

CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIOAMBIENTALES



Pablo Acosta Robles
I.E.S. La Madraza, 2016-17.

I. La humanidad y el medio ambiente.....	2
II. Geosfera	10
III. Atmósfera	61
IV. Hidrosfera
V. Biosfera

LA HUMANIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE

(BLOQUES 1 Y 7 DEL TEMARIO OFICIAL)

1.LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE.

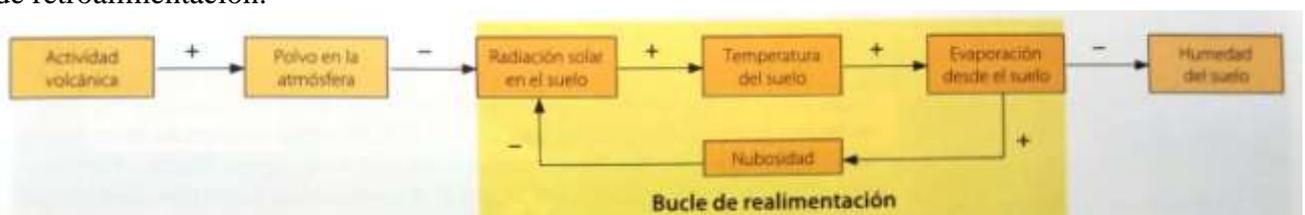
El medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas. Hay que insistir en que los aspectos sociales son una parte muy importante de nuestro medio 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 CO₂ 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. Frecuentemente se utilizan los modelos matemáticos que muestran cómo se relacionan entre sí un número limitado de variables; con una ecuación, por ejemplo, podemos expresar cómo cambia la temperatura de un sistema a lo largo del tiempo. Existen también modelos analógicos que permiten reproducir la realidad, a una escala reducida, y seleccionar diferentes condiciones ambientales; un túnel de viento es un ejemplo de modelo analógico, también las maquetas de edificios que se someten a diferentes tipos de vibraciones para deducir su resistencia ante terremotos. Cada vez se utilizan más como modelos las simulaciones de ordenador como las que se usan en meteorología para predecir temperaturas, precipitaciones y otros fenómenos.

Una forma de elaborar modelos sencillos es mediante diagramas de relaciones causales o diagramas de Forrester. En estos diagramas se representan diversas variables de un sistema que tienen una relación de causa-efecto. La relación se expresa con una flecha sobre la que se coloca un signo + o un signo – dependiendo de que la relación sea directa o inversa. Si al realizar un diagrama una variable afecta a otra que está situada antes que ella en la cadena, se forma un circuito cerrado que recibe el nombre de bucle de retroalimentación.



- Elabora un diagrama causal que muestre los cambios en la atmósfera como consecuencia de la aparición de la vida.
- Elabora un diagrama causal incluyendo los conceptos de roca, vegetación, suelo y erosión, indicando los tipos de relaciones que se establecen entre ellos (directa, inversa, encadenada, bulce de realimentación).

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 glaciario. 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.

2. PRINCIPALES INSTRUMENTOS DE INFORMACIÓN AMBIENTAL.

Se considera información ambiental cualquier dato relacionado con alguna característica de la Tierra, generalmente relevante para los intereses humanos. La información ambiental más relevante es aquella que permite apreciar la evolución a lo largo del tiempo de parámetros e indicadores que el ser humano ha reconocido como importantes como, por ejemplo, la concentración de CO₂ en la atmósfera o la extensión de bosques desaparecidos por incendios forestales.

La información ambiental puede obtenerse de tres tipos de fuentes:

- Estaciones fijas de medida como los observatorios meteorológicos que miden variables atmosféricas, las estaciones de aforo que miden caudales fluviales, las boyas ancladas en los océanos que miden la corrientes, el oleaje, etc.
- Instrumentos de medida móviles. Se ubican a bordo de barcos, aviones, dispositivos sumergibles y todo tipo de ingenios pilotados o teledirigidos. Miden temperaturas, concentraciones de gases, dirección e intensidad de corriente, etc.
- Instrumentos a bordo de satélites. Toman medidas muy diversas de la superficie terrestre, de la atmósfera y de la superficie de los océanos, tanto en luz visible como en otras longitudes de onda (infrarrojos y ultravioleta principalmente).

Una vez obtenidos los datos, frecuentemente miles, hay que procesarlos para obtener valores medios, tendencias y patrones. A partir de ellos se puede realizar una interpretación, por ejemplo, en forma de previsión meteorológica. Toda la información se almacena en potentes bases de datos que pueden ser gestionadas por instituciones que pueden pertenecer a un solo país (como AEMET, Agencia Estatal de Meteorología) o por organismos en los que participan muchos países (como el IPCC, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).

Veamos algunos casos particulares de sistemas de información ambiental:

- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan los datos sobre una base cartográfica. La cartografía puede constar bien de mapas o bien de fotografías aéreas o de satélite. Sobre la cartografía básica se añaden capas cada una de las cuales contienen un tipo de información.
- Los Sistemas de posicionamiento por satélite son herramientas que sirven para determinar la posición concreta de un objeto sobre la superficie del planeta. El más popular es GPS (Sistema de Posicionamiento Global) desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos.
- La teledetección abarca cualquier técnica para tomar datos de la Tierra o de otros cuerpos planetarios a distancia mediante diversos instrumentos, pero habitualmente se aplica a la observación desde aviones o satélites artificiales. Se trata de recoger determinadas radiaciones emitidas por un objeto o reflejadas por él.

* * * *

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 que 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, a veces llamada matriz para la ordenación del territorio. Se trata de 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 escombreras, 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.

Actuaciones propuestas causantes de posibles impactos ambientales			Modificación del régimen		Transformación del suelo		Cambios en el tráfico		Localización de vertidos		Magnitud del Impacto			
			Tala y desbroce	Pavimentación	Construcción de edificios	Líneas comunicación eléctrica	Desmonte y terraplén	Efectos mecánicos del peso	Ruidos y emanaciones de vehículos	Descarga de efluentes líquidos		Construcción de fosas sépticas		
Características físicas y químicas	Tierra	Suelos	3	2	1	1	3	7	2	1	8	18	21	
		Factores físicos singulares	5	10	10	1	1	7	2	8	3	43	67	
	Agua	Calidad agua superficial	1	2	10	10	1	1	6	6	3	99	12	
		Calidad agua subterránea	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	9	17
Condiciones biológicas	Flora	Erosión	3	6	1	1	2	4	4	1	9	9	17	
		Árboles	2	10	1	1	1	3	3	1	6	14	27	
		Arbustos	3	10	1	1	1	5	3	1	10	16	45	
	Fauna	Estrato herbáceo	3	8	1	1	7	5	1	2	11	15	34	
		Aves	3	8	1	4	2	3	1	1	6	15	58	
		Especies terrestres	3	2	1	1	2	3	3	1	14	13	70	
		Especies acuáticas	7	2	1	1	2	1	1	6	8	8	34	
		Especies en peligro	3	10	1	10	3	3	8	2	10	34	70	
Factores culturales	Usos del suelo	Agricultura de secano	2	10	1	10	3	1	5	7	7	35	35	
		Intereses estéticos y humanos	Paisaje (vistas)	5	4	3	2	5	3	2	22	29	44	65
			Naturalidad	3	2	1	1	3	7	4	1	22	29	44
Magnitud del Impacto			32	14	10	7	21	40	15	14	2	11	155	
Importancia			46	120	38	19	35	30	17	16	19	11	311	

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.

5. RESIDUOS SÓLIDOS.

Nuestra sociedad se caracteriza por la utilización masiva de los recursos y su elevado consumo. Esta utilización de los recursos de la Tierra y su transformación genera una gran cantidad de residuos. Se considera residuo a todo material que resulta de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuando su poseedor o productor lo abandonan por carecer de utilidad.

En España, según el Ministerio de Medio Ambiente, se producen anualmente más de 15 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, lo que equivale a 1 kg por persona y día. Pero si se consideran también los residuos agrícolas e industriales la cifra alcanza los 46 kg por persona y día.

Existen varias clasificaciones de los residuos. Unas hacen referencia al origen de los mismos y otras al tratamiento común que se les puede dar, En general, se suelen clasificar los residuos en urbanos, agrarios, ganaderos, forestales, industriales, mineros, químicos tóxicos o peligrosos y radiactivos:

- Residuos sólidos urbanos (RSU). Lo que se conoce como basura tiene una composición muy variada y heterogénea. Dentro de la basura encontramos componentes inertes (el metal, el vidrio, los electrodomésticos desechados, la tierra, las escorias y las cenizas), fermentables (los residuos orgánicos, como el pan, el pescado, la paja y los restos vegetales) y combustibles (el papel, el cartón, los plásticos, la madera, las gomas, el cuero y las materias textiles).
- Residuos sólidos agrarios, ganaderos y forestales. Los restos vegetales están formados por biomasa potencialmente aprovechable. Más problemáticos son los residuos ganaderos de explotaciones intensivas; al margen de los malos olores y los problemas sanitarios e higiénicos de las instalaciones, tanto los residuos sólidos (estiércol) como los líquidos (purines) producen en las aguas una contaminación orgánica importante.
- Los residuos sólidos industriales son muy variados, y son objeto de una mayor recuperación en las propias fábricas y en las plantas de tratamiento de materiales secundarios. Algunos de ellos tienen un gran aprovechamiento, como los de la industria electrónica, los de ciertas industrias químicas o los de la fabricación del aluminio.
- Los residuos mineros se centran en las escombreras de las minas y en las instalaciones de transformación, como las industrias siderúrgicas, las metalúrgicas o las centrales térmicas de carbón.
- Residuos químicos tóxicos o peligrosos. Los residuos químicos son una serie de residuos muy variados que afectan a la salud, contaminan gravemente el aire o el agua, resultan explosivos o causan enfermedades. Por tanto, la legislación los cataloga y obliga a que se realicen tratamientos especiales antes de desecharlos.

- Residuos radiactivos. Los principales residuos radiactivos se producen en las centrales nucleares en funcionamiento o en las que se desmantelan; en menor medida en las instalaciones médicas de radiología. Estos residuos son de los más peligrosos por sus efectos sobre la salud y la larga duración de su actividad. Por ello suponen un problema ambiental sin soluciones satisfactorias. También se generan residuos radiactivos durante los procesos de extracción, enriquecimiento y explotación de los minerales de uranio.

La gran concentración de población en las ciudades hace que el problema de la gestión de los residuos sea una de las preocupaciones políticas y sociales más importantes de la actualidad. Por eso se hace necesario un plan de gestión de estos residuos que garantice su evacuación, su tratamiento, su eliminación o su reciclaje. A continuación se explican los principales procesos de gestión de residuos sólidos.

- a) Depósitos de seguridad. Cuando los residuos no pueden ser eliminados con las técnicas actuales, se almacenan en lugares seguros y bien aislados, de forma que no puedan dañar el medio natural o la salud humana. Esto es lo que se hace, por ejemplo, con los residuos radiactivos.
- b) Tratamientos físico-químicos. Son procesos que se usan con los residuos tóxicos o peligrosos procedentes de la industria.
- c) Gestión de escombreras y restauración. La minería genera grandes cantidades de fragmentos de roca residual (estériles), que son depositado en escombreras, en los alrededores de la mina. La legislación actual obliga a las empresas mineras a diseñar escombreras con la topografía más natural posible y a restaurarlas con vegetación. Algo parecido debe hacerse con los escombros resultantes de construcciones, demoliciones, reparación de viviendas, etc.
- d) Vertido controlado. En los vertederos se compactan los residuos y se depositan sobre un terreno impermeable, para después cubrirlos con tierra.
- e) Incineración. Este proceso permite recuperar energía en forma de vapor o electricidad. Por otra parte, los residuos incinerados reducen su volumen en un 90% y su peso en un 30%. Actualmente, la incineración es un proceso polémico que, para las asociaciones ecologistas, sólo consigue trasladar el problema de la contaminación a la atmósfera.
- f) Transformación y compostaje. Las operaciones de transformación son procesos químicos o bioquímicos que se aplican fundamentalmente a los residuos de naturaleza orgánica. Estos residuos se someten a fermentación (natural o acelerada) y se obtiene compost, un compuesto parecido a los ácidos húmicos del suelo por lo que se puede usar como fertilizante en la agricultura. Otros procesos de transformación se realizan en condiciones anaerobias y generan metano y otros gases combustibles.
- g) Recuperación y reutilización. Este es el método ideal en la gestión de residuos porque reduce el volumen de residuos, evita la extracción de nuevas materias primas y reduce los gastos energéticos en los procesos de fabricación. Algunos residuos son fáciles de separar y utilizar como se ha hecho con los metales en las chatarrerías. La recuperación de papel y envases de vidrio también se realiza desde hace mucho tiempo pero recientemente se ha intensificado con la instalación de contenedores apropiados en nuestros pueblos y ciudades. El reciclaje de los plásticos es más costoso, pues tienen que ser previamente clasificados y separados; esto se debe a que cada tipo necesita un tratamiento diferente.

En los años sesenta y setenta se consideraban los vertederos como algo inevitable; se aspiraba, simplemente, a que no hubiera vertederos incontrolados. Hoy día somos más exigentes con el tratamiento de los residuos. Los objetivos son la reducción de los residuos (aunque poco se ha avanzado en esta dirección), la recogida selectiva de residuos, la reutilización, el reciclaje, el aprovechamiento energético y el uso muy limitado de los vertederos. Aunque estén claros estos objetivos todavía queda mucho que hacer, sobre todo educación ambiental, ya que el reciclado apenas llega al 20% del total de los residuos.

5.LA GESTIÓN DEL PLANETA.

5.1.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.

5.2. 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. En el caso de España se ocupa de esta tarea el Ministerio de Medio Ambiente aunque muchas competencias están transferidas a las Comunidades Autónomas. En Andalucía es la Consejería de Medio Ambiente la que se ocupa de la gestión de la mayor parte del territorio salvo los dos Parques Nacionales y los terrenos que pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir que es un organismo estatal.

La mayoría de las medidas de gestión sostenible 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.
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.
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
Nº de terremotos destructivos	43	31
Nº de víctimas	2700	91000
Nº de habitantes	104 millones	15 millones
Renta per cápita (\$ USA)	25000	1000

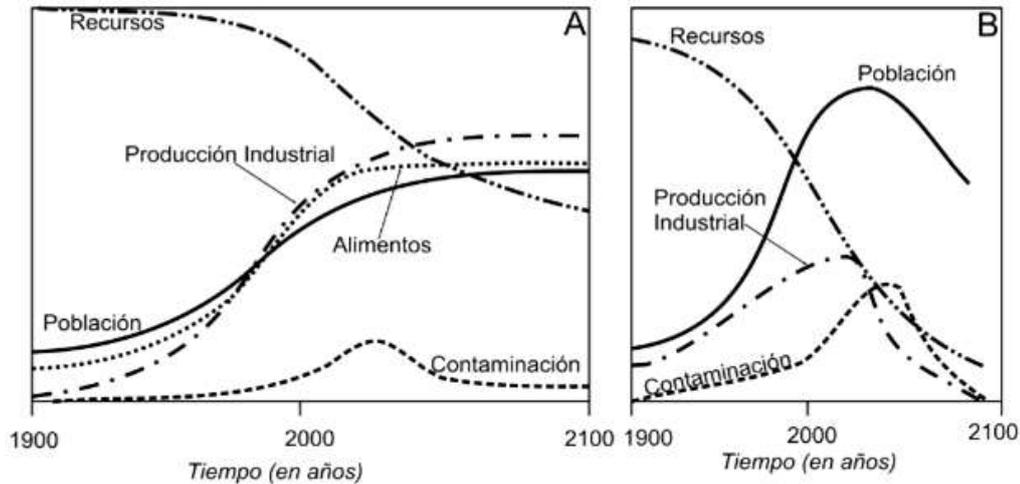
A partir de los datos de dicha tabla, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- 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:



a) Relacione entre sí los parámetros representados en la gráfica A.

b) Relacione entre sí los parámetros representados en la gráfica B.

c) ¿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, responda razonadamente a las siguientes preguntas:

a) ¿En cuál de las dos zonas consideradas existe mayor peligrosidad por inundaciones?

b) Compare la exposición y la vulnerabilidad a las inundaciones originadas por estos ríos en sus regiones respectivas.

c) ¿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. 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:

- Si bajo la litosfera oceánica existe una corriente convectiva descendente se produce una zona de subducción, es decir el hundimiento y destrucción de la litosfera que provoca una fosa oceánica y la fricción entre dos placas con el consiguiente desprendimiento de calor y, por tanto, formación de magmas. La subducción puede producirse bajo un continente en cuyo caso resulta una cordillera perioceánica paralela a la fosa o puede producirse entre dos placas oceánicas siendo el resultado una fosa y un arco de islas volcánicas. El progreso de la subducción conlleva la destrucción completa de litosfera oceánica y la colisión entre continentes o entre continentes y arcos volcánicos.
- Si bajo la litosfera oceánica existe una corriente convectiva ascendente se produce un abombamiento del fondo oceánico que se fractura y deja escapar magma a través de una grieta. El origen de este magma es debido a la delgadez de la litosfera: la relativa falta de presión sobre unos materiales muy calientes hace que estos se fundan. El relieve volcánico submarino se denomina dorsal mediooceánica y es una gran cordillera frecuentemente interrumpida por fracturas transversales denominadas fallas transformantes.

En algunos puntos hay “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 teoría de la tectónica de placas no solo explica el magmatismo y los volcanes, también la sismicidad como se explica a continuación. En los límites de placas existen fuerzas compresivas en las zonas de subducción y colisión y distensivas, principalmente en las dorsales y en las zonas de apertura de océanos (también en zonas que han sufrido una orogenia y una posterior relajación de los esfuerzos). Estos esfuerzos deforman las rocas que responden con dos tipos de estructuras de deformación:

- 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. Este desplazamiento no es paulatino sino que hay largos periodos de calma y repentinos saltos de falla que ocasionan los terremotos. 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. 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 lados. El movimiento de la falla no es continuo, no hay desplazamiento durante periodos 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 5, por ejemplo, libera una energía 30 veces superior al de grado 4. 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. En general, los terremotos más superficiales son más destructivos, pero también hay que tener en cuenta otros factores como el tipo de terreno más o menos estable.

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.

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 periocénicas (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).

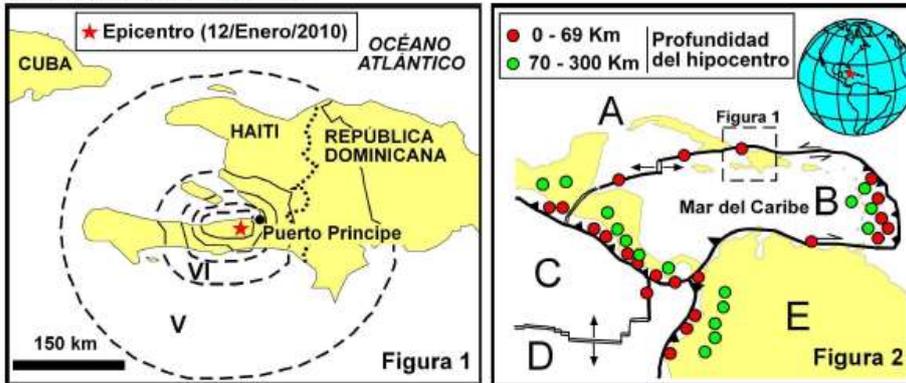
El Sur de la Península Ibérica y el Norte de Marruecos forman parte de un cinturón sísmico que se continúa hacia el Océano Atlántico y por el Norte de África. Un fuerte terremoto de magnitud 6.4 hizo temblar la región de Alhucemas (lugar del epicentro) en el Norte de Marruecos la madrugada del día 24 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).

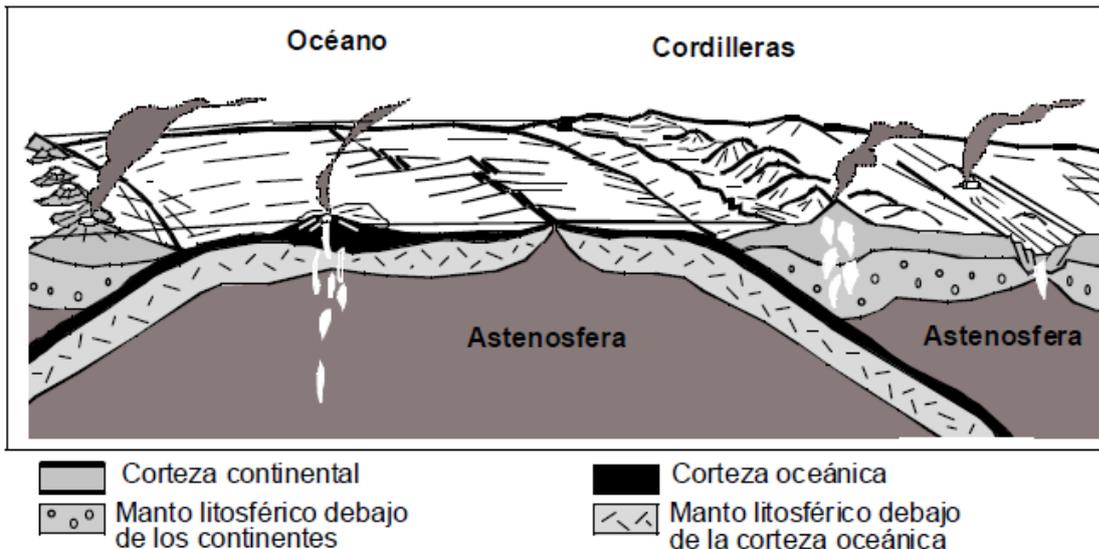
En Haití, el día 12 de enero de 2010, se produjo un terremoto de magnitud 7. Dicho temblor sísmico, que tuvo su hipocentro a 13 km de profundidad, ocasionó más de 222.000 víctimas mortales, 300.000 heridos, más de un millón de desplazados, la destrucción de casi 100.000 casas e importantes daños materiales. 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).

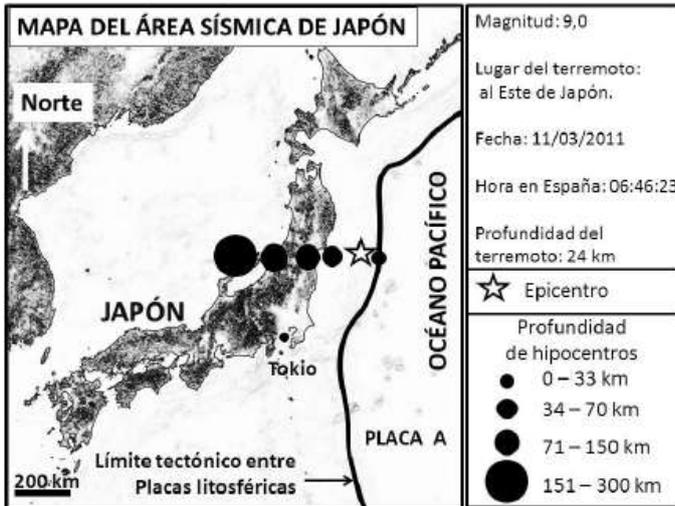
La figura siguiente ilustra diversos procesos geológicos relacionados con los movimientos de las placas litosféricas.



- Describa 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).

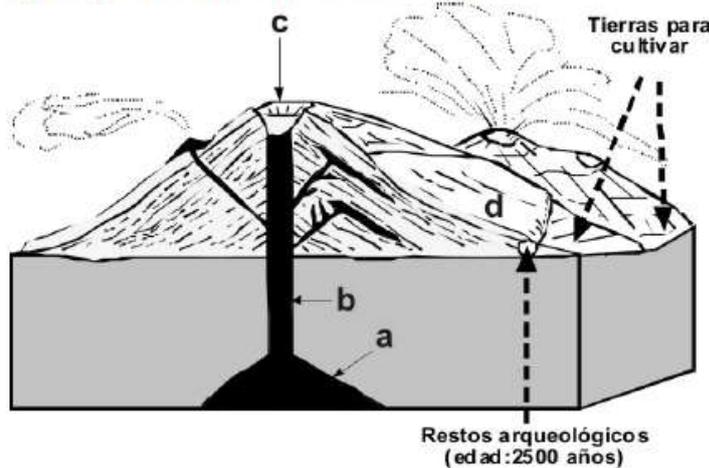
En el mapa de la figura, se muestra la localización del epicentro de un terremoto de magnitud 9,0 que sucedió el 11 de marzo de 2011 al Este de Japón (representado por una estrella). Su hipocentro se situó a una profundidad de 24 km. La línea negra en este mapa representa el límite entre dos placas litosféricas. 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).

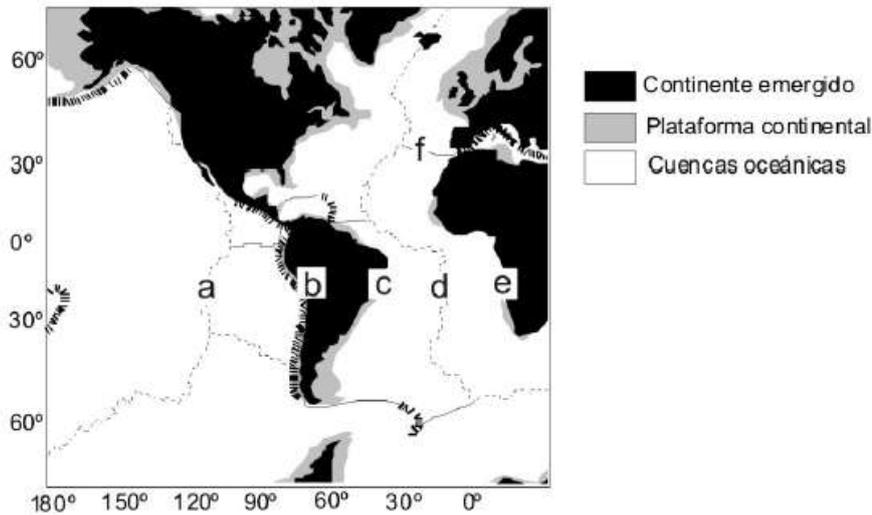
El esquema siguiente corresponde a una región volcánica activa en la que actualmente se aprecian emisiones de gases a la atmósfera. Se ha podido constatar que ha habido erupciones históricas, debido a la presencia de restos arqueológicos debajo de las coladas de lava.



- 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).

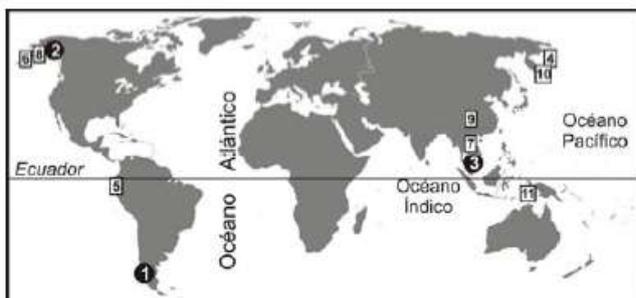
El mapa adjunto es un esquema de las placas tectónicas en la mitad occidental del planeta. A partir de él, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- Ponga el nombre a cada una de las situaciones geológicas marcadas con a, b, c, d y e.
- ¿En cuáles de las situaciones geológicas anteriores habrá actividad sísmica y volcánica? Razone la respuesta.
- 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).

- 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 en el futuro.
- 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.



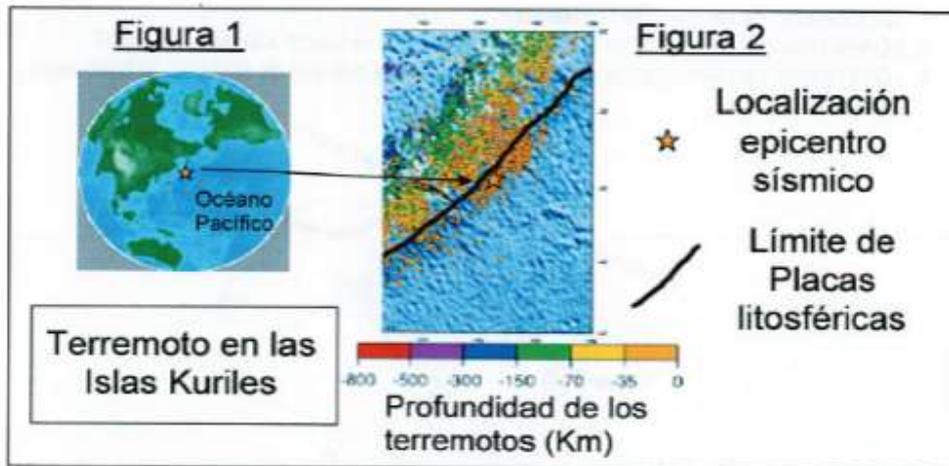
Figura 1. Distribución de continentes y océanos en el mundo y localización de los principales epicentros sísmicos (1900-2006)

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

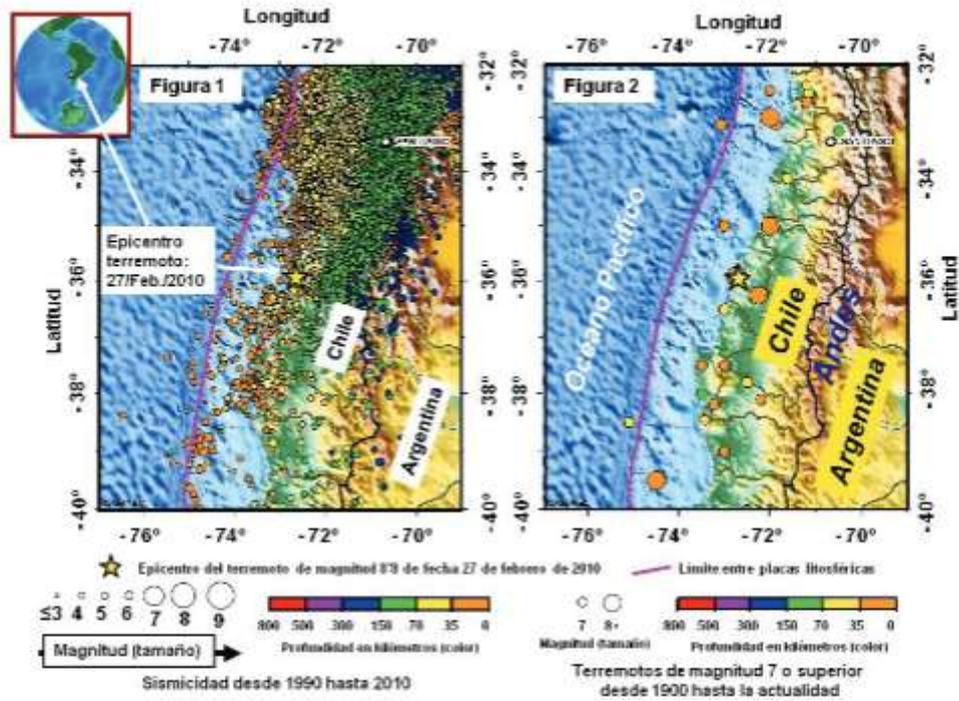
- Observe que la mayoría de estos terremotos se sitúan alrededor del Océano Pacífico. ¿Qué tipo de límite de placas litosféricas puede ser responsable de la sismicidad circumpacífica? Explique en qué consiste dicho límite tectónico.
- De acuerdo con los datos expuestos, razone si es previsible que se 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.

4. EL RELIEVE TERRESTRE.

En los apartados anteriores hemos visto cómo la tectónica de placas explica el vulcanismo y la sismicidad así como buena parte de los relieves del planeta. Las grandes cordilleras continentales son el resultado de la subducción y la colisión. Los relieves generados por la actividad magmática y/o tectónica son posteriormente desgastados por la acción de los agentes erosivos, principalmente el agua, que tienden a arrasar las montañas y a formar relieves ondulados o llanos, considerados seniles hasta que una reactivación tectónica provoca un levantamiento y un rejuvenecimiento e los relieves (ciclo geológico). El relieve de una región cualquiera es el resultado de la interacción entre dos tipos de fuerzas: las fuerzas externas o erosivas y las fuerzas internas o tectónicas. Puesto que estas últimas ya han sido estudiadas nos detendremos a continuación en los **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 dissociada 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 CO₂ 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 Ca^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , 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.

5. 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.

6. 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. En el caso de Andalucía las lluvias más intensas se producen a final de verano y principios del otoño cuando se produce el fenómeno de la gota fría. 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.

7. 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, en el sureste de Andalucía, 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.

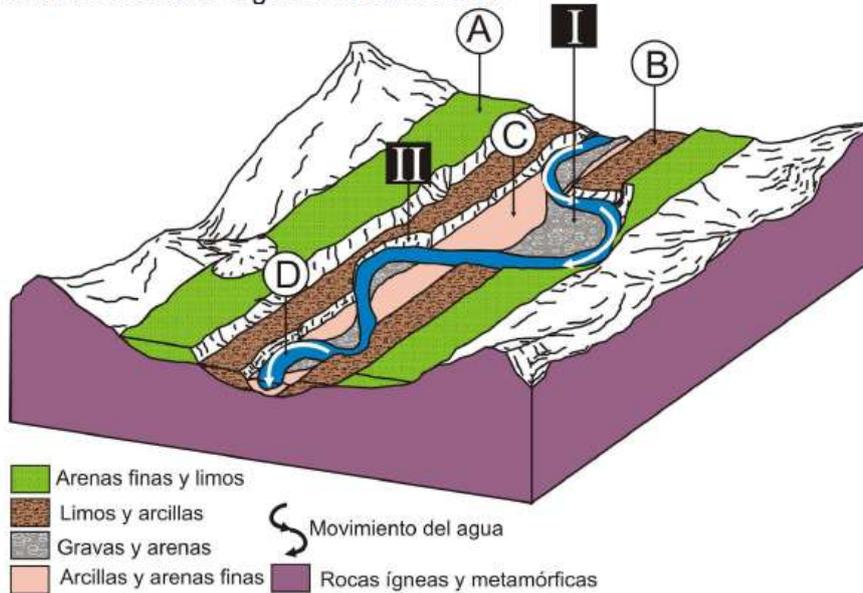
1. Sistemas de ladera. Desprendimientos, deslizamientos y coladas de barro. Riesgos ligados a la inestabilidad de laderas. Predicción y prevención.
2. Degradación y contaminación de los suelos. Erosión de los suelos: desertización.
3. Meteorización. Tipos de meteorización: conceptos y caracterización 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 gelifracción 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.

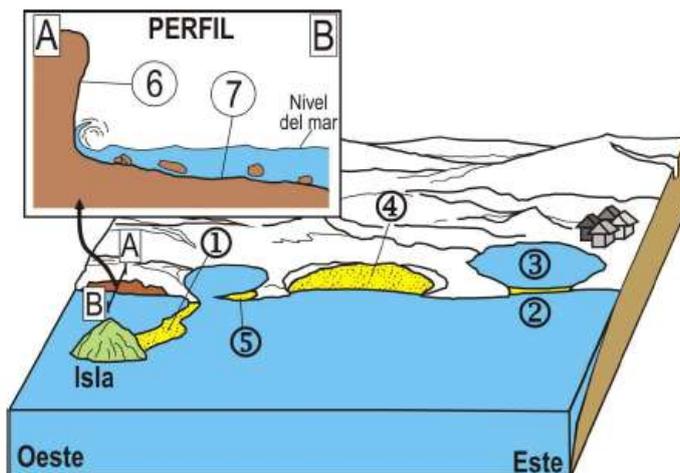
Tabla 1. Concentraciones en algunos elementos

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).

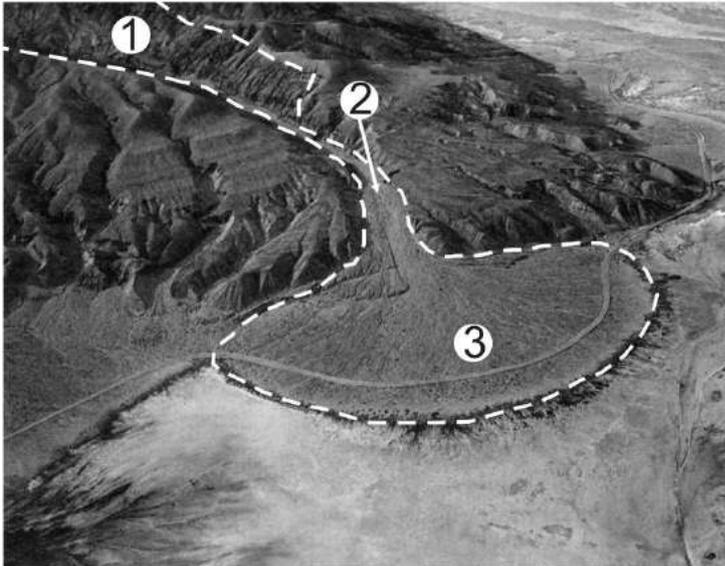
En el bloque diagrama se representa una región litoral, así como un perfil de la morfología costera en la parte oeste de la misma. A partir de la observación de las figuras, responda a las siguientes cuestiones:



- 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).

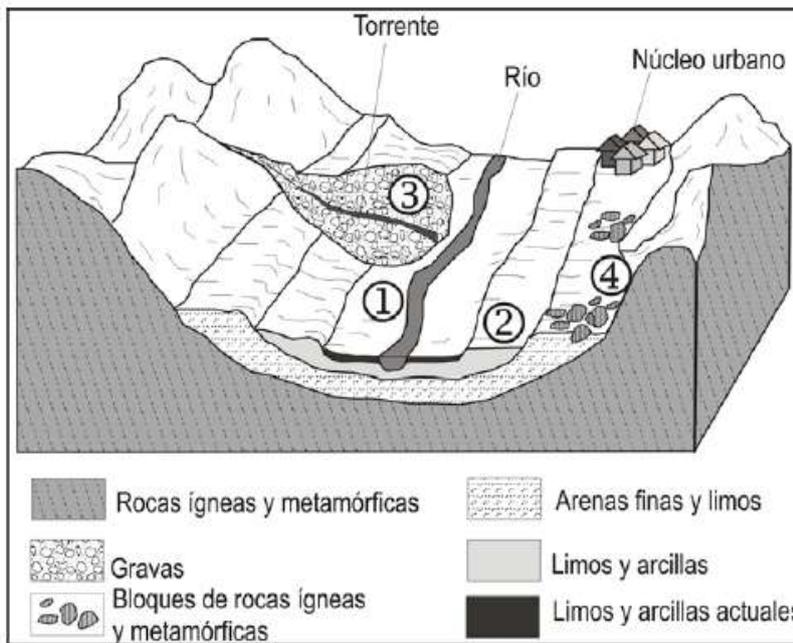
A partir de la observación de la fotografía adjunta, responda razonadamente a las siguientes cuestiones:



- 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.

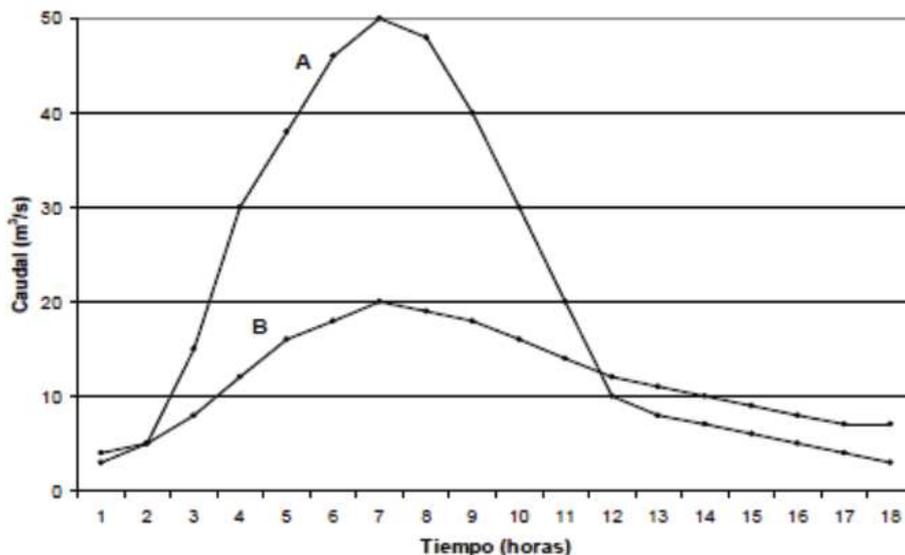
La tabla adjunta muestra algunos datos relativos a las inundaciones por desbordamiento generalizado de los ríos Níger (Nigeria, Golfo de Guine, África) y Rhin (Alemania y Holanda, Europa), ambos en su curso bajo, en llanuras próximas a su desembocadura en el mar.

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?

8. 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 (Cu_2O) y de calcopirita (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 (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 (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 Andalucía porque han dejado de ser rentables con el consiguiente impacto social en las zonas afectadas. Pero Andalucía ha sido tradicionalmente rica en metales y ése ha sido uno de los motivos de su temprana colonización, ya en la Prehistoria, y sobre todo en época romana. Entre las razones de la actual crisis de la minería andaluza cabe citar el agotamiento de yacimientos, la extracción más económica en países en vías de desarrollo y, más recientemente, 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 CO₂, 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.

9. 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 procesamiento 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 procesamiento llamadas plantas petroquímicas, donde es sometido a un tratamiento químico o proceso de refinación 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.

10. IMPACTOS ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS DE LA GEOSFERA.

10.1. 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”.

10.2. 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^a 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).

10.3. 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.