ambiente.

#### b) Ganadería.

Ganadería es el conjunto de actividades de crianza y mantenimiento de animales útiles a la especie humana porque proporcionan carne, huevos, leche, lana... Se acostumbra a distinguir el ganado mayor (vacas, cerdos, ovejas, cabras) del ganado menor (conejos y aves de corral).

Al igual que en la agricultura, se puede distinguir una ganadería extensiva y una ganadería intensiva. La primera es la ganadería tradicional o de pastoreo, caracterizada porque los animales están sueltos en amplias extensiones, normalmente terrenos esteparios vacíos.

La ganadería intensiva consigue una mayor productividad mediante la estabulación del ganado al que se alimenta continuamente con piensos preparados expresamente. Esto implica que muchas tierras de cultivo se destinen a plantas forrajeras y no a plantas que pueden alimentarnos directamente, lo cual sería ecológicamente más eficiente (regla del 10%) y moralmente más justo.

La ganadería industrial o intensiva busca las razas de mayor productividad, aunque la carne no sea de más calidad, por lo que se crían, por ejemplo, los mismos tipos de vacas en lugares muy diferentes del planeta. De nuevo se pierde variabilidad genética.

Otro problema de las grandes explotaciones ganaderas es la acumulación de estiércol que puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas si no se depuran convenientemente. Recuérdese que en las explotaciones tradicionales los excrementos no son un problema sino un abono muy valorado.

#### c) Pesca.

La pesca es el conjunto de actividades humanas encaminadas a capturar animales acuáticos: peces de los fondos como bacalao, raya y lenguado, peces de las aguas superficiales como sardina, boquerón, atún, salmón y caballa; moluscos como el calamar, el pulpo, las almejas y los mejillones; crustáceos como las gambas, los cangrejos, etc. No todas las capturas se destinan a nuestra alimentación, una buena parte se dedican a la fabricación de piensos y abonos.

Se reconocen tres tipos de pesca: recolección a pie, en zonas descubiertas durante la bajamar, denominada frecuentemente marisqueo ya que los principales animales capturados son los moluscos;

pesca de bajura, realizada en barco cerca de la costa, y pesca de altura, también en barco pero lejos de la costa.

El principal problema de la pesca es el agotamiento de los recursos: se pesca a un ritmo superior a la tasa de renovación. La presión de los pescadores (y de los que comemos pescado) ha llevado a algunas especies al borde de la extinción. Las artes de pesca modernas son muy eficaces pero han aumentado el número de capturas involuntarias de inmaduros, tortugas, delfines, etc. En otros casos la reducción de vida en los caladeros no se debe a la presión pesquera sino a la degradación y contaminación de los ecosistemas costeros.

Parte del problema se puede resolver con una normativa pesquera que establezca dónde, cuándo, cuánto y cómo. “Dónde” porque hay áreas especialmente vulnerables que deben ser protegidas. “Cuándo” porque es necesario establecer vedas o períodos en los que esté prohibido pescar especies que se están reproduciendo; también porque son necesarias paradas biológicas, que pueden durar años, durante las cuales no se pueden pescar algunas especies para que se puedan recuperar poblaciones en peligro de extinción. “Cuánto” porque hay que determinar para cada especie su cuota pesquera, cantidad máxima que puede pescar cada país. Finalmente hay que establecer “cómo” ya que no todas las artes de pesca son válidas en todas las circunstancias; las redes de arrastre de fondo, por ejemplo, perjudican a todas las formas de vida que habitan los fondos marinos, incluidas las que no tienen interés pesquero.

El problema del agotamiento de los recursos pesqueros encuentra también solución en la acuicultura. Se entiende por acuicultura la cría más o menos intensiva de especies acuáticas (peces, crustáceos o moluscos). Podemos decir que la acuicultura es a la pesca lo que la ganadería es a la caza. En la acuicultura de agua dulce destaca la producción de truchas. En la acuicultura marina son tradicionales los cultivos de ostras, mejillones, langostinos, gambas, doradas, lenguados, anguilas...

## **6.2. Recursos forestales.**

Los bosques aportan muchos beneficios directos a la humanidad: la madera que utilizamos como materia prima en la construcción de múltiples muebles y objetos de nuestras casas; la leña y el carbón vegetal que se usan como combustibles; la celulosa necesaria para fabricar el papel; el corcho, la resina, los piñones, las plantas aromáticas, las plantas medicinales... Sin los bosques se verían muy limitadas actividades como la caza, la pesca, la apicultura, la recolección de setas, el senderismo y las actividades de ocio en la naturaleza.

Además, los bosques son beneficiosos para nosotros de una forma indirecta, porque influyen en el medio ambiente que nos rodea. Así, debemos agradecer a los bosques la creación de suelo y su protección frente a la erosión, el control de las inundaciones y el almacenamiento de agua, la producción de oxígeno atmosférico y la reducción del dióxido de carbono, la moderación de los cambios climáticos, el mantenimiento de la biodiversidad, etc.

A pesar de todos estos beneficios, continúan reduciéndose las superficies arboladas, casi siempre por la acción humana que tala los árboles y provoca o favorece los incendios forestales. Una vez producida la deforestación, si no se pone remedio rápidamente, los suelos se erosionan y resulta muy difícil y lenta la recuperación del bosque. A la deforestación se añade otro problema, la sustitución de los árboles autóctonos por árboles foráneos de rápido crecimiento; el caso más llamativo es el del eucalipto, natural de Australia, que ahora ocupa amplias zonas de nuestro país.

Al problema de la deforestación hay que hacer frente con austeridad, reduciendo el consumo de madera, de leña y de papel. Todos estamos de acuerdo en que no se sigan talando árboles en la cuenca

del Amazonas pero las selectas maderas tropicales vienen a Europa y al Primer Mundo donde son demandadas; así pues deberíamos plantearnos nuestra responsabilidad en este problema. En cuanto al papel disponemos de una alternativa sencilla: utilizar papel reciclado para que no haya que talar más árboles que son los que proporcionan la celulosa.

En cualquier caso, siempre habrá que cortar árboles pero hay que compensarlo con campañas de reforestación bien planificadas, de forma que la masa forestal se mantenga. Tenemos que explotar los bosques pero no expoliarlos. Un buen ejemplo de desarrollo sostenible es la gestión de los alcornocales: cada 8-10 años se realiza el descorche dejando tiempo al alcornoque para que se recupere; así se mantiene la masa forestal al tiempo que se obtiene un recurso muy valioso.

### **6.3. Recursos energéticos de la biosfera.**

La biomasa puede contribuir a paliar el déficit energético actual, ya que es renovable, barata, limpia y requiere tecnologías poco complejas. Es proporcionada por una gran diversidad de productos, entre los que se incluyen los forestales (leña, madera o desechos madereros), desechos agrícolas (paja), desechos animales (excrementos procedentes de granjas) y basura (papel, cartón, restos de alimentos).

La leña sigue siendo el combustible básico en muchas zonas del planeta. Su uso abusivo pone en peligro los bosques, por eso, cuando hablamos de “energía de la biomasa” solemos referirnos a aplicaciones novedosas de esa energía. Una de ellas consiste en aprovechar el gas procedente de la descomposición anaerobia de los restos orgánicos en los vertederos de basura y de los lodos en las E.D.A.R.; en ambos casos se genera biogás con un 60 % de metano. Del biogás puede obtenerse electricidad en las centrales térmicas.

Uno de los problemas de las principales energías alternativas (hidráulica, eólica, solar) es que están destinadas a transformarse en energía eléctrica y no pueden sustituir, hoy por hoy, a los combustibles líquidos que mueven nuestros vehículos. Es cierto que existen vehículos eléctricos pero sus prestaciones y autonomía son muy limitadas. Por eso son necesarios nuevos combustibles y, al parecer, los mejores candidatos son los biocombustibles o biocarburantes, es decir los generados a partir de la biomasa. El etanol, por ejemplo, se puede obtener de la fermentación y posterior destilación de cereales, remolacha y caña de azúcar; se ha probado con éxito en motores de explosión una mezcla de etanol con gasolina. De forma parecida se consigue metanol a partir de restos agrícolas. Otra alternativa muy interesante es la de utilizar aceites vegetales en vehículos con motor diesel porque no exige cambios en dichos motores; en Brasil, por ejemplo, está muy extendido el uso del biodiesel.

Los biocombustibles son la gran esperanza ante el agotamiento del petróleo, pero también pueden ser una fuente de conflicto cuando se desvía un producto alimentario, como ha pasado con el maíz, a la generación de combustible. Esto ha hecho que el precio del maíz se haya disparado y que no puedan acceder a él millones de personas en América Latina que lo consumen como alimento básico.

## **7. IMPACTOS SOBRE LA BIOSFERA.**

### **7.1.Causas de la pérdida de biodiversidad.**

Tradicionalmente se ha entendido diversidad biológica como el número de especies de un ecosistema. Ha pasado a ser un término conocido por la opinión pública a partir de la Cumbre de Río de Janeiro (1992) en la que se aprobó el Convenio sobre Diversidad Biológica. En este Convenio se recoge un concepto más amplio de biodiversidad con tres componentes:

- Biodiversidad genética. Sin la gran variabilidad de genes que contienen las poblaciones, las especies serían incapaces de adaptarse al entorno y evolucionar bajo la acción de la selección natural.
- Diversidad de especies. Sin la diversidad de especies, las biocenosis se empobrecerían, se harían más vulnerables a las variaciones ambientales y se verían alterados los flujos de materia y energía en los ecosistemas y la biosfera.
- Diversidad de ecosistemas. Una reducción en la diversidad de ecosistemas, con la desaparición de ambientes (hábitats) que ello implicaría, repercutiría sobre la diversidad global de especies, ya que estas constituyen biocenosis ligadas a biotopos concretos.

La diversidad ha sufrido grandes cambios a lo largo de la historia de la Tierra. En la actualidad, la Tierra presenta la mayor diversidad que ha tenido a lo largo de su historia, tras las cinco grandes extinciones, acaecidas en los momentos finales del Ordovícico, el Devónico, el Pérmico, el Triásico y el Cretácico. El número de especies descritas, esto es, que han recibido un nombre científico, asciende a 1,7 millones. Sin embargo, no se conoce el número real que existe en el planeta. Las estimaciones más modestas las calculan en cuatro millones, aunque hay científicos que piensan que pueden llegar a los treinta o incluso a los cien millones.

Cada año se describen aproximadamente 10.000 especies nuevas. Entre ellas, los insectos representan el 62% de los nuevos especímenes descubiertos, mientras que de mamíferos sólo se descubren de 15 a 20 especies por año (básicamente roedores y murciélagos o pequeños primates sudamericanos), y de aves (el grupo mejor catalogado), únicamente una o dos. Todos estos descubrimientos se hacen fundamentalmente en las regiones tropicales, en los ecosistemas con más biodiversidad: las selvas tropicales y los arrecifes de coral.

España tiene un alto nivel de riqueza biológica, ya que posee el 54% de la biodiversidad europea. España alberga del 80 al 90% del total de plantas superiores y el 65% de los vertebrados presentes en los países de la Unión Europea. Destacan los mamíferos (79%) y las aves (74%). Sin embargo, existen graves problemas de conservación de esta diversidad: son numerosos los endemismos vegetales en peligro de extinción y una cuarta parte de nuestros vertebrados están considerados como especie “en peligro”, “vulnerable” o “rara”.

La actividad humana está provocando la desaparición de muchas especies incluso antes de que sean descritas por los científicos. ¿Es realmente importante conservar la biodiversidad? Es bueno para el equilibrio ecológico: los ecosistemas más ricos en especies presentan una compleja red de interacciones que le dan estabilidad al ecosistema. Además la humanidad puede beneficiarse de la biodiversidad obteniendo materias primas, medicinas, alimentos, etc

A pesar de que la transformación de los ecosistemas y la desaparición de especies son procesos naturales, se constata que las actividades humanas están acelerando la destrucción de hábitats y la extinción de numerosas especies de organismos. Podemos citar las siguientes causas de desaparición de especies en el planeta:

- Degradación y fragmentación de los hábitats.
- Contaminación de la atmósfera, el suelo y las aguas.
- Explotación excesiva de las especies que se manifiesta especialmente en la sobreexplotación pesquera: todavía en el siglo XXI el ser humano se comporta en el mar como un cazador-recolector sin tener en cuenta que los recursos pesqueros también son finitos.
- Introducción de especies exóticas.
- Cambio climático producido por el efecto invernadero.

- Industrialización agrícola y forestal que lleva a los monocultivos intensivos y a un acelerado proceso de deforestación.
- Deforestación. Por su especial relevancia le dedicamos un apartado específico.

### Deforestación.

En la actualidad se está produciendo, a nivel planetario, una degradación y una desaparición alarmante de las formaciones forestales. El 50% de las superficies boscosas ha sido ya talado, mientras que solo un 6% de los bosques existentes gozan de algún tipo de protección. El caso más grave es el de los bosques tropicales (pluviosilvas), que representan el 14% de la superficie emergida del planeta. Estas selvas pierden todos los años el 1% de su superficie total y tienen el problema de que, al no existir apenas materia orgánica en el suelo, debido al rápido reciclaje de la misma, la deforestación masiva conduce a un empobrecimiento total y es difícil la recuperación del bosque.

El motivo principal de la regresión forestal es la sobreexplotación a que están sometidos los bosques del planeta. La demanda de madera y papel aumenta continuamente. Aproximadamente un tercio de la madera producida se destina a la fabricación de papel, principalmente procedente de bosques templados y de plantaciones adecuadas. El mayor problema reside en los países en vías de desarrollo productores de madera, que buscan beneficios a corto plazo con la venta de la madera a los países ricos del Norte. Esta necesidad provoca una desaparición del bosque, derivada de las siguientes causas:

- Las talas a matarrasa, sin posterior repoblación. Esta ha sido la causa de la deforestación en África (y su consecuente desertización) y de la que están sufriendo otras pluviosilvas en la actualidad.
- La transformación de zonas forestales en suelos agrarios o urbanos, junto a las prácticas agrícolas inadecuadas, como son el laboreo excesivo, los monocultivos y la aplicación excesiva de fertilizantes químicos y plaguicidas, que contaminan el terreno y las aguas.
- El impacto de otros sectores industriales, como la minería y la agroindustria.
- Las técnicas forestales inadecuadas. Algunas de ellas son: la excesiva repoblación con especies no autóctonas de crecimiento rápido, que no se adaptan y esquilmán el suelo; la sustitución del bosque por vegetación no forestal; la apertura de pistas forestales en terrenos con alto riesgo de erosión, lo que produce acarcavamientos y desaparición de la cubierta vegetal; el excesivo desbroce del sotobosque; el uso de maquinaria pesada y vehículos todoterreno en el interior de los bosques, que descarnan el suelo o lo compactan; la contaminación atmosférica, sobre todo la lluvia ácida.

Mención especial merecen los incendios forestales. Los incendios producen dos tipos de impactos: unos económicos (pérdida de madera, corcho...) y otros de alteración y rotura del equilibrio ecológico (destrucción de la cubierta vegetal, degradación del suelo y contaminación de los recursos hídricos).

En los terrenos deforestados por los incendios es mayor el impacto directo de la lluvia sobre el suelo, que ha perdido su efecto regulador sobre las aguas de arroyada. Por eso se producen los fenómenos de erosión con lo que se dificulta la implantación de una nueva cubierta vegetal; en algunos casos esta situación puede conducir a la desertización. La erosión de suelos tiene otro efecto perjudicial: la colmatación de los embalses que pierden capacidad de almacenar agua.

### **7.1.Medidas para conservar la biodiversidad.**

Las actividades humanas son responsables en más de un 99% de la extinción de especies, y a una velocidad mucho mayor que la constatada en el registro fósil. Como medidas más urgentes para atajar

este problema podemos citar la protección de áreas geográficas donde se encuentran las especies en peligro, así como la creación de bancos de genes y semillas que garanticen su supervivencia. Pero también son necesarias soluciones a largo plazo: teniendo en cuenta que los mayores responsables de pérdida de biodiversidad son la deforestación y el cambio climático, urge un cambio profundo en nuestra sociedad, reduciendo los niveles de consumo y el uso de los combustibles fósiles.

Para evitar o reducir los daños de los incendios forestales, todos los países mediterráneos han puesto en marcha tres tipos de medidas:

- **Prevención.** Información y educación a los ciudadanos con el fin de evitar los incendios accidentales. Toma de medidas legales, que implican la aplicación de penas apropiadas para castigar a los incendiarios. Desarrollo de una gestión forestal que reduzca la cantidad de materia inflamable en los ecosistemas y propicie la creación de cortafuegos.
- **Predicción y detección.** Desarrollo de métodos de predicción de las zonas de alto riesgo de incendios y establecimiento de redes de vigilancia.
- **Extinción.** Existencia de medios técnicos y personal capacitado y en número suficiente para actuar desde el aire o por tierra, con rapidez y eficacia.

## **PREGUNTAS DE LA P.A.U. SOBRE BIOSFERA.**

### **PREGUNTAS-TEMA.**

1. Recursos de la biosfera: recursos alimentarios. Agricultura, ganadería y pesca.
2. Los recursos de la Biosfera: alimenticios y fósiles.
3. La deforestación: causas principales y consecuencias.
4. La producción biológica. Producción primaria y secundaria. Productividad y tiempo de renovación.
5. El ecosistema. Concepto de ecosistema. Biotopo y biocenosis. Factores abióticos y bióticos. Biodiversidad.
6. El flujo de la energía en los ecosistemas. Estructura trófica de los ecosistemas: cadenas y redes tróficas. Flujo de energía entre niveles tróficos. Pirámides de energía.
7. La biomasa. Producción primaria y secundaria.
8. Biodiversidad. Concepto, importancia y causas que explican la pérdida progresiva de biodiversidad.
9. Biodiversidad: concepto, causas y consecuencias de su variación.
10. La pérdida de la biodiversidad: causas y efectos.
11. Mecanismos de autorregulación del ecosistema.
12. Concepto de ecosistema. Estructura trófica: cadenas y redes tróficas.

### **PREGUNTAS BREVES.**

1. Defina el concepto de ecosistema.
2. Cite dos tipos de relaciones interespecíficas en las que exista mutuo beneficio de las especies relacionadas y otros dos en las que una salga perjudicada y la otra beneficiada.
3. Cite dos ejemplos de relaciones intraespecíficas desfavorables.
4. Cite dos tipos de relaciones interespecíficas en que exista mutuo beneficio de las especies relacionadas y otros dos en que una salga perjudicada y otra beneficiada
5. ¿Qué diferencia existe entre el mutualismo y la simbiosis? Ponga un ejemplo de cada caso.
6. Concepto de biodiversidad.
7. ¿Qué es un punto caliente? Cite algún ejemplo
8. Realice un esquema del ciclo biogeoquímico del carbono.

9. ¿Cuál es la principal interferencia de la especie humana en el ciclo biogeoquímico del carbono?
10. Represente un esquema del ciclo biogeoquímico del nitrógeno.
11. En el ciclo del nitrógeno, ¿qué diferencia existe entre los procesos de desnitrificación y de nitrificación?
12. ¿Cómo interviene la especie humana sobre el ciclo del fósforo?
13. Enumere los factores de los que depende la variación del tamaño de una población.
14. Indique las causas de las fluctuaciones en las poblaciones.
15. ¿Qué le puede ocurrir al tamaño de una población si disminuye su tasa de natalidad?
16. ¿Es normal que en el medio natural una población tenga un crecimiento representado con una gráfica en “J” o exponencial? ¿Por qué?
17. ¿Qué efectos para el medio ambiente ha tenido la revolución agrícola que se inició hace 10.000 años?
18. ¿Qué es una cadena trófica? Ponga un ejemplo.
19. ¿Qué es una red trófica? Haga un esquema de un ejemplo sencillo.
20. Defina los niveles tróficos que existen en un ecosistema.
21. ¿Podría existir un ecosistema sin el nivel trófico de los descomponedores? Razone la respuesta.
22. Defina los conceptos de biomasa y producción.
23. ¿Cómo es posible que, para un mismo ecosistema, una pirámide ecológica esté invertida y otra no? Cite algún ejemplo.
24. Indique los niveles tróficos de un ecosistema.
25. Ponga un ejemplo de red trófica en un ecosistema continental.
26. Ponga un ejemplo de red trófica en un ecosistema marino.
27. ¿Por qué las costas marinas próximas a las costas del Sahara son ricas en recursos pesqueros?
28. Enumere los principales factores limitantes abióticos de la producción primaria.
29. ¿Qué diferencia hay entre producción primaria y producción secundaria de un ecosistema?
30. ¿Puede ser mayor la producción primaria que la secundaria en un ecosistema?
31. ¿Es posible que la producción secundaria sea mayor que la primaria en un ecosistema? Razone respuesta.
32. Defina los conceptos de productividad y eficiencia ecológica.
33. Señale, sin explicar, las principales causas de la pérdida global de biodiversidad.
34. Enumere tres medidas para evitar la pérdida de biodiversidad.
35. Principales causas que producen la deforestación.
36. ¿Cuáles son los principales efectos ambientales de la deforestación?
37. ¿Qué son los flujos de energía en el seno de un ecosistema? Razone la respuesta.
38. ¿Qué diferencias hay entre la agricultura tradicional y la intensiva?
39. Problemas que generan el uso de plaguicidas y herbicidas en regiones agrícolas.
40. Cite tres características de la agricultura intensiva.
41. Cite tres características de la agricultura ecológica.
42. ¿Qué diferencias existen entre una especie eurioica y otra estenoica?
43. ¿Cuáles son las características de las especies generalistas o estrategas de la  $r$ ?
44. Concepto de sucesión ecológica.
45. ¿Qué diferencia existe entre una sucesión ecológica primaria y otra secundaria?
46. ¿A qué se denominan zonas de afloramiento en los océanos? ¿Qué importancia tienen para los recursos pesqueros?
47. ¿Son necesarios los descomponedores en un ecosistema? Razone la respuesta.
48. ¿En qué consiste el uso de la biomasa como fuente de energía?
49. Ponga un ejemplo en el que la biomasa se utilice como fuente de energía.

**PREGUNTAS DE APLICACIÓN.**

1- A partir de las noticias de prensa adjuntas, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:

**ZARAGOZA AHORRA PAPEL Y ÁRBOLES**  
 Según una noticia recogida en el diario «Heraldo de Aragón» (2 de abril de 2000), la campaña llevada a cabo en la capital aragonesa pretende que «... cada ciudadano recicle 34 kg de papel al año. De esta forma, cada año, Zaragoza ahorraría 24.000 toneladas de papel en sus vertederos, dejaría de consumir 360.000 metros cúbicos de agua necesarios para la fabricación del papel y dejaría de talar 300.000 árboles.»...

**LOS BOSQUES GALLEGOS ELIMINAN AL AÑO MEDIO MILLÓN DE TONELADAS DE DIÓXIDO DE CARBONO**  
 El diario «La Voz de Galicia» (9 de febrero de 2000) señala que «... en Galicia, el millón de hectáreas de superficie arbolada censada elimina cada año medio millón de toneladas de CO<sub>2</sub>, ya que después del proceso de absorción del carbono liberan al aire oxígeno gaseoso.»...

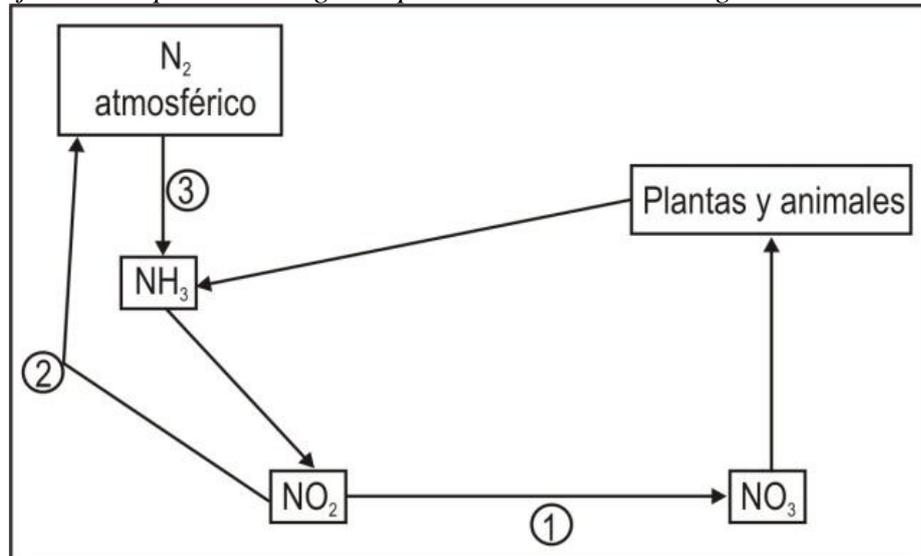
- a) Explique la relación que tienen entre sí ambas noticias. Indique qué influencia tiene el reciclado de papel sobre el efecto invernadero.
- b) Explique esquemáticamente las partes esenciales del ciclo del carbono.
- c) Cite cuatro medidas, diferentes de la mencionada en el texto, para reducir el efecto invernadero.

2- Interprete la gráfica adjunta y responda a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Cómo se denominan este tipo de gráficas? ¿Por qué? ¿Qué nombre reciben los compartimentos que aparecen en la gráfica?
- b) ¿Por qué hay una fuerte disminución de la energía en los compartimentos a medida que éstos están más cercanos a la cúspide?
- c) ¿Dónde va a parar la energía de cada compartimento de la gráfica que no es aprovechada por el siguiente? Razone la respuesta.



3-En el esquema adjunto se representan algunas partes del ciclo del nitrógeno



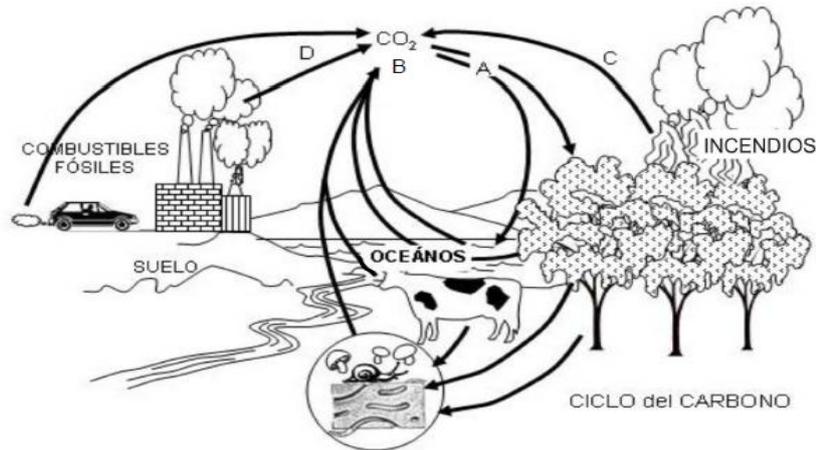
- a) Dibuje en el papel de examen el esquema del ciclo del nitrógeno completo
- b) Nombre los procesos que se representan en el diagrama y explique resumidamente en qué consisten.
- c) Identifique los organismos responsables de dichos procesos.

4- La siguiente tabla muestra los valores medios de biomasa y de producción primaria neta anual de los principales ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres, así como la extensión que ocupan.

Ecosistema	Biomasa (Kg/m <sup>2</sup> )	Poduc. Primaria neta (g/m <sup>2</sup> x año)	Tasa de Renovación PPneta/B	Tiempo de Renovación (años)
Bosque templado	30	1250		
Pradera	2	600		
Pelágico	0,003	125		
Estuario	2	1500		

- a) La producción primaria en el océano abierto (ecosistema pelágico) es muy baja, mientras que en estuarios es muy alta. Explica razonadamente las causas que determinan esta diferencia de producción.
- b) Calcula la productividad primaria (tasa de renovación) del bosque templado y del ecosistema pelágico. Indica como lo haces y que unidades se emplean. Explica el significado de la productividad primaria.
- c) Calcula el tiempo de renovación del bosque templado y de la pradera. Indica las unidades que se utilizan para medir este parámetro y explica su significado.

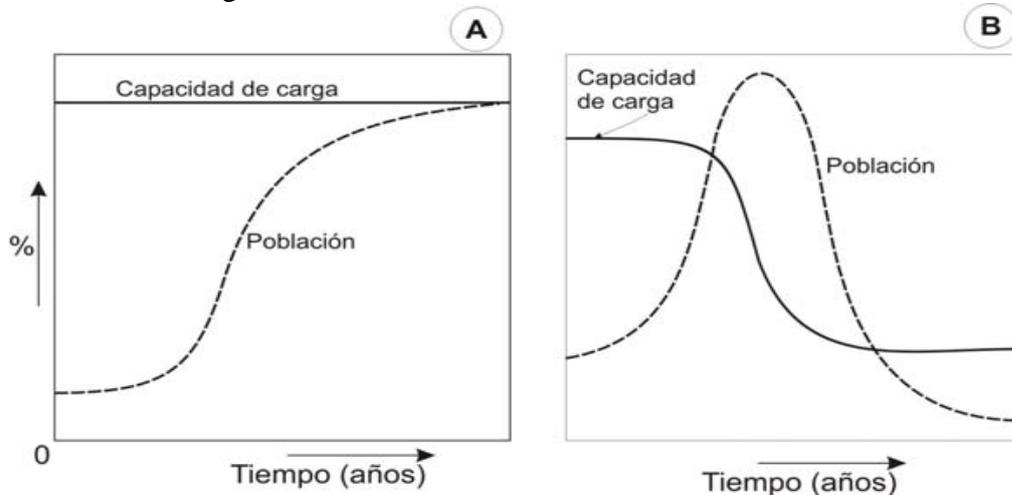
En el dibujo adjunto se representan algunos de los procesos que tienen lugar en el ciclo del carbono.



- Nombre y describa brevemente los procesos señalados con las letras A, B, C y D.
- ¿Qué destino tiene el CO<sub>2</sub> retirado de la atmósfera en el proceso A? ¿Qué papel juegan en ese destino los seres vivos?
- Explique cómo interviene la actividad humana en las velocidades de entrada y salida de carbono de la atmósfera (básele sólo en las representadas en el dibujo). ¿Qué consecuencias tiene esta sobre la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico?

6- En los gráficos **A** y **B** adjuntos se muestran sendos modelos de aproximación de una población a su capacidad de carga o portadora. A partir de la observación de estos diagramas, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:

- Represente gráficamente la relación que normalmente se establecerá entre ambos parámetros con el paso del tiempo
- En la gráfica **B**, ¿cuál sería la causa de la geometría sigmoide de la curva que representa la capacidad de carga?
- ¿Cuáles serían los modelos de desarrollo socioeconómico que explicarían cada una de las gráficas?



A partir de los recortes de prensa adjuntos, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:

#### **ZARAGOZA AHORRA PAPEL Y ÁRBOLES**

Según una noticia recogida en el diario «Heraldo de Aragón» (2 de abril de 2000), la campaña llevada a cabo en la capital aragonesa pretende que «... cada ciudadano recicle 34 kg de papel al año. De esta forma, cada año, Zaragoza ahorraría 24.000 toneladas de papel en sus vertederos, dejaría de consumir 360.000 metros cúbicos de agua necesarios para la fabricación del papel y dejaría de talar 300.000 árboles.»...

#### **LOS BOSQUES GALLEGOS ELIMINAN AL AÑO MEDIO MILLÓN DE TONELADAS DE DIÓXIDO DE CARBONO**

El diario «La Voz de Galicia» (9 de febrero de 2000) señala que «... en Galicia, el millón de hectáreas de superficie arbolada censada elimina cada año medio millón de toneladas de CO<sub>2</sub>, ya que después del proceso de absorción del carbono liberan al aire oxígeno gaseoso.»...

- Explique la relación que guardan entre sí ambas noticias. Indique cómo influye el reciclado de papel sobre el efecto invernadero.
- Explique esquemáticamente las partes esenciales del ciclo del carbono.
- Aparte de la mencionada en el texto, señale cuatro medidas para reducir el efecto invernadero.