

La asignatura Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente pretende que conozcas mejor la composición y dinámica de nuestro planeta y que reflexiones sobre las relaciones de la humanidad con la Tierra, unas relaciones tan conflictivas que vivimos inmersos en una gran crisis ambiental. Probablemente un mayor conocimiento provoque en ti una mayor conciencia de la gravedad de los problemas, una actitud y unos comportamientos más respetuosos y responsables hacia el medio ambiente.

Los Apuntes que tienes en tus manos están escritos ajustándose al programa oficial vigente en Andalucía. No se han usado "negritas" para fomentar tu trabajo de entresacar ideas principales, subrayar y esquematizar la información. Al final se ha incluido un glosario de términos con la intención de que te sirvan para repasar lo estudiado

En la página web de la asignatura encontrarás imágenes, animaciones, actividades interactivas e información complementaria, todo ello organizado en los mismos temas y apartados que los Apuntes. Ésta es la dirección web:

<http://www.ieslosremedios.org/~pablo>

Ojalá que estos materiales te faciliten el estudio de la asignatura.

Pablo Acosta Robles
Ubrique, Septiembre de 2007

ÍNDICE

<u>I. GEOSFERA</u>	4
1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA GEOSFERA.....	4
2. PROCESOS GEODINÁMICOS INTERNOS.....	6
3. RIESGOS ASOCIADOS CON LA GEODINÁMICA INTERNA.....	8
3.1. Vulcanismo.....	8
3.2. Sismicidad.....	12
4. PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS.....	15
4.1. La meteorización.....	15
4.2. Erosión, transporte y sedimentación en ambientes templados.....	16
5. LOS SISTEMAS GEODINÁMICOS EXTERNOS EN LOS AMBIENTES TEMPLADOS. RIESGOS E IMPACTOS ASOCIADOS A ESTOS SISTEMAS.....	17
5.1. El sistema de ladera.....	17
5.2. Sistema edáfico: los suelos.....	19
5.3. Sistema fluvial.....	22
5.4. El sistema litoral.....	25
6. RECURSOS MINERALES.....	28
6.1. Recursos minerales. Fuentes y usos.....	28
6.2. Impactos derivados de la explotación de los recursos minerales.....	31
6.3. Tratamiento de los residuos minerales.....	32
7. RECURSOS ENERGÉTICOS.....	33
7.1. Combustibles fósiles, energía nuclear y geotérmica.....	33
7.2. Impactos derivados de la explotación de los recursos energéticos.....	36
7.3. Tratamiento de residuos energéticos.....	38
<u>II. ATMÓSFERA</u>	40
1. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA.....	40
2. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CON LA ATMÓSFERA.....	41
2.1. La energía solar.....	43
3. DINÁMICA GENERAL ATMOSFÉRICA.....	44
3.1. Factores que determinan el movimiento de las masas de aire.....	44
3.2. Estabilidad e inestabilidad atmosférica. Anticiclones y borrascas.....	46
3.3. Nubes y precipitaciones.....	47
3.4. Circulación general atmosférica y zonas climáticas.....	49
3.5. Riesgos climáticos.....	51
3.6. Aprovechamiento energético: la energía eólica.....	54
4. CAMBIO CLIMÁTICO.....	54
5. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	57
5.1. Los contaminantes más frecuentes y sus efectos.....	57
5.2. Factores que intensifican la contaminación local. Dispersión de contaminantes.....	60
5.3. Los grandes impactos.....	61
5.4. Medidas de corrección de la contaminación atmosférica.....	66
<u>III. HIDROSFERA</u>	67
1. EL CICLO DEL AGUA. BALANCE HÍDRICO.....	67
2. AGUAS CONTINENTALES.....	68
2.1. Aguas superficiales.....	69
2.2. Las aguas subterráneas.....	70
3. LOS OCÉANOS.....	71
3.1. Características generales de las aguas oceánicas.....	71

3.2.Circulación oceánica.....	72
4. RECURSOS HÍDRICOS. NECESIDADES DEL AGUA.....	73
4.1.Usos del agua.....	73
4.2.Parámetros para determinar la calidad del agua.....	75
4.3.Depuración (autodepuración, depuradoras y potabilizadoras).....	76
5. LA GESTIÓN DEL AGUA. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	78
5.1. Medidas de ahorro y racionalización del consumo.....	79
5.2. Medidas de carácter técnico.....	79
6.EL AGUA COMO FUENTE DE ENERGÍA.....	80
6.1. Energía hidroeléctrica.....	80
6.2. Energía mareomotriz y energía del oleaje.....	81
7. IMPACTOS SOBRE LA HIDROSFERA.....	81
7.1.Agentes contaminantes y efectos.....	81
7.2. Las mareas negras.....	83
7.3. La eutrofización.....	84
7.4. Impactos sobre las aguas subterráneas.....	85
IV. BIOSFERA.....	87
1. EL ECOSISTEMA.....	87
2. EL CICLO DE MATERIA EN LOS ECOSISTEMAS.....	88
2.1. Ciclo del carbono.....	88
2.2. Ciclo del nitrógeno.....	89
2.3. Ciclo del fósforo.....	90
3. EL FLUJO DE ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS.....	90
4. LA PRODUCCIÓN BIOLÓGICA.....	92
5. AUTORREGULACIÓN DEL ECOSISTEMA.....	93
5.1. Mecanismos de autorregulación.....	93
5.2. Sucesión y regresión de los ecosistemas.....	96
6. RECURSOS DE LA BIOSFERA.....	97
6.1. Recursos alimentarios.....	97
6.2. Recursos forestales.....	100
6.3. Recursos energéticos de la biosfera.....	100
7. IMPACTOS SOBRE LA BIOSFERA.....	101
7.1. Deforestación.....	101
7.2. Pérdida de biodiversidad.....	102
7.3. Residuos sólidos urbanos y su tratamiento.....	104
V. LA HUMANIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE.....	105
1. EL MEDIO AMBIENTE COMO SISTEMA.....	105
2. RECURSOS.....	105
3. RIESGOS.....	106
4. IMPACTOS.....	108
5. RESIDUOS SÓLIDOS.....	109
6. POBLACIÓN HUMANA Y MEDIO AMBIENTE.....	112
7. LA POBREZA Y EL MEDIO AMBIENTE.....	113
8. MODELOS DE DESARROLLO.....	114
8.1. Etapas históricas en la relación de la humanidad con la naturaleza.....	114
8.2. Modelos de desarrollo.....	115
9. HACIA UN DESARROLLO SOSTENIBLE.....	117
9.1. Medidas de gestión ambiental.....	117
9.2. Conferencias y organismos internacionales dedicados al medio ambiente.....	119
VOCABULARIO.....	122

I. GEOSFERA.

1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA GEOSFERA.

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

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

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

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

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

densidad y existen fórmulas matemáticas que permiten establecer la densidad de los materiales a partir de la velocidad de las ondas.

Las curvas de variación de velocidad de ondas sísmicas no suelen ser trazos continuos sino que muestran escalones, cambios bruscos e incluso interrupción de las ondas S. Todas estas anomalías se consideran discontinuidades sísmicas y corresponden a superficies que separan distintos materiales. Las discontinuidades se suelen designar con el nombre de su descubridor siendo la más importante la de Gutenberg, a 2900 km de profundidad, que marca el inicio del núcleo terrestre. Coincide con una caída brusca de la velocidad de las ondas P (V_p) y una interrupción definitiva de las ondas S. Esta discontinuidad marca el inicio de una zona líquida, aunque esto no permite afirmar que todo el núcleo sea líquido.

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

Con las dos discontinuidades anteriores queda un planeta dividido en tres zonas que llamaremos corteza, manto y núcleo. Ésta es división en capas refleja sobre todo cambios de composición química por lo que también se conoce como modelo geoquímico de la estructura terrestre frente a otra división más moderna conocida como modelo dinámico que arranca del descubrimiento de otra discontinuidad, menos relevante en las gráficas pero muy importante para entender la dinámica cambiante de continentes y océanos. Se trata del “canal de baja velocidad”, situado a una profundidad media de 100 km. Su nombre se debe a una disminución tanto de V_p como de V_s debida a una reducción de la rigidez de los materiales atravesados; con esto no estamos diciendo que haya una zona líquida pero sí es probable que haya un porcentaje mínimo de fundido. La zona situada por debajo del canal de baja velocidad, que llamaremos astenosfera, tiene un comportamiento mucho más plástico que la zona suprayacente rígida a la que llamaremos litosfera y que incluye la corteza y la parte superior del manto. Esta diferencia de comportamiento mecánico hace posible que la litosfera se desplace sobre la astenosfera, desplazamiento que es la base de la teoría de la tectónica de placas.

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

- Se supone que desde el canal de baja velocidad (100 km) hasta la base del manto (2900 km) no todo es material plástico y que hay otra zona rígida, la mesosfera, por debajo de la astenosfera. No se sabe si el paso de una a otra es brusco o gradual. Algunos científicos piensan que hay un cambio brusco coincidiendo con la discontinuidad de Repetti a 800 km.
- La discontinuidad de Wiechert-Lehman (5100 km) divide al núcleo (también llamado endosfera) en dos partes. A partir de la profundidad citada se produce un incremento de

Vp, lo que equivale a una mayor rigidez y es que probablemente el núcleo interno sea sólido. ¿Por qué, entonces, no atraviesan las ondas S, el núcleo interno? Lógicamente se interrumpieron a 2900 km de profundidad y ya no pueden volver a aparecer aunque haya materiales sólidos.

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

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

2. PROCESOS GEODINÁMICOS INTERNOS.

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

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

- a) La litosfera es la capa externa de la Tierra, hasta 100 km aproximadamente, y se caracteriza por ser rígida.
- b) La estructura y composición de la litosfera es diferente en continentes y océanos: hay una litosfera continental y una litosfera oceánica, esta última más delgada y más densa.
- c) La litosfera está dividida lateralmente en placas: los límites de las placas coinciden con dorsales, fosas oceánicas y fallas transformantes.
- d) Las placas litosféricas se comportan como bloques rígidos que se mueven entre sí, desplazándose sobre la astenosfera que tiene un comportamiento plástico.
- e) La generación de litosfera oceánica por intrusión de magma provoca la expansión del fondo oceánico a ambos lados de las dorsales. Esta expansión provoca el movimiento de los continentes.
- f) En las fosas oceánicas o zonas de subducción se produce compresión de placas siendo consumida una de ellas, destruyéndose litosfera oceánica (de ahí que también se denominen bordes destructivos). En las zonas de subducción se genera una cordillera periocénica tipo Andes si la subducción ocurre bajo un continente o se genera un arco de islas volcánicas si la subducción tiene lugar bajo litosfera oceánica. Cuando se consume toda la litosfera oceánica entre dos continentes se produce la colisión y la formación de una cordillera intracontinental tipo Himalaya.
- g) Las fallas transformantes son un tipo de límite de placas en las que no hay creación ni destrucción de litosfera oceánica, simplemente un desplazamiento lateral a favor de grandes fracturas de la litosfera. Las fallas transformantes se aprecian muy bien en los fondos oceánicos cuando desplazan a la dorsal pero también se pueden encontrar en otros contextos.
- h) Los movimientos de las placas son los responsables de que en los bordes de éstas se produzcan muchos fenómenos geológicos interesantes:
 - Las enormes fuerzas implicadas provocan grandes fracturas o fallas en las que hay desplazamientos repentinos causantes de los terremotos.
 - Ante esas mismas fuerzas, y en determinadas condiciones de profundidad y temperatura, las rocas se pueden comportar plásticamente formándose pliegues. Las nuevas condiciones también pueden transformar el aspecto de las rocas que

frecuentemente adquieren una estructura esquistosa que caracteriza a las rocas metamórficas.

- Las elevadas temperaturas en los límites de placas también favorecen la fusión de las rocas y la formación de cámaras magmáticas. El magma puede escapar a la superficie en forma de erupción volcánica o puede enfriar lentamente en el interior terrestre hasta convertirse en roca plutónica. Así pues la presencia de rocas magmáticas, ya sean plutónicas o volcánicas, es típica de los límites de placas.

i) Las corrientes de convección en el manto son las causantes del movimiento de las placas.

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

La situación anterior se conoce como equilibrio isostático pero, a veces, ese equilibrio se rompe y se producen los movimientos verticales. Por ejemplo, cuando una cordillera es erosionada disminuye su peso sobre la astenosfera y, en cambio, aumenta el peso de la zona que recibe los sedimentos. En el caso de la cordillera que se erosiona, el defecto de masa se debe compensar con más manto litosférico que provoca un levantamiento del terreno. En el caso de la cuenca que recibe sedimentos sucede lo contrario: se reduce el manto, que se mueve lateralmente a otras partes, y se produce un hundimiento de la región. Estos levantamientos y hundimientos isostáticos unidos a la tectónica de placas nos explican la dinámica cortical de nuestro planeta.

3. RIESGOS ASOCIADOS CON LA GEODINÁMICA INTERNA.

3.1. Vulcanismo.

a) El fenómeno volcánico.

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 que es 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. En general los magmas más fluidos (poco viscosos) se caracterizan por sus temperaturas muy elevadas, la escasez de elementos volátiles y su bajo contenido en silicio.

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

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

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 y aunque la última erupción fue la del Teneguía en 1971 existen muchas manifestaciones de vulcanismo atenuado 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.

3.2. Sismicidad.

a) Los terremotos.

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

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

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

La intensidad de un terremoto nos indica los destrozos que origina. La escala de intensidad fue ideada por Mercalli y abarca desde terremotos de grado I, difícilmente perceptibles, hasta terremotos de grado XII que corresponde a la destrucción total. Pero el grado de destrucción no depende sólo del terremoto, también influye el que se trate de una zona más o menos poblada, que las construcciones sean más o menos resistentes, etc. Así pues la escala de intensidad incluye el concepto de exposición. En la actualidad se maneja una escala de Mercalli modificada conocida como MSK.

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

haber otros de menor intensidad: a los sismos que suceden después del terremoto principal se les denomina réplicas.

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

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

Cuando las ondas internas llegan a la superficie se originan nuevas ondas que avanzan sólo por la superficie. Son las ondas superficiales y a ellas se deben la mayoría de los daños que provoca el terremoto. Pueden ser ondas Love (L), que tienen un movimiento de vibración en el mismo plano de la superficie del terreno, y ondas Reyleig [®] 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.

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. La Cordillera Bética 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.

4. PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS.

4.1. La meteorización.

La meteorización es el proceso de alteración de las rocas por la acción de la atmósfera. En muchos casos el resultado es la descomposición de las rocas y de los minerales que las constituyen y la aparición de un material suelto (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 zonas de alta montaña o periglaciares; los fragmentos pueden acumularse al pie de las pendientes formando canchales o pedrizas.

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

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

La resistencia de los minerales a la meteorización está relacionada con las condiciones de presión y temperatura a la que se formaron. Los minerales formados en el interior de la tierra a altas presiones y temperaturas se encuentran en desequilibrio con las condiciones reinantes en la superficie, en consecuencia se destruyen o se transforman en minerales compatibles con las nuevas condiciones. Esto se manifiesta muy claramente en los minerales que se forman por enfriamiento paulatino del magma: los que cristalizan al principio, cuando el magma todavía está muy caliente, como el olivino, son los que primero se alteran en la superficie; los últimos en aparecer en la cristalización magmática, como el cuarzo, son especialmente resistentes a la meteorización. Esto último explica la abundancia de arenas y areniscas, cuyos granos son mayoritariamente de cuarzo.

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

En las calizas, en cambio, predomina la disolución. En realidad, el carbonato cálcico de las calizas no es soluble en agua pero el agua cargada de CO_2 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.

4.2. 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 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 5.1). La erosión de las laderas, llamada aerolar, 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 en suspensión o como carga de fondo 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.

Encontrarás más información sobre la acción fluvial en el apartado 5.3 y sobre los fenómenos de ladera en el apartado 5.1.

5. LOS SISTEMAS GEODINÁMICOS EXTERNOS EN LOS AMBIENTES TEMPLADOS. RIESGOS E IMPACTOS ASOCIADOS A ESTOS SISTEMAS.

5.1. El sistema de ladera.

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 (soliflucción). 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 durante el 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 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 que suponen un auténtico riesgo 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.

5.2. Sistema edáfico: los suelos.

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 edafogenéticos: 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.

Dada la importancia del suelo, su extremada 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 contaminación que puede tener diversos orígenes. En unos casos se debe a la lluvia ácida. En otros casos la salinización de acuíferos costeros hace que se riegue con aguas con demasiado contenido en sal lo que provoca, a su vez la salinización del suelo y que se reduzca su fertilidad. Muy grave es también la contaminación por metales pesados procedentes de la minería, de la industria y 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.

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

La erosión es un proceso natural cuyo grado de incidencia depende de factores como el clima, el relieve, la vegetación, el 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, rotación de cultivos, sustituir los cultivos de zonas marginales por pastos o cultivar en terrazas con muros convenientemente protegidos.

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.

5.3. Sistema fluvial.

a) Dinámica fluvial.

Un río es un curso de agua permanente que discurre por un cauce fijo; si la circulación es esporádica se denomina torrente. El río es un agente geológico que erosiona, transporta y deposita. El proceso dominante en cada tramo depende de la energía del agua que, a su vez, está influida por:

1. Pendiente. 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.

2. Caudal. 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 representan en los hidrogramas: en el eje de abscisas se coloca 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.

3.Carga, capacidad y competencia. 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.

* * *

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.

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

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

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

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

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

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

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

b) Riesgos asociados a la dinámica fluvial: inundaciones.

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

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

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

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

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

- Realizar la ordenación del territorio teniendo en cuenta los mapas de riesgos de inundaciones. En las zonas más próximas al cauce debe establecerse una zona de prohibición total de cualquier uso. A continuación, más lejos del cauce, se debe determinar una banda de restricción en la que usos como los agrícolas estén permitidos mientras que la construcción de viviendas esté prohibida.
- Poner en marcha un sistema de vigilancia que incluya predicciones meteorológicas y estaciones de aforo. Para que esta medida sea eficaz hay que prever también los sistemas de alerta y evacuación en caso de peligro (medidas de protección civil).
- Regular la cuenca hidrológica evitando caudales punta extremos. Esto se consigue reforestando los cauces y toda la cuenca ya que la vegetación favorece la infiltración y reduce la escorrentía; además se evitan las pérdidas de suelo. Otras medidas de tipo estructural son la construcción de diques, el ensanchamiento de cauces, la creación de cauces nuevos y, sobre todo, la construcción de embalses que permiten la laminación del agua en caso de inundación.

5.4. El sistema litoral.

a) Dinámica litoral.

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

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

el mar y, por tratarse del mar Mediterráneo, la diferencia de mareas es escasa; resulta, por tanto, una franja litoral muy estrecha.

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

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

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

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

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

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

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

En las zonas de desembocadura de ríos la costa puede adquirir dos configuraciones especiales: estuarios y deltas. Los estuarios son desembocaduras fluviales ensanchadas; el agua del mar avanza por el cauce fluvial cuando la corriente del río es débil. En otros casos, como en la desembocadura del Amazonas, sucede lo contrario y el agua dulce se extiende kilómetros mar adentro.

Cuando el río transporta grandes cantidades de sedimentos, éstos se van depositando en su desembocadura originando una serie de islotes que en conjunto adoptan forma triangular vistos desde arriba. La geografía de los deltas es compleja con múltiples canales, zonas de que se inundan durante las mareas altas (marismas) y zonas emergidas de forma permanente.

Para que un río presente un delta en su desembocadura es preciso que aporte una gran cantidad de sedimentos y que desemboque en un mar poco enérgico (por ejemplo, el Mediterráneo); de lo contrario el oleaje limpia la desembocadura repartiendo los sedimentos por toda la costa.

b) Riesgos e impactos relacionados con la dinámica litoral.

Desde muy antiguo la humanidad ha explotado los recursos que el mar ofrece y ha escogido las costas como lugar preferente para sus asentamientos. Por tanto, debemos considerar también los peligros que para el hombre se derivan de la dinámica litoral. Quizás los más importantes sean los temporales que amplifican la altura de las olas y su energía en la rompiente; las olas golpean las construcciones, vías de comunicación y otras infraestructuras dañándolas; en otros casos se producen inundaciones de las ciudades costeras; además este oleaje de gran energía es capaz de erosionar las playas dejándolas desprovistas de arena con el consiguiente perjuicio para la industria turística. La restauración de playas se hace dragando arena de un fondo marino próximo y lanzándola a la playa; evidentemente esta medida es muy perjudicial para los ecosistemas de esos fondos (es obligado el respeto de las praderas de Posidonias).

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

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

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

6.RECURSOS MINERALES.

(Obsérvese que los apartados 6 y 7 no coinciden exactamente con el temario oficial.)

6.1. Recursos minerales. Fuentes y usos.

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 ése 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 España porque han dejado de ser rentables. Una de las razones es la tendencia a sustituir los recursos minerales por otros de tecnologías más sofisticadas de superiores prestaciones y mucho menos pesados, como los plásticos, las combinaciones de papel con aluminio y las cerámicas.

b) Recursos minerales usados como fertilizantes.

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

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

c) Materiales de construcción.

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

- Rocas. La piedra ha sido el elemento constructivo tradicional. Generalmente se han usado bloques de roca tal como se encontraban en la naturaleza; para los edificios principales la roca era tallada en forma de sillares. En las construcciones modernas la piedra ha sido sustituida por el ladrillo, el cemento y el hormigón: Las rocas han pasado a tener un papel ornamental: losas más o menos amplias, pulidas o sin pulir se colocan en suelos y fachadas. Los granitos, los mármoles y las calizas son las rocas ornamentales más frecuentes.
- Áridos. Se denominan así a materiales no consolidados que se destinan a la construcción: arenas, grava y rocalla. La construcción de una carretera, por ejemplo, requiere un firme que consta de varias capas de grava sobre las que se dispone el asfalto. También es necesaria la grava para fabricar hormigón. Los áridos se extraen de acumulaciones sedimentarias (cauces fluviales, playas) y de regiones montañosas en las que las rocas están trituradas por procesos tectónicos. Los áridos se encarecen con el transporte por lo que han de ser extraídos en las proximidades de las poblaciones y originan graves impactos.
- Arcilla. Las arcillas se han empleado como materiales de construcción desde tiempos antiguos, al principio sólo moldeadas y secadas al Sol (adobe) y, posteriormente, cocidas. Actualmente,

se cuecen y se emplean para fabricar ladrillos, tejas o baldosas rústicas y, además, se pueden vidriar para hacer baldosas o azulejos.

- Cal. La cal, que se obtiene de la roca caliza, ha sido utilizada para encalar las casas y, en la actualidad, se destina sobre todo a la fabricación de cemento. El cemento es una mezcla de caliza y arcilla que se somete a una temperatura de cocción de más de 1.400 °C para que pierda el agua y 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.

6.2. Impactos derivados de la explotación de los recursos minerales.

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. 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".

6.3. Tratamiento de los residuos minerales.

Residuo es todo material resultante de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuando su poseedor o productor lo destina al abandono. Según esta definición, los residuos minerales los podemos encontrar en las explotaciones mineras pero también en las industrias asociadas y, por supuesto, en nuestros pueblos y ciudades.

En las explotaciones mineras se extraen ciertos minerales de interés económico, la mena, y se desecha una gran masa de materiales estériles. 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.

La industria de transformación de los recursos minerales también origina residuos que pueden ser inertes o tóxicos. Se consideran residuos tóxicos los que contienen sustancias peligrosas (arsénico, cadmio, biocidas...) 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.

Los residuos industriales inertes tienen un tratamiento semejante a los residuos sólidos urbanos (R.S.U.). Entre estos destacamos los escombros resultantes de construcciones, demoliciones, reparación de viviendas, etc. El gran problema de los escombros es que ocupan mucho volumen y no se pueden depositar lejos de las ciudades porque su transporte es caro. Por eso hay que habilitar escombreras cerca de cada pueblo pero con el mínimo impacto paisajístico: en canteras

abandonadas, en depresiones naturales que después de rellenas se cubren de tierra fértil y vegetación, en zonas cuya pendiente se quiere suavizar para luego instalar urbanizaciones o polígonos industriales, etc.

Las basuras domiciliarias también forman parte de los R.S.U. En una bolsa de basura doméstica cerca de la mitad del contenido corresponde a materia orgánica, el 20% es papel, 7% de plástico, 4% de metales y 7% de vidrio. Afortunadamente están desapareciendo en nuestra región los vertederos incontrolados y las incineradoras; el tratamiento ideal para estos residuos es el reciclaje: así, de la materia orgánica se obtiene compost (abono para las plantas), y energía (biomasa); el papel y cartón usados se reciclan evitándose la tala de más árboles; los metales y el vidrio se reciclan con lo que eso supone de no agotar recursos minerales y con el consiguiente ahorro energético en los procesos de fabricación. La tendencia actual es transportar diariamente la basura a “plantas de transferencia” cerca de cada pueblo para, desde ahí, enviar los R.S.U. a grandes vertederos con sofisticados sistemas de separación y reciclaje de basura (por ejemplo, la planta de Las Calandrias).

Obviamente hay que intentar que la separación de las basuras se realice en origen, es decir, que los ciudadanos viertan sus basuras en los contenedores habilitados al efecto: papel y cartón en los contenedores azules, envases en los amarillos, vidrio en los iglús verdes... De todas formas no todo se resuelve con el reciclaje de las basuras: es mucho mejor no generar tanta basura. La conducta más respetuosa con el medio ambiente y más solidaria con los países pobres y las generaciones futuras es la de reducir nuestro consumo. Se suele recoger esta idea con la expresión “las tres erres”: reducir, reutilizar, reciclar.

7. RECURSOS ENERGÉTICOS.

7.1. Combustibles fósiles, energía nuclear y geotérmica.

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

c) La energía nuclear.

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

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

La fisión nuclear es el tipo de reacción que produjeron las bombas atómicas de Hiroshima, Nagasaki y otras “explosiones experimentales” realizadas por diversos países. La destrucción que provocaron estas bombas nos habla de la potencia de la energía nuclear. Con posterioridad a la

Segunda Guerra Mundial, se ha desarrollado la tecnología necesaria para obtener electricidad a partir de la fisión nuclear.

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

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

- El peligro de accidente nuclear se puede reducir con medidas de seguridad pero siempre existe esa amenaza como se ha demostrado en varias ocasiones, especialmente en Chernobil.
- La imposibilidad de deshacerse de los residuos radiactivos que permanecen activos durante miles de años.
- El carácter no renovable del uranio: queda para unos 70 años.

d) Energía geotérmica

La temperatura en el centro de la Tierra es de unos 6 000 °C y, aunque las rocas actúan de aislantes, parte del calor escapa de la Tierra (flujo geotérmico). En algunas zonas, especialmente las volcánicas, el flujo térmico es superior a lo normal y puede utilizarse como fuente de energía.

Los géiseres son una muestra de ese potencial energético de la Tierra: son 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 usar directamente en las viviendas, destinarse a calefacción e incluso para generar electricidad. Para producir electricidad es necesario que el agua esté hirviendo o que pase a un intercambiador de calor y convierta en vapor otro fluido que luego pueda pasar por una turbina. Si no hay manantiales termales se puede hacer circular agua en zonas profundas y recuperarla ya caliente para su uso doméstico o industrial.

En España hay numerosas fuentes termales alrededor de las cuales se han edificado balnearios pero, aparte del uso del agua caliente para baño, el aprovechamiento del calor terrestre para la producción eléctrica sólo parece relevante en las Islas Canarias dado su carácter volcánico.

7.2. Impactos derivados de la explotación de los recursos energéticos.

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.

7.3. Tratamiento de residuos energéticos.

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 nueve centrales nucleares existentes en la actualidad 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 se desmantelan.

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 y de su traslado al cementerio nuclear de El Cabril (Córdoba). Los residuos hormigonados en bidones metálicos se trasladan desde las centrales nucleares hasta El Cabril para su almacenamiento definitivo. Los residuos de vida más corta, inferior a 300 años, se pueden depositar a poca profundidad, protegidos de infiltraciones y con los servicios de vigilancia adecuada.

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. Se ha propuesto almacenarlos a profundidades de unos 1000 metros en lugares muy estables tectónicamente, pero asegurar la estabilidad geológica durante tanto tiempo es imposible y menos en España donde la neotectónica es intensa. Además será difícil encontrar una colectividad dispuesta a asumir el cementerio nuclear: ¿qué pasará cuando el cementerio de El Cabril esté lleno en el año 2015?

II. ATMÓSFERA.

1.COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA.

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

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

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

Los restantes componentes del aire están presentes en cantidades muy reducidas, por lo que se miden en partes por millón (ppm). Por su importancia destaca, entre estos últimos, el dióxido de carbono (CO₂), que representa en la actualidad unas 340 ppm del aire seco.

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

a) Troposfera.

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

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

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

b) Estratosfera.

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

El ozono es una molécula triatómica de oxígeno (O₃) que es especialmente abundante entre 15 y 30 km de altitud, en una región llamada ozonósfera o capa de ozono. La importancia del ozono radica en su capacidad para absorber los rayos ultravioleta e impedir que lleguen a la superficie terrestre ya que son perjudiciales para la mayoría de las formas de vida.

c) Mesosfera.

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

d) Termosfera o ionosfera.

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

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

2. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CON LA ATMÓSFERA.

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

- Las radiaciones de onda corta, con una longitud de onda menor de 0.1 micras, incluyen rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma... En general, son radiaciones muy perjudiciales para la salud. Afortunadamente la atmósfera se comporta como filtro frente a la mayoría de estas radiaciones.
- Las radiaciones de onda media, con una longitud de onda comprendida entre 0.1 y 1 micra, se corresponden fundamentalmente con la luz visible.

- Las radiaciones de onda larga, con una longitud de onda superior a 1 micra, incluyen la radiación infrarroja (responsable del calentamiento de la atmósfera), las ondas de radio, las microondas...

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

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

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

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

El resultado de la contrarradiación es que el calor queda retenido en las capas bajas provocando un calentamiento conocido como efecto invernadero. Los principales gases de invernadero son el vapor de agua y el CO_2 y su influencia es muy positiva porque mantienen la temperatura de la atmósfera dentro de unos valores óptimos para la vida. Planetas desprovistos de atmósfera, como Mercurio, o con atmósferas muy tenues, como Marte, sufren grandes oscilaciones térmicas entre el

día y la noche. En cambio, Venus tiene una atmósfera muy densa y el efecto invernadero es muy acusado: los cientos de grados de temperatura de la superficie venusiana hacen imposible la vida tal como la conocemos. Nuestro planeta, la Tierra, posee una atmósfera con características intermedias y un efecto invernadero moderado. Así pues, el efecto invernadero es positivo; lo que es alarmante es su aumento descontrolado por el uso de los combustibles fósiles y la liberación de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Parece demostrado que la contaminación atmosférica está provocando un calentamiento y eso puede conducir a un cambio climático de consecuencias impredecibles.

2.1. La energía solar.

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

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

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

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

a) Energía solar térmica.

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

b) Energía solar fotovoltaica.

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

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

c) Arquitectura solar pasiva.

Tradicionalmente se ha aprovechado la energía solar construyendo casas adaptadas al clima local con el consiguiente ahorro de calefacción, refrigeración e iluminación. Se trata de construir eligiendo la orientación adecuada, teniendo en cuenta el espesor de los muros, el tamaño de las ventanas, los materiales de construcción, el tipo de acristalamiento, etc, a fin de conseguir una temperatura óptima en las viviendas sin tener que recurrir a un aporte energético extra mediante calefacción o aire acondicionado. Todas estas medidas forman parte de la arquitectura bioclimática.

3. DINÁMICA GENERAL ATMOSFÉRICA.

3.1. Factores que determinan el movimiento de las masas de aire.

La causa de los movimientos de las masas de aire, dentro de la troposfera, es la existencia de regiones con diferentes características térmicas, de humedad y de presión atmosférica. Veamos cómo estos tres factores determinan los movimientos verticales del aire:

a)Diferencias de temperatura.

El aire caliente es más ligero que el aire frío y, por tanto, tiende a desplazarse hacia arriba; el aire frío se mueve hacia abajo. Este movimiento se denomina convección térmica.

b)Diferencias de humedad.

Diferenciaremos humedad absoluta, que es la cantidad de agua expresada en g/m^3 , de la humedad relativa. Ésta se define como la cantidad de vapor de agua que hay en una masa de aire en relación con la que cantidad máxima que puede contener a una temperatura dada; se expresa en tanto por ciento.

El punto de rocío representa la temperatura a la cual el vapor de agua se vuelve líquido. Lógicamente esto también depende de la cantidad de vapor de agua (humedad absoluta), por eso hay muchos puntos de rocío. Obsérvese que la condensación o punto de rocío depende de la humedad absoluta y de la temperatura. Se pueden representar gráficamente todos los puntos de rocío y resulta una curva que separa las condiciones en que el aire contiene agua está en forma de vapor (a la derecha) de las condiciones en las que el aire está saturado (a la izquierda). La línea representa la condensación.

La densidad del aire seco es mayor que la densidad del aire cargado de humedad ya que el agua tiene menor peso molecular que los gases mayoritarios de la atmósfera (N_2 y O_2). Por eso el aire

húmedo tiende a ascender mientras que el aire seco tiende a descender. Este fenómeno se denomina convección por humedad y nos permite entender la formación de nubes.

Cuando una masa de aire húmedo asciende ocupa regiones cada vez más frías por lo que se alcanza el punto de rocío, se produce la condensación y la formación de pequeñas gotitas de agua que constituyen las nubes. Este fenómeno es especialmente claro en verano, las nubes van creciendo a lo largo del día con una cúpula irregular pero una base muy horizontal que se corresponde con el nivel de condensación. Este nivel de condensación no está siempre a la misma altura ya que depende de la temperatura y de la humedad absoluta.

Un fenómeno parecido es el que da lugar a las precipitaciones orográficas. Los vientos empujan masas de aire húmedo hacia las montañas obligándolas a ocupar posiciones cada vez más altas. Conforme el aire húmedo asciende se produce la condensación, la formación de nubes y las precipitaciones. Esto explica que las lluvias sean más frecuentes en las montañas.

c)Diferencias de presión.

La presión atmosférica no es igual en todos los sitios: las masas de aire de baja presión, denominadas borrascas, tienden a ascender mientras que las masas de aire de alta presión o anticiclones tienden a moverse hacia abajo. La presión se representa en los mapas meteorológicos mediante isobaras, líneas que unen puntos de igual presión; la diferencia entre isobaras consecutivas es de 4 milibares (mb). Por encima de 1015 mb se considera anticiclón; por debajo de 1015 mb, borrasca.

Resumiendo y considerando simultáneamente los tres factores anteriores, podemos decir que los movimientos verticales ascendentes se producen cuando hay masas de aire calientes, húmedas y de baja presión. Los movimientos descendentes corresponden a masas de aire frías, secas y de alta presión.

Cuando una masa de aire asciende los cambios de temperatura de ésta no se corresponde exactamente con el enfriamiento en altura del aire que la envuelve al que llamamos gradiente vertical de temperatura (GVT) y que tiene un valor de $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Una masa de aire en ascenso también se enfría pero lo hace a un ritmo diferente del GVT y variable según esa masa de aire contenga vapor de agua o agua líquida:

- El gradiente adiabático seco (GAS) determina cómo disminuye la temperatura de una masa ascendente de aire con agua en estado gaseoso; lo hace a razón de 1°C cada 100m, es decir más rápidamente que el aire “de fuera” que sigue la pauta de $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.
- El gradiente adiabático húmedo (GAH) se refiere al cambio de temperatura de una masa que asciende cargada de agua en estado líquido. Su enfriamiento es más lento y variable entre 0.3 y $0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

En algunas ocasiones se producen inversiones térmicas, es decir, el aire de arriba está más caliente que el aire de las zonas bajas, lo que hace que éste no pueda ascender y quede atrapado

entre la superficie del suelo y la capa caliente. Esta situación dificulta la dispersión de la contaminación.

Los movimientos horizontales se deben a la existencia de masas de aire diferentes pero que se encuentran a una altitud parecida; nos interesan sobre todo los que se producen a nivel del suelo. En estos casos se produce un movimiento lateral, el viento, por el cual las masas más densas se desplazan hacia las más ligeras. Por eso el viento va de los anticiclones a las borrascas y su velocidad será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de presión; en un mapa de isobaras las zonas de fuertes vientos se corresponden con zonas en las que las isobaras están muy próximas. Los vientos son convergentes en las borrascas y divergentes en los anticiclones.

Las diferencias de insolación entre regiones del planeta provocan importantes diferencias de temperatura y, como consecuencia, vientos característicos de cada una de las zonas climáticas. Esos vientos los estudiaremos en el apartado 3.4. *Circulación general atmosférica y zonas climáticas*.

Unos vientos particulares son las brisas marinas que tienen su origen en el desigual calentamiento continente-océano. Durante el día el continente se calienta antes de que lo haga el mar, que tiende a mantener las bajas temperaturas nocturnas durante más horas. Por eso se establece una circulación convectiva: el aire caliente del continente se mueve hacia el mar pero lo hace a cierta altura y el aire frío del mar se mueve hacia el continente cerca de la superficie; los habitantes de la costa perciben una brisa fresca de mar a tierra. Por la noche la situación se invierte, el mar está más cálido que el continente y la brisa fresca va de tierra a mar.

La dirección del viento no suele ser rectilínea porque sufre una desviación conocida como efecto Coriolis y que es debida a la rotación terrestre. La velocidad de rotación es menor en los polos, recorriendo en 24 horas una trayectoria mucho más pequeña que en el ecuador. Por eso cuando una masa de aire parte del ecuador hacia el polo norte tiende a adelantarse en su rotación ya que la superficie terrestre va girando más despacio que ella, a medida que ésta avanza en latitud. De esta forma la dirección del viento en lugar de ser hacia el norte pasa a ser hacia el noreste, es decir se ha desviado a la derecha. Si la masa de aire fuera del polo al ecuador se encontraría con una superficie terrestre que gira cada vez más deprisa por lo que se iría quedando rezagada respecto a la velocidad de rotación; por eso el viento en lugar de dirigirse hacia el sur lo hace hacia el suroeste, se desvía a la derecha. En el hemisferio sur ocurre algo parecido pero los vientos son desviados a la izquierda de su trayectoria inicial.

El efecto Coriolis también afecta a los vientos convergentes de una borrasca. Los vientos son desviados a la derecha provocando que la borrasca gire en sentido contrario a las agujas del reloj. Los vientos divergentes del anticiclón son desviados de igual manera ocasionando un movimiento general del anticiclón a favor de las agujas del reloj (para el hemisferio norte en ambos casos).

3.2. Estabilidad e inestabilidad atmosférica. Anticiclones y borrascas.

La presión ejercida por una columna de aire sobre la superficie terrestre se mide con el barómetro y su valor estándar, a nivel del mar y en condiciones normales, es de 1 atmósfera, que equivale a 760 mm de mercurio y a 1.013 milibares (mb). Sin embargo, la presión en un punto geográfico determinado no es siempre la misma, sino que varía en función de la humedad y la

temperatura del aire; se consideran altas presiones las que superan los 1.015 mb y bajas presiones las que quedan por debajo de este valor. En los mapas del tiempo se trazan una serie de isobaras, líneas que unen los puntos geográficos de igual presión, en un momento dado. Así, decimos que hay un anticiclón cuando nos encontramos una zona de alta presión “A” rodeada de una serie de isobaras cuya presión disminuye desde el centro hacia el exterior de la misma. Por el contrario, decimos que hay una borrasca (o condición ciclónica) cuando nos encontramos con una zona de baja presión “B” rodeada de isobaras cuyos valores van aumentando desde el centro hacia el exterior de la misma.

Una borrasca se produce cuando existe una masa de aire poco denso (cálido y/o húmedo) en contacto con la superficie terrestre que comienza a elevarse empujada por unas corrientes térmicas ascendentes. Como consecuencia de su elevación, en el lugar que previamente ocupaba la masa, se crea un vacío en el que el aire pesa menos (tiene menos presión). Entonces, el aire frío de los alrededores se mueve originando un viento que sopla desde el exterior hasta el centro de la borrasca (vientos convergentes).

Estas condiciones atmosféricas también se denominan tiempo inestable que no equivale a lluvia; la situación de borrasca no quiere decir que seguro que vaya a llover, sino que puede hacerlo si la masa de aire ascendente contiene la suficiente cantidad de vapor de agua y se condensa formando nubes de unas dimensiones tales que permitan las precipitaciones. Las condiciones de inestabilidad atmosféricas son propicias para la eliminación de la contaminación, ya que el aire ascendente provoca la elevación y dispersión de la misma.

Un anticiclón se forma cuando una masa de aire frío (más denso) que se halla situada a cierta altura desciende hasta contactar con el suelo. Este descenso se denomina subsidencia. En la zona de contacto se acumula mucho aire (hay mucha presión) y el viento tiende a salir desde el centro hacia el exterior. Estos vientos divergentes impiden la entrada de precipitaciones, con lo que el tiempo será seco y podremos afirmar sin lugar a dudas que no lloverá.

Las subsidencias más intensas suelen producirse en invierno, con viento en calma, cuando las noches son largas y la atmósfera está muy fría. Se dan situaciones especialmente peligrosas en los lugares donde existe contaminación porque ésta queda atrapada. La dispersión de contaminantes sólo es posible los días en los que el Sol tiene la suficiente intensidad para calentar la superficie terrestre, que a su vez calentará el aire, provocando su ascenso por convección térmica.

3.3. Nubes y precipitaciones.

Las nubes están formadas por minúsculas gotas de agua formadas por condensación del vapor de agua que hay en la atmósfera. Para que se produzca la condensación es necesario que la humedad relativa del aire sea del 100% (saturación) pero también que exista una superficie o partículas sólidas que actúen como núcleos de condensación, sobre los cuales se puedan reunir las moléculas de agua.

La humedad relativa depende de la temperatura; así, en una masa de aire con un contenido fijo de vapor de agua no se produce la condensación si la temperatura es alta pero si ésta es baja el aire se encuentra saturado en vapor de agua y se produce condensación.

Un ejemplo de este fenómeno es el rocío: por la noche el suelo se enfría y sobre él se condensa el vapor de agua apareciendo gotitas sobre las superficies. Si la temperatura es inferior a 0 °C se forma la escarcha.

Cuando la condensación se produce en un aire estable y en las capas más bajas de la atmósfera, en contacto con la superficie terrestre fría, se originan las nieblas. Se diferencian de las auténticas nubes en que el proceso de condensación procede del suelo.

Las nubes se forman cuando una masa de aire húmedo asciende hasta zonas más frías apareciendo pequeñas gotitas que se mantienen en suspensión. Cuando el aire saturado asciende a una altitud en que la temperatura es menor de 0 °C, se forman cristales de hielo; si es de manera ordenada y lenta da origen a la nieve, y si es desordenada y rápida, al granizo. Cuando el peso de las gotas de agua, copos de nieve o granizo es mayor que las corrientes ascendentes que los mantienen en suspensión, se producen las precipitaciones.

Según el modo en que se efectúa la ascensión del aire las precipitaciones se clasifican en:

a) Precipitaciones convectivas.

En lugares de gran calentamiento del suelo, como en las zonas ecuatoriales, el aire se calienta en contacto con la superficie del terreno, asciende verticalmente y parte del vapor se condensa formando nubes de tipo cúmulo. Como la reacción de condensación es exotérmica, el calor liberado hace que se mantenga la nube que puede adquirir un gran desarrollo vertical en forma de torreón (cumulonimbo) que origina precipitaciones intensas pero poco duraderas. Las tormentas de verano que tienen lugar en nuestra región tienen un origen similar.

b) Precipitaciones orográficas.

Se producen por el choque de una masa de aire húmedo contra una montaña, lo que provoca su ascenso por ella hasta alcanzar su nivel de condensación. Habitualmente, el desarrollo de estas nubes es horizontal, se llaman estratos, y originan una precipitación por contacto de tipo horizontal. Una vez culminada la cima de la montaña, la nube ha perdido la mayor parte del agua que contenía y lo que le queda se convierte en vapor al calentarse a medida que desciende por el lado opuesto al que ascendió. El resultado es el efecto Foëhn, es decir una ladera seca o de sombra de lluvias.

c) Precipitaciones frontales.

Se producen en un frente o zona de contacto entre dos masas de aire de distinta temperatura y humedad. Las dos masas se comportan como sistemas aislados, por lo que no se mezclan sino que chocan y en la zona de contacto entre ellas, es decir, en el frente, se libera la energía originada por la diferencia de temperaturas en forma de lluvias o de vientos. Los frentes dan lugar a un tipo de borrascas frontales o móviles y generadores de lluvias. Existen tres tipos de frentes: fríos, cálidos y ocluidos.

- Frentes fríos. Se forman cuando una masa de aire frío es movida por el viento hasta que entra en contacto con otra de aire cálido. La fría, más rápida y densa, se introduce, a modo de cuña, bajo la cálida, obligándola a ascender, formándose una borrasca. Durante el ascenso, el aire cálido y húmedo se condensa, forma nubes de desarrollo vertical (cumulonimbo) y se provocan intensas precipitaciones.
- Frentes cálidos. Se forman cuando es la masa de aire cálido la que se desplaza hasta encontrarse con otra de aire más frío. Al igual que en el caso anterior, la que asciende por el frente es la cálida, que es la menos densa. Este ascenso no es tan vigoroso como el anterior sino que es mucho más lento y da lugar a nubes de desarrollo horizontal, estratos que cubren todo el cielo de un gris plumizo poco atractivo y proporcionan lluvias débiles y persistentes. Por encima, en las capas más altas, se forman los cirros. Los cirros indican buen tiempo si apenas se mueven y se encuentran muy dispersos; en cambio, si se desplazan a gran velocidad y su número va aumentando indican que se aproxima un frente.
- Frentes ocluidos. Aparecen por la superposición de dos frentes diferentes, uno frío y otro cálido. Generalmente, el frente frío, que es más dinámico y rápido en su avance, llega un momento en que alcanza al frente cálido y se solapa con él. El frente cálido acaba por perder el contacto con el suelo (oclusión), dejando al frío en contacto con la superficie. La oclusión de frentes da lugar a precipitaciones de los dos tipos.

3.4. Circulación general atmosférica y zonas climáticas.

La radiación solar incidente es mayor en el ecuador que en los polos y por tanto las masas de aire ecuatoriales tienden a subir y a moverse en las capas altas de la atmósfera hacia los polos. De igual modo, las masas de aire polar tienden a descender y a moverse en las capas bajas hacia el ecuador.

Según esto habría grandes células convectivas entre el ecuador y los polos. Pero esto no es real; si tenemos en cuenta el efecto Coriolis la situación es más compleja. El aire ecuatorial que avanza, por ejemplo, hacia el polo norte es desviado por el efecto Coriolis a su derecha, hacia el noreste, y cuando llega a los 30° de latitud se mueve hacia el este. A partir de ahí el aire, ya más frío, desciende y se desplaza hacia el suroeste llegando nuevamente al ecuador.

El circuito descrito se conoce como célula de Hadley. Además de esta célula entre el ecuador y la latitud 30°, existen otras células semejantes entre 30° y 60° de latitud y entre los 60° y los polos. Esta circulación atmosférica ocasiona una serie de bandas climáticas que describiremos desde el polo norte hasta el ecuador (en el hemisferio sur la distribución es similar):

- a) Zona de anticiclones polares. Los polos reciben menos radiación solar y el aire, muy frío, tiende a aplastarse sobre la superficie lo que origina una situación anticiclónica. Las precipitaciones son escasas.
- b) Zona de vientos del este. Está comprendida entre el polo norte y el paralelo 60°. El aire polar debería desplazarse de norte a sur pero el efecto Coriolis lo desvía siendo su trayectoria de noreste a suroeste. La procedencia este de los vientos hace que nos refiramos a ellos como los levantes de altas latitudes. A veces son vientos huracanados, sobre todo en el hemisferio sur donde hay menos masas continentales que los frenen.

- c) Zona de borrascas subpolares o borrascas subárticas. Se sitúa aproximadamente en el paralelo 60° (latitud de Oslo, Estocolmo, San Petersburgo...). El climograma de estas regiones muestra una estacionalidad muy marcada (inviernos muy fríos frente a veranos suaves) y una pluviosidad muy elevada porque en estas latitudes se produce ascenso de las masas de aire lo que favorece la condensación y las precipitaciones abundantes. La vegetación característica es la taiga o bosque de coníferas.
- d) Zona de vientos del oeste. Esta zona está comprendida entre los 60° y los 30° de latitud; en ella se encuentra la Península Ibérica. Las masas de aire tropicales avanzan del sur al norte pero son desviadas a la derecha con lo que su trayectoria es del suroeste al noreste. De forma general se conoce como zona de vientos procedentes del oeste o westerlies. Hay varios tipos de climas en esta región dependiendo de la latitud y de la proximidad a los océanos. Galicia, por ejemplo, posee un clima atlántico con inviernos fríos y lluviosos y veranos suaves; la vegetación característica es el bosque caducifolio. Las regiones mediterráneas, en cambio, presentan inviernos suaves y húmedos frente a veranos cálidos y muy secos; el bosque mediterráneo se caracteriza por plantas con hojas endurecidas adaptadas a la sequedad, como la encina.
- e) Zona de anticiclones subtropicales. Se sitúa en torno al paralelo 30° que pasa, por ejemplo, por la ciudad de El Cairo, una latitud parecida a la de las Islas Canarias. El descenso de masas de aire establece una situación anticiclónica con vientos divergentes que impiden la llegada de borrascas; por eso se trata de regiones secas, a veces desérticas (Sáhara, Arabia, Norte de Méjico). En Canarias la sequedad es mayor en las islas orientales, más influidas por el Sáhara, que en las islas occidentales, más influidas por el Atlántico.
- f) Zona de vientos alisios. Está comprendida entre los 30° de latitud y el ecuador. Los vientos que deberían ir de norte al sur son desviados y tienen una trayectoria del nordeste al suroeste. El clima tropical típico se caracteriza por precipitaciones abundantes y cierta estacionalidad. En cuanto a la vegetación, en esta región encontramos praderas, sabanas y, más cerca del ecuador, selvas.
- g) Zona de borrascas ecuatoriales. Corresponde a las regiones ecuatoriales a las cuales llegan los vientos procedentes de ambos trópicos por lo que se le denomina zona de convergencia intertropical (ZCIT). El aire especialmente caliente del ecuador asciende originando borrascas casi permanentes lo que explica que estas regiones sean muy húmedas; la radiación solar recibida es parecida a lo largo de todo el año por lo que no hay estacionalidad en estas regiones. Unas condiciones térmicas y de humedad tan favorables hacen que estas regiones sean tan ricas en vida como lo son las selvas ecuatoriales.

La ZCIT no coincide exactamente con el ecuador, oscila según la época del año. Durante el invierno del hemisferio norte, la ZCIT se encuentra a 5° de latitud sur; durante nuestro verano se desplaza notablemente hasta 10° de latitud norte. Esto tiene consecuencias importantes para algunas regiones. En la India y en el sureste asiático cuando la ZCIT está al sur se encuentran bajo la influencia de un potente anticiclón continental que expulsa hacia el exterior vientos fríos y secos; cuando la ZCIT se desplaza hacia el norte se sitúa sobre la India y el sureste asiático originando copiosas lluvias, conocidas como monzones que traen la fertilidad a esas tierras.

El clima de la Península Ibérica.

Al igual que la ZCIT, también se desplazan las demás bandas climáticas. Durante el verano del hemisferio norte la banda de los anticiclones subtropicales se desplaza hacia el norte situándose en una posición muy próxima a la Península Ibérica. Por eso la Península, bajo la influencia del llamado anticiclón de las Azores, no registra apenas lluvias durante el verano.

Durante el invierno del hemisferio norte las bandas climáticas se desplazan hacia el sur y la Península deja de estar bajo la influencia de los anticiclones subtropicales y pasa a estarlo bajo las borrascas subpolares que traen temperaturas bajas y abundantes precipitaciones.

El contacto entre las borrascas subpolares y las masas de aire de las zonas templadas se denomina frente polar; en realidad no es un frente único sino una sucesión de frentes. El frente polar es casi circular durante nuestro verano y está situado cerca del círculo polar ártico; por el contrario, en otoño-invierno-primavera se desplaza hacia el sur (dilatación del vórtice polar) pero perdiendo su trazado circular y adquiriendo un trazado sinuoso, con borrascas que tienden a ir al sur y anticiclones al norte. Los vientos del oeste hacen que este sistema de borrascas ondulatorias recorra la Península Ibérica de oeste a este. Algunas veces el fuerte enfriamiento invernal hace que el aire esté muy frío y que se origine sobre la Península un potente anticiclón continental que impide la entrada de las borrascas, entonces tenemos días soleados y muy fríos que se mantienen hasta que vientos fuertes permitan la entrada nuevas borrascas subpolares.

En las capas altas, en el límite entre la troposfera y la estratosfera, el frente polar da paso a la corriente del chorro. Se trata de un velocísimo río de viento que rodea la Tierra, a la altura de la tropopausa, en sentido oeste-este. En primavera-verano realiza una trayectoria circular (como el frente polar) pero en otoño-invierno realiza un recorrido serpenteante. Entonces, alguno de los meandros puede ser estrangulado y desgajarse hacia el sur hasta colocarse sobre la Península Ibérica. El resultado es una masa de aire muy frío, mucho más que el aire de sus alrededores (una gota fría), que desciende bruscamente en espiral hasta alcanzar la superficie dejando una zona de baja presión suspendida en altura (por eso no se aprecia en los mapas de isobaras realizados para la superficie). Esta “depresión” obligará a que el aire húmedo y cálido ascienda provocando una nube de rápido crecimiento vertical y fuertes aguaceros. El fenómeno de gota fría se acentúa si la masa ascendente está muy caliente y cargada de humedad como ocurre sobre el Mediterráneo a final del verano y principio de otoño.

3.5. Riesgos climáticos.

Las catástrofes ligadas a fenómenos meteorológicos son las que más víctimas originan, más del doble de las causadas por los terremotos. Los avances de la ciencia meteorológica, en especial los datos que continuamente nos proporcionan satélites como el Meteosat, permiten predicciones cada vez más precisas sobre dónde y cuándo puede tener lugar un evento catastrófico. Sin embargo, todavía hay que avanzar en la planificación del territorio evitando asentamientos en zonas de riesgo, sobre todo en zonas susceptibles de ser inundadas. A continuación consideraremos algunos riesgos climáticos propios de nuestro país: tornados, lluvias torrenciales, sequías y olas de frío y de calor.

a) Vientos destructivos.

La velocidad de los vientos depende del gradiente de presión: el aire se desplaza de los núcleos de altas presiones (anticiclones) a los de bajas presiones (borrascas) tanto más rápido cuanto mayores sean las diferencias de presión, es decir, cuanto más próximas estén las isobaras.

Los vientos más destructivos son los huracanes, también llamados ciclones tropicales y tifones. Se caracterizan por su estructura de torbellino de grandes dimensiones (diámetro de 200 a 500 km), vientos de unos 150 km/h y abundantes precipitaciones (300-400 mm diarios). Se dan en las zonas intertropicales, preferentemente en los meses de verano y otoño, sobre todo en el sureste asiático, costas orientales de América y el sureste africano. Se producen por ascenso de grandes masas de aire muy caliente y húmedo hasta la estratosfera; este ascenso provoca lluvias torrenciales y atrae a las masas de aire próximas a gran velocidad, formando enormes torbellinos.

En España, afortunadamente, estamos lejos de la influencia de los huracanes pero sí podemos sufrir otros fenómenos eólicos muy catastróficos: los tornados. También tienen el aspecto de un torbellino pero sus dimensiones son mucho menores: el diámetro del tornado es de 50-100 metros, y suelen ser fenómenos locales de corta duración. Se trata de núcleos de bajas presiones donde el aire asciende a gran velocidad; el gradiente horizontal de presión que se origina es enorme lo que provoca vientos de gran velocidad y un efecto de succión en la zona central. Los tornados causan víctimas mortales, destruyen viviendas, redes eléctricas, cosechas... Los vientos pueden alcanzar 500 km/h lo que hace de los tornados uno de los fenómenos climáticos más devastadores pudiendo hacer estallar casas (por la diferencia de presión) y aspirar vagones de tren cargados de mercancía.

b) Lluvias torrenciales.

Las inundaciones causan todos los años miles de muertos y cuantiosas pérdidas económicas en todo el mundo. Las inundaciones son más frecuentes en el curso bajo de los ríos cuando éstos atraviesan vegas y zonas llanas; se agravan si en la cabecera de los ríos no hay vegetación y suelos que retengan el agua de lluvia; los daños se multiplican si los asentamientos humanos ocupan la región inundable (véase el apartado de inundaciones; aquí sólo trataremos el factor meteorológico).

Para que haya inundaciones deben producirse lluvias torrenciales, es decir abundantes precipitaciones en un corto espacio de tiempo. En nuestro país esas lluvias son producidas por tormentas de verano, por “gota fría” o por frentes fríos.

Las tormentas de verano tienen su origen en el calentamiento y evaporación intensas a lo largo del día lo que origina una nube que va creciendo hasta alcanzar un gran desarrollo vertical. Puede descargar violentamente al final de la tarde en forma de lluvias intensas pero poco duraderas. En estos casos, además del riesgo de inundación, existe el problema de pérdida de suelo, mayor que cuando la lluvia se produce en invierno y la vegetación herbácea protege los suelos. Además la tormenta puede ir acompañada de rayos con el consiguiente peligro de incendios forestales.

Con el nombre de “gota fría” se designa un fenómeno meteorológico acompañado de fuertes lluvias, típico del mediterráneo español a finales de verano y principios de otoño. En estas fechas una masa de aire muy frío (la gota fría) situada a gran altura, se desgaja de la región de la corriente

del Chorro, llega hasta la Península donde se encuentra rodeada de aire más cálido. Entonces, el aire frío se precipita hacia abajo y obliga al aire cálido y muy húmedo de estas regiones mediterráneas a ascender rápidamente, con la correspondiente formación de nubes y lluvias intensas.

La mayor parte de las precipitaciones de nuestro país se deben a los frentes que entran en la Península procedentes del Atlántico. Los frentes pueden ser cálidos o fríos. Los frentes cálidos originan lluvias débiles y persistentes. En cambio, si es la masa de aire frío la que avanza (frente frío), ésta se introduce bajo la masa de aire cálido levantándola rápidamente, provocando una condensación rápida y lluvias intensas capaces de provocar inundaciones.

c) Sequías.

El clima mediterráneo, propio de la mayor parte de la Península Ibérica, se caracteriza por la irregularidad en la distribución de las precipitaciones. En Andalucía las precipitaciones se concentran entre los meses de Octubre y Abril; el verano es tan seco que no es raro que no caiga una gota en tres o cuatro meses. La vegetación natural de nuestra región está adaptada a esta situación y la población le hace frente a esta situación recurriendo a las aguas subterráneas y a las reservas de agua de los embalses.

Pero la irregularidad en las precipitaciones no es sólo estacional, también a lo largo de los años encontramos períodos de varios años en los que llueve muy poco, incluso en invierno. La escasez de lluvias invernales puede estar relacionada con la instalación, sobre la Península, de un anticiclón de bloqueo que impide la entrada de los frentes procedentes del Atlántico. Si la situación se prolonga las cosechas se pierden, las reservas de agua no son suficientes y hay que racionar el agua para consumo humano. Luego sobreviene un año húmedo que pone fin a la sequía pero sin que exista una periodicidad clara en este fenómeno.

Las sequías no afectan por igual a toda la Península. Galicia, las regiones cantábricas y pirenaicas tienen un régimen pluviométrico diferente, más húmedo. Conforme nos desplazamos hacia el Sur encontramos regiones cada vez más secas. Igualmente hay diferencias de oeste a este: los vientos del oeste, procedentes del Atlántico, llegan cargados de humedad, descargan en la mitad occidental pero cuando llegan a la mitad oriental las precipitaciones son más escasas. Así, las regiones más secas de la Península Ibérica son las situadas al Sur y al Este; por eso en la provincia de Almería el problema de desertización es tan grave.

d) Olas de frío y calor.

A veces, en invierno, desciende sobre la Península una masa de aire frío y seco que genera en superficie una situación anticiclónica. Debido al aplastamiento contra el suelo los vientos partirán del centro hacia fuera impidiendo la entrada de frentes que son desplazados hacia el Cantábrico. Así se puede mantener un ambiente muy frío favorecido por la sequedad ambiental. Si la situación persiste se habla de una ola de frío y puede haber muertos, sobre todo ancianos y personas que viven en la calle. Aún más grave es la situación que se genera cuando la banda de borrascas subpolares se desplaza muy al Sur pudiendo llegar vientos del Este, que son muy fríos por su procedencia ártica. En estos casos el anticiclón siberiano se extiende hasta la Península Ibérica.

Las olas de calor ocurren en verano, cuando la Península queda bajo la influencia del anticiclón de las Azores. Además, se unen los vientos secos y calurosos que proceden del norte de África. La ola de calor del verano de 2003, por ejemplo, fue especialmente dura favoreciendo múltiples incendios en Portugal y provocando numerosas muertes en Francia, país en el que esta situación es menos frecuente y está menos preparado para hacerle frente.

3.6. Aprovechamiento energético: la energía eólica.

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

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

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

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

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

4. CAMBIO CLIMÁTICO.

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

La Tierra primitiva estaba mucho más caliente que la que conocemos hoy día, debido a la elevada concentración de CO₂ en la atmósfera, un importante gas de invernadero. La aparición de la vida supuso un cambio radical: mediante la fotosíntesis las algas tomaban el CO₂ y fabricaban compuestos orgánicos ricos en carbono que se transmitía a lo largo de la cadena trófica. Además, muchos organismos, tanto autótrofos como heterótrofos, empezaron a utilizar el carbono para fabricar partes duras de carbonato cálcico: conchas, caparazones, esqueletos, espinas... El resultado de todo esto fue un empobrecimiento de la atmósfera en CO₂ y un descenso de las temperaturas.

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

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

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

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

- La excentricidad de la órbita terrestre. La órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es siempre igual: varía desde más elíptica a más circular, aproximadamente a lo largo de 100.000 años.
- La inclinación del eje. Aproximadamente a lo largo de 40.000 años varía el ángulo de inclinación del eje de rotación terrestre, respecto al plano de traslación. Éste ángulo determina las diferencias de duración entre el día y la noche y la existencia de las estaciones.
- La posición en el perihelio. El perihelio es el punto de la órbita terrestre más cercano al Sol y varía a lo largo de 23.000 años. En la actualidad la Tierra está en el perihelio durante el invierno del hemisferio norte pero esto va cambiando.

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

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

Todo lo anterior demuestra la complejidad de la máquina climática y los numerosos factores que sobre el clima inciden. Sin embargo, falta todavía por considerar el factor humano. Durante la mayor parte de la historia de la humanidad el hombre no ha influido sobre el clima pero su influencia actual no puede ser menospreciada. La quema continuada de combustibles fósiles libera

CO₂ y otros gases llamados gases invernadero porque retienen la radiación calorífica que desprende la geosfera y la devuelven a ella provocando un ascenso de la temperatura media que, a su vez, provocará una alteración en la circulación general atmosférica y cambios en los climas locales difícilmente predecibles. Algunos científicos sostienen que ya son más frecuentes las lluvias torrenciales, las olas de calor y los períodos de sequía y que estas catástrofes meteorológicas son indicadoras del cambio climático (ver Tratado de Kioto en la última lección del curso).

5. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

5.1. Los contaminantes más frecuentes y sus efectos.

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

a) Sustancias químicas.

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

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

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

2. Compuestos de azufre (SO_x). El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro, pesado, de olor picante y muy corrosivo. Procede de la quema de combustibles fósiles y su concentración puede ser muy elevada en ciudades de intenso tráfico rodado y donde sean frecuentes los sistemas de calefacción central. Su carácter corrosivo hace que irrite a las mucosas y a los ojos, las plantas pueden perder las hojas, ataca también a las rocas y a los monumentos provocando en ellos el

llamado “mal de la piedra”; incluso puede corroer los metales. El SO_2 provoca las nieblas contaminantes de las ciudades (smog clásico) y, después de sufrir una reacción química, es el principal responsable de la lluvia ácida.

Otro compuesto de azufre, aunque más escaso, es el ácido sulfhídrico (H_2S). Es un gas incoloro pero característico por su mal olor a huevos podridos. Su presencia hace el ambiente muy desagradable. En la naturaleza aparece de forma natural en la descomposición anaerobia de materia orgánica. Su origen antropogénico está ligado a refinerías de petróleo y fábricas de gas.

3. Compuestos orgánicos. Los hidrocarburos formados por cadenas de pocos átomos de carbono (metano, etano, propano, butano) son gaseosos y se cuentan entre los contaminantes frecuentes en ciudades y zonas industriales donde se usan muchos combustibles derivados del petróleo, que es una mezcla de hidrocarburos. El metano también se encuentra de forma natural como resultado de la descomposición anaerobia de materia orgánica en zonas pantanosas y de la fermentación bacteriana que tiene lugar en el intestino de los rumiantes. Los hidrocarburos producen irritación de los ojos y de las vías respiratorias y, además contribuyen al efecto invernadero. Algunos compuestos orgánicos volátiles (COV) incluyen cloro en su composición lo que los hace especialmente peligrosos; afectan al sistema reproductor y poseen efectos cancerígenos y mutagénicos. Estos COV se forman durante el tratamiento de productos químicos clorados y en la incineración de residuos que contienen sustancias cloradas (los envases de PVC, por ejemplo).
4. Óxidos de nitrógeno (NO_x). En este grupo estudiaremos tres gases: el óxido nítrico (NO), el más abundante de los tres, que es un gas tóxico, incoloro e inodoro; el dióxido de nitrógeno (NO_2), gas tóxico, asfixiante, de color pardo rojizo y el óxido nitroso (N_2O), gas incoloro, de olor y sabor dulce. Producen afecciones de las vías respiratorias e irritaciones oculares... Se forman por oxidación del N_2 atmosférico en procesos de combustión a temperaturas elevadas (motores, centrales térmicas, calefacciones) y, de forma natural, por desnitrificación del suelo. Además, los fertilizantes nitrogenados se transforman en el suelo y pasan a la atmósfera como N_2O .
5. Óxidos de carbono. El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable y muy tóxico, tanto que su inhalación puede provocar la muerte porque este gas impide el transporte sanguíneo del oxígeno. El dióxido de carbono (CO_2) es incoloro, inodoro pero nada tóxico; de hecho es un componente habitual y fundamental de la atmósfera (0,03 % de su composición). Ambos existen en la naturaleza de forma natural (la respiración libera CO_2) pero sus proporciones se ven muy elevadas por la quema de combustibles fósiles, siendo preocupantes en las zonas urbanas por la emisiones de los automóviles donde provocan el llamado smog. Además, el CO_2 es el principal gas de invernadero.
6. Compuestos halogenados. Son sustancias que contienen cloro o flúor en su molécula como el cloro (Cl_2), el cloruro de hidrógeno (HCl), el fluoruro de hidrógeno (HF) y los clorofluorocarbonos (CFC).

Cl_2 y HCl son gases muy tóxicos que provocan irritación de las mucosas de las vías respiratorias. Pueden tener un origen marino o proceder de los vehículos de motor o de la incineración de plásticos.

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

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

Los contaminantes secundarios, los que proceden de contaminantes primarios, incluyen algunas sustancias muy importantes. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3) son causantes de la lluvia ácida pero, generalmente, no son liberados directamente por la industria; lo que la actividad humana lanza a la atmósfera es SO_3 y NO_3 , estos compuestos reaccionan con el agua de la atmósfera originando los ácidos mencionados.

El ozono troposférico (O_3) y los PAN (nitratos de peroxiacilo) son también contaminantes secundarios importantes porque a ellos se debe el smog fotoquímico presente en muchas ciudades y que origina irritación ocular, daños en la vegetación y materiales como cuero y fibras sintéticas. Se forman a partir de NO_2 , hidrocarburos y O_2 en condiciones de intensa insolación.

b) Formas de energía o radiaciones.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Otro factor geográfico a destacar es la presencia de masas vegetales. Los bosques disminuyen la cantidad de contaminación en el aire al frenar la velocidad del viento, facilitando la deposición de partículas que quedan retenidas en las hojas, de forma mayoritaria. Además, la vegetación absorbe CO₂ para realizar la fotosíntesis.

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

5.3. Los grandes impactos.

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

a) Efecto invernadero.

Se entiende por efecto invernadero el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera. El fenómeno se debe a los llamados gases invernadero: metano, vapor de agua, óxido nítrico, ozono, CFCs y, sobre todo, CO₂, que tienen la capacidad de absorber la radiación infrarroja (calor) procedente de la superficie terrestre, enviándola de nuevo en su mayor parte a dicha superficie.

Este efecto es el responsable de las agradables temperaturas (15 °C de media) que se registran en la mayor parte de la superficie terrestre. De no existir este fenómeno la temperatura media del planeta sería de -18 °C, lo que haría imposible la vida que conocemos. No obstante, el aumento del efecto invernadero supone un problema ambiental hoy día como consecuencia del incremento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, debidas principalmente a la utilización masiva de los combustibles fósiles. Incremento que no es contrarrestado por la captación de CO₂ a través de la fotosíntesis de las plantas (a causa de la deforestación), ni por su transformación y almacenamiento como carbonatos en el medio marino.

Este incremento del CO₂ puede conducir a un aumento de la temperatura global del planeta entre 2 °C y 3,5 °C sobre todo si los países desarrollados no reducimos nuestros niveles de emisión y los países en vías de desarrollo siguen nuestro modelo.

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

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

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

La solución a este problema es reducir el consumo de los combustibles fósiles. En general, cuanto mayor es la emisión de gases de invernadero de un país mayor es su grado de desarrollo económico y social. Entonces, ¿hay que frenar el desarrollo para que se reduzcan los contaminantes? Muchos países no están dispuestos. El problema ya fue tratado en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992) pero fue abordado de una manera monográfica en 1997 en la ciudad japonesa de Kioto. En esta reunión se llegaron a acuerdos en los que se especifican los plazos y reducciones de la emisión de gases a partir de 2005 ó 2010 respecto a los niveles de 1990, pero los acuerdos no se están cumpliendo. España, por ejemplo, apoya el Protocolo de Kioto pero hasta Septiembre de 2004 no ha tomado las primeras medidas que afectan a unas mil empresas eléctricas, siderúrgicas, cementeras y refinerías que se verán obligadas a reducir sus emisiones de CO₂. Estados Unidos, que es responsable de la cuarta parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, apoyó los acuerdos de Kioto durante el mandato de Clinton pero el presidente Bush se ha negado a ratificar dichos acuerdos porque son contrarios a los “intereses de América”.

b) Agujero en la capa de ozono.

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

La mayor parte del ozono existente en la atmósfera se forma y se encuentra en la estratosfera, a una altura de entre 12 y 40 km sobre la superficie terrestre. Este es el denominado ozono estratosférico que se crea cuando la radiación ultravioleta disocia las moléculas de oxígeno (O₂) a oxígeno atómico (O). El oxígeno atómico se combina rápidamente con las moléculas de oxígeno molecular para formar ozono (O₃).

Entre los productos químicos que dañan la capa de ozono estratosférico destacan los clorofluorocarbonos (CFC), los agentes de extinción de incendios (halones o CFB_r), los hidroclorofluorocarbonos (HFC), el bromuro de metilo, el metilcloroformo (MCF) y el tetracloruro de carbono. Estos productos se encuentran en los frigoríficos, los aerosoles, las espumas plásticas y los sistemas de prevención de incendios.

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

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

La razón es que en la Antártida la estratosfera se ve desprovista de óxidos de nitrógeno (NO_x) que tienen un efecto protector del ozono porque bloquean al cloro formando nitratos de cloro. En efecto, en las zonas polares, sobre todo en invierno, se instalan potentes anticiclones siendo aún mayor el de la Antártida porque es un continente. El anticiclón hace que descienda la tropopausa y que se formen nubes en la estratosfera; estas nubes consumen los óxidos de nitrógeno al utilizarlos como núcleos de condensación; los NO_x reaccionan con el agua formando ácido nítrico (HNO_3), que cae con la nieve, con lo que la atmósfera queda desnitrificada.

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

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

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

c) Lluvia ácida.

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

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

La lluvia ácida se forma cuando las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) reaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y los oxidantes, y forman ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). Otras emisiones que producen acidez son el ácido clorhídrico, el amoníaco y los compuestos orgánicos volátiles.

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

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

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

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

- Sobre la vegetación. Son muchos los lugares de la Tierra en los que la lluvia ácida afecta a los árboles. En Checoslovaquia y Polonia, millones de árboles han desaparecido debido a las lluvias ácidas causadas por contaminaciones locales de enorme intensidad. Los bosques situados en zonas de montaña sufren, además, nieblas ácidas que envuelven a las hojas y atacan su cutícula. La pérdida de esta capa daña las hojas y produce manchas de color castaño. Esto hace que disminuya la fotosíntesis de la planta y, por tanto, quede afectado su desarrollo. Si el proceso continúa las hojas se vuelven amarillas y se inicia la defoliación que provoca la muerte de las plantas.

- Sobre el suelo. Se cree que la lluvia ácida disuelve los nutrientes y los minerales útiles del suelo, que son arrastrados por el agua de escorrentía. En los suelos agrícolas a veces hay que incorporar al suelo caliza (una sustancia básica) para neutralizar su acidez.
- Sobre ríos y lagos. Algunos lagos ácidos no tienen ningún pez. Generalmente, los individuos jóvenes son más sensibles que los adultos: así, con pH 5 la mayoría de los alevines de pez no pueden salir del cascarón.

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

d) Smog (nieblas contaminantes).

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

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

El smog sulfuroso está formado por una nube gases debidos a las emisiones de humos y óxidos de azufre que se generan en la combustión del carbón y otros combustibles con un alto contenido en azufre. Se produce en ciudades frías y húmedas, principalmente en invierno y los contaminantes que lo forman son primarios. Las partículas contaminantes actúan como núcleos de condensación del vapor de agua, que junto con el SO₂ forman las nieblas contaminantes. Este tipo de smog produce afecciones respiratorias e irritaciones oculares, y deteriora las hojas de las plantas decolorándolas y endureciéndolas. El caso más llamativo de smog ácido se dio en Londres en 1952 y causó la muerte de 4.000 personas.

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

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

5.4. Medidas de corrección de la contaminación atmosférica.

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

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

- Planificar los usos del territorio con el fin de ubicar las industrias donde sus efectos sobre los seres humanos y el medio ambiente sean menores.
- Potenciar el transporte público en lugar del privado.
- Favorecer la investigación y el uso de tecnologías de baja o nula emisión de contaminantes aplicando medidas fiscales (reducción de impuestos) y medidas financieras (préstamos, ayudas).
- Establecer un control y vigilancia de los focos emisores.
- Evaluar el impacto ambiental de cualquier proyecto que pueda tener una incidencia medioambiental.
- Medidas legales que limiten los niveles de emisión como las normas adoptadas en el año 2005 en España en aplicación del Tratado de Kioto.
- Fomentar la información y la educación ambiental para que los ciudadanos hagan un uso más racional y eficiente de la energía.

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

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

III. HIDROSFERA.

1. EL CICLO DEL AGUA. BALANCE HÍDRICO.

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

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

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

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

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

En el conjunto de los continentes las precipitaciones alcanzan los 99.000 km³/año y la evapotranspiración llega a los 62.000 km³/año, por lo que los recursos hídricos renovables anualmente, representados por la escorrentía, son de 37.000 km³/año. Por tanto, sólo la tercera parte de las precipitaciones son un recurso potencial.

Por su parte, en los océanos, las precipitaciones suponen 324.000 km³/año y la evaporación de 361.000 km³/año. En principio parece que existe un desequilibrio entre entradas y salidas, sin

embargo, el balance hídrico se equilibra con la entrada de agua en los océanos proveniente de la escorrentía continental que es de $37.000 \text{ km}^3/\text{año}$.

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

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

La influencia humana en el ciclo hidrológico es notable: cada vez consumimos más agua y estamos sobreexplotando los acuíferos, cada año extraemos más agua de la que se repone con la precipitación anual. Además, para disponer de mayores cantidades de agua dulce, la humanidad procura reducir los desequilibrios en la distribución temporal y espacial de este recurso. Con la acumulación de agua en presas y embalses, se pueden afrontar épocas de escasez de agua (desequilibrio temporal); con los trasvases o transferencias de agua de unas cuencas hidrográficas a otras se persigue solucionar los desequilibrios en la distribución espacial (véase apartado 4.2 sobre gestión del agua).

2. AGUAS CONTINENTALES.

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

El agua, en los continentes, se distribuye de la siguiente manera: 69 % en los glaciares, 30 % en las aguas subterráneas y 1 % en ríos y lagos. La mayor parte de nuestras reservas de agua dulce está

en zonas polares y no es asequible, aunque existen proyectos de remolcar grandes icebergs hasta regiones deficitarias en agua.

2.1. Aguas superficiales.

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

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

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

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

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

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

2.2. Las aguas subterráneas.

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

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

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

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

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

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

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

Otras veces la perforación no es necesaria porque el agua brota espontáneamente en manantiales. Estos aparecen siempre que el nivel freático es cortado por la topografía;

frecuentemente coinciden con puntos del relieve en los que aflora el contacto entre materiales permeables con otros impermeables infrayacentes.

3. LOS OCÉANOS.

3.1. Características generales de las aguas oceánicas.

El conjunto de todos los mares y océanos cubre cerca de las tres cuartas partes de la superficie terrestre, con una profundidad media de unos 3.800 m. Según la distancia a la costa se suelen distinguir dos sectores: la zona nerítica que es la más próxima a la costa y la zona pelágica que es la más alejada, sin que eso implique necesariamente una mayor profundidad. La profundidad de las aguas oceánicas influye directamente en el grado de iluminación: la luz sólo alcanza a las zonas más superficiales que constituyen la zona fótica, único lugar en el que puede tener lugar la fotosíntesis y la vida puede ser relativamente abundante. Por debajo de 100-150 metros comienza la zona afótica en la que la oscuridad es total y la vida muy limitada.

La dinámica de las aguas oceánicas está determinada por sus características físico-químicas, entre las que estudiaremos su composición, temperatura y densidad.

Debido al alto poder de disolución del agua, en el mar existe una gran cantidad y variedad de iones disueltos, entendiéndose como salinidad del agua la cantidad de sales disueltas en ella, que suele expresarse en gramos por kilogramo de agua, es decir, en tanto por mil. Dichas sales proceden de la escorrentía en los continentes y de las emisiones de vulcanismo submarino.

La salinidad del agua oceánica suele oscilar entre el 33 y el 38 por mil, aunque en casos excepcionales puede ser inferior o superior a estos valores y sus variaciones son debidas a diversas causas, como por ejemplo: la formación de hielo, la evaporación, el vulcanismo submarino, las precipitaciones, los aportes de agua dulce continental y el consumo de sales (especialmente carbonato de calcio) por determinados organismos.

La temperatura del agua oceánica varía, tanto en la horizontal (es decir, según la latitud) como en la vertical (es decir, según la profundidad). En superficie, la temperatura del agua oceánica es un reflejo de la temperatura de la atmósfera en contacto con ella, depende de la zona climática. Las variaciones en vertical se deben a que las radiaciones solares son absorbidas en los primeros tramos, por lo que la temperatura disminuye con la profundidad. En los océanos de latitudes medias y bajas, se pueden distinguir tres capas superpuestas:

- Capa superficial: es una zona afectada por la temperatura atmosférica y sometida a una intensa radiación solar, que actúa todo el año en latitudes bajas y en verano en latitudes medias. Esta capa cálida presenta un grosor de 200-500 m, con una temperatura que puede variar de 12 a 30 °C según sea la latitud.
- Termoclina: recibe este nombre una capa, situada inmediatamente debajo de la capa cálida, en la que el descenso de temperatura con la profundidad es muy abrupto. Sus límites son extremadamente variables, según la latitud y la estación del año, pudiendo alcanzar hasta 1.000 m de grosor.

- Agua profunda: se trata de una zona fría donde la temperatura sigue descendiendo con la profundidad, pero muy lentamente.

La densidad del agua de mar es algo mayor que la del agua pura, variando en proporción directa con la salinidad y en proporción inversa con la temperatura. De estos dos factores, tiene una mayor incidencia la temperatura, por lo que el agua más densa es la de los mares polares. La distinta densidad de las masas de agua provoca su desplazamiento, tanto en la horizontal como en la vertical, de manera que las más densas se colocan por debajo de las más ligeras. Así, las variaciones de densidad constituyen un factor determinante de la dinámica oceánica.

3.2.Circulación oceánica.

Con anterioridad hemos estudiado las olas y mareas y su influencia en el modelado costero; recuérdese que la incidencia oblicua de las olas sobre la costa determina una corriente de deriva litoral muy importante. En este apartado trataremos de otras corrientes que no se circunscriben al área litoral.

Una corriente oceánica es un flujo persistente de agua, de componente predominantemente horizontal, cuyo principal efecto a escala planetaria es la redistribución del calor recibido por la Tierra: las corrientes cálidas de agua moderan el gélido clima de las costas árticas, mientras que las corrientes frías suavizan el calor de los desiertos tropicales a lo largo de sus franjas costeras. Algunos autores hablan de la “cinta transportadora oceánica” para referirse a este fenómeno de reparto del calor en el océano global. Se pueden distinguir dos tipos principales de corrientes: las superficiales y las profundas

Las corrientes superficiales se deben a los vientos superficiales permanentes y, más o menos reproducen su trayectoria aunque también la disposición de las masas continentales influye en la trayectoria de las corrientes. Veamos algunos ejemplos:

- Coincidiendo con la zona de los anticiclones subtropicales se producen movimientos giratorios de las masas de agua: en el hemisferio norte el giro se produce en sentido horario y en el hemisferio sur el giro es antihorario.
- Los vientos alisios causan corrientes oceánicas ecuatoriales que se dirigen hacia el oeste hasta que, al aproximarse a los continentes, viran hacia el polo formando corrientes cálidas paralelas a la costa. Destacan la corriente del Golfo (o de Florida) y la corriente de Kuroshio, en Japón, que aportan temperaturas más altas del valor medio a las costas adyacentes.
- Los vientos del oeste producen un lento movimiento del agua. Cuando se aproximan a las costas orientales del océano, estas corrientes se desvían a lo largo de la costa. Entre ellas destacamos la corriente fría de Humboldt (o del Perú).

Las corrientes oceánicas profundas se forman por las diferencias de densidad de las aguas, debido a los cambios de temperatura y salinidad, por lo que también se llaman corrientes termohalinas. El agua fría y densa de los mares polares desciende hacia capas profundas del océano, extendiéndose hacia el ecuador y desplazando hacia la superficie las aguas más cálidas. Las corrientes profundas están condicionadas por la topografía del fondo oceánico, sobre todo por las

dorsales y el talud continental. Lejos de los polos, también influye en estas corrientes el movimiento de rotación terrestre, que provoca una tendencia a recorrer los bordes occidentales de los océanos al pie de los taludes continentales, depositando en ellos sedimentos.

Uno de los efectos de las corrientes oceánicas a escala global es la redistribución del calor recibido por la Tierra. Otra consecuencia, importante sobre todo para los ecosistemas marinos, es el llamado afloramiento, por el cual el agua profunda rica en nutrientes inorgánicos y casi carente de organismos vivos asciende hacia la superficie. Esto ocurre en las zonas costeras occidentales de los continentes, como Perú o Angola, y no en los bordes orientales donde las corrientes superficiales tienden a acumularse por el giro de la Tierra hacia el este.

Este afloramiento de agua más fría y renovadora favorece el desarrollo del plancton y con ello de todos los organismos marinos, incluidos peces y aves. En la cúspide de estas cadenas tróficas prolíficas está el hombre, que encuentra caladeros de pesca abundantes en esas zonas de afloramiento.

En las costas de Perú los vientos alisios empujan hacia el oeste a las aguas del Pacífico provocando el afloramiento. Pero a veces se produce una situación anómala que se conoce como fenómeno de El Niño. Ocurre cada 3-5 años y dura unos 18 meses teniendo su máximo en Navidad. El Niño se produce cuando los vientos alisios amainan y no arrastran el agua oceánica hacia el oeste; entonces no se produce el afloramiento y el agua superficial se caldea y se forma una borrasca que provoca fuertes precipitaciones en zonas que normalmente son áridas.

El impacto del fenómeno del Niño no se limita a una región sino que ha dado lugar a elevaciones de la temperatura media del planeta, lluvias torrenciales e inundaciones en Perú, Mozambique, Zambia y Kenia, graves tormentas en California y sequías en Brasil, África Meridional, Indonesia y Filipinas.

4. RECURSOS HÍDRICOS. NECESIDADES DEL AGUA.

4.1. Usos del agua.

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

- a) Usos agrícolas. Las mayores demandas de aguas subterráneas, de ríos y de lagos son para el riego, aunque también debe incluirse dentro de estos usos la empleada en otras prácticas agrícolas. La utilización del agua como recurso agrícola representa una media del 65% del consumo total a nivel mundial. El consumo de agua está condicionado por las características climáticas de la zona, los tipos de suelos y cultivos, la mecanización agrícola y los sistemas de riego. En relación con este último, es necesario resaltar que la eficiencia del mismo en todo el

mundo es inferior al 40%, dado que en determinadas prácticas agrícolas la mayoría del agua se pierde por evaporación o por canalizaciones en mal estado.

- b) Usos urbanos del agua. Los usos urbanos o domésticos son aquellos que surgen para cubrir las necesidades de agua en el hogar, el comercio o los servicios públicos. El agua empleada procede principalmente de embalses (previamente tratada) y de aguas subterráneas, que tienen menos posibilidades de estar contaminadas. La cantidad demandada está en relación directa con el nivel de vida, el desarrollo económico y la población (un incremento en estos usos del agua es un indicador de un aumento o mejora en la calidad de vida). La cantidad de agua utilizada con fines urbanos supone menos de una décima parte del consumo mundial.
- c) Usos industriales. En este caso se trata de demandas de agua provocadas por los diferentes procesos industriales, en los que este elemento puede tener diversos usos: como materia prima (en las industrias químicas), como agente refrigerante (en las industrias energéticas), como depósito de vertidos, como transporte de materiales y como medio de limpieza. Las cantidades empleadas guardan una relación directa con el mayor o menor desarrollo industrial. La utilización del agua con fines industriales constituye la segunda gran demanda de este elemento a nivel mundial (aproximadamente una cuarta parte del consumo total).
- d) Usos energéticos. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los saltos de agua para accionar unas turbinas y así obtener electricidad. Con este objetivo se construyen embalses que, además, son reservas de agua y reducen el peligro de inundación aguas abajo del embalse. La energía hidroeléctrica es importante en países con escasos recursos petrolíferos. También se puede incluir en este apartado el agua empleada en los procesos de refrigeración de centrales nucleares. Este tipo de usos del agua no supone un consumo de la misma, ya que una vez empleada, y siempre que presente unos índices de calidad adecuados, puede volver a ser utilizada.
- e) Usos en navegación y ocio. El empleo del agua dulce para la navegación necesita de unos caudales fluviales mínimos. Este es un uso no consuntivo, pero puede provocar una pérdida de su calidad que restrinja su utilización posterior; de ahí que las exigencias en cuanto a normativa de seguridad en la navegación fluvial sean mayores que en la navegación marítima. En España la navegación fluvial es escasa, pues únicamente presenta un uso navegable el río Guadalquivir en su último tramo (desde la desembocadura hasta Sevilla), aunque en el pasado también el río Ebro fue utilizado como vía de transporte de materias primas.

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

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

consideramos como ejemplo una cuenca fluvial, estos usos suponen aproximadamente un 10% del total.

4.2. Parámetros para determinar la calidad del agua.

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

Entre los parámetros físicos destacan los siguientes:

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

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

- El oxígeno disuelto (OD) tiene enorme importancia como indicador de calidad, ya que su concentración disminuye al ser utilizado para la degradación de la materia orgánica. Las aguas limpias y corrientes están oxigenadas hasta la saturación.
- La demanda biológica de oxígeno (DBO), que mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Se toma como referencia la demanda de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica en cinco días, por eso se designa como DBO₅. No debe confundirse con la demanda química de oxígeno (DQO) que se determina con un ensayo de oxidación de compuestos orgánicos por la acción de agentes químicos.
- El carbono orgánico total (COT), que mide el contenido de carbono de los compuestos orgánicos. Este parámetro, junto con la DBO y la DQO, informa de la contaminación orgánica del agua.
- El nitrógeno (amoníaco, nitritos y nitratos). La presencia de amonio y nitritos supone contaminación orgánica reciente; esta contaminación suele ir acompañada de la presencia de gérmenes. Amonio y nitritos pueden dar lugar a nitratos que de ser un elemento biolimitante pasa a ser abundante y favorecer la proliferación de algas. Los nitratos también pueden proceder del lavado por las aguas superficiales de los suelos agrícolas tratados con mucho fertilizante.
- El pH que indica la acidez o basicidad y que está en función de los iones H⁺ presentes. Un agua demasiado ácida o básica tiene muchas posibilidades de contener elementos indeseables.

- La dureza, que viene dada por la presencia de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Una elevada dureza puede tener una causa natural, como cuando las aguas discurren por terrenos calcáreos, o puede tener su origen en vertidos contaminantes. El agua dura supone un riesgo de incrustaciones calcáreas en las conducciones.
- Otros parámetros químicos que se pueden determinar son el cloro y el ozono (utilizados en la desinfección), el sulfuro de hidrógeno (que produce mal olor), el dióxido de carbono, los cloruros, sulfatos, fosfatos, metales pesados (muy tóxicos), fenoles, plaguicidas, detergentes, sustancias húmicas, hidrocarburos, etc.

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

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

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

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

4.3. Depuración (autodepuración, depuradoras y potabilizadoras).

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

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

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

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

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

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

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

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

- Concentración en espesadores. Su finalidad es reducir el volumen de los lodos eliminando la mayor parte del agua que contienen.
- Destrucción de la materia orgánica dentro de digestores anaerobios, con producción de biogás (metano y CO₂).
- Deshidratación o eliminación del agua que todavía contienen los lodos.
- Evacuación y traslado a vertederos, o sufrir procesos de incineración o fabricación de compost para su uso en agricultura.

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

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

5. LA GESTIÓN DEL AGUA. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

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

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

La gestión del agua tiene como objetivo el diseño y ejecución de un conjunto de acciones que permitan responder a las demandas actuales de agua, y las que se proyectan en el futuro, y a la calidad requerida para cada uso, respetando el principio del mínimo impacto ambiental. Estas acciones abarcan desde la captación y almacenamiento del agua hasta las políticas de ahorro, pasando por su distribución y transporte, depuración, acondicionamiento y reutilización.

5.1. Medidas de ahorro y racionalización del consumo.

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

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

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

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

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

5.2. Medidas de carácter técnico.

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

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

6.EL AGUA COMO FUENTE DE ENERGÍA.

6.1. Energía hidroeléctrica.

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

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

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

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

distancias que deben recorrer los tendidos eléctricos desde las centrales a las poblaciones, lo que disminuye las pérdidas.

6.2. Energía mareomotriz y energía del oleaje.

Las interacciones del sistema Tierra-Luna-Sol producen unas variaciones en el nivel del mar conocidas como mareas. En zonas costeras con gran diferencia de mareas se generan importantes corrientes hacia tierra durante la marea alta y hacia el mar durante la marea baja. En esta energía se basan los tradicionales molinos de marea de la Bahía de Cádiz.

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

7. IMPACTOS SOBRE LA HIDROSFERA.

7.1. Agentes contaminantes y efectos.

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

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

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

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

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

- La contaminación térmica o calentamiento del agua está provocada por el vertido de aguas que han sido utilizadas como refrigerantes en diversas industrias (térmicas, nucleares, siderúrgicas). La modificación de la temperatura produce una variación en el ciclo vital de muchos organismos, sobre todo de aquellos que son estrechamente dependientes de la misma. El aumento de temperatura produce asimismo, una variación en los niveles de oxígeno disuelto en el agua (a mayor temperatura menor concentración de oxígeno), lo que reduce la capacidad autodepuradora de las aguas.
 - Los sólidos en suspensión. La presencia de partículas coloidales o muy finas en suspensión, tanto orgánicas (restos animales o vegetales) como inorgánicas (lodos, arenas, etc.) producen turbidez en las aguas. Estas partículas provienen principalmente de las industrias y de las explotaciones mineras. La turbidez afecta de manera negativa a la fotosíntesis, ya que disminuye la transparencia de las aguas y con ello la penetración de la luz.
 - Las partículas radiactivas emitidas por los residuos radiactivos generados en las centrales nucleares o en los hospitales, centros de investigación, etc., que producen contaminación radiactiva. Cuando afecta a las células somáticas causa la muerte o lesiones graves, como cáncer, y si afecta a las células germinales puede provocar mutaciones y malformaciones en la descendencia.
- b) La contaminación química es la originada por sustancias químicas muy diversas: sólidas, líquidas o gaseosas, que se presentan disueltas o en suspensión. Proceden, principalmente, de las actividades industriales, aunque ciertas sustancias, como nutrientes orgánicos, detergentes y pesticidas, también tienen un origen doméstico o agrícola. Los contaminantes químicos pueden ser:
- Inorgánicos, como ácidos, álcalis y distintas sales solubles e insolubles, que en muchos casos son sustancias tóxicas. Como anión más tóxico destaca el cianuro, y como metales muy tóxicos el Hg, Cd, Cr o el Pb, y menos tóxicos, el Al o el Fe. Algunas de estas sustancias son biodegradables, caso de los nitratos o fosfatos, pero otras, como los metales pesados (Hg, Pb, Cd, etc.) no lo son. Por biodegradable se entiende toda sustancia que puede ser descompuesta por organismos diversos, especialmente bacterias aerobias. Los ácidos y álcalis causan variaciones en el pH que influyen en los organismos. Las sustancias tóxicas son letales a una cierta concentración, y si la concentración es tolerable se van acumulando en cada eslabón de la cadena tráfica hasta llegar a concentraciones perjudiciales, que afectan sobre todo a las especies situadas en la cima de la pirámide ecológica. Normalmente la mayoría de los metales son tóxicos, pero el envenenamiento por mercurio y plomo causa efectos desastrosos en las comunidades. En cuanto a las sales, los nitratos y fosfatos producen la eutrofización de las aguas.
 - Orgánicos, tales como proteínas, hidratos de carbono, aceites, grasas, ceras, alquitranes, detergentes, que son biodegradables, y pesticidas y otros compuestos de síntesis química, que son poco o nada biodegradables. Los residuos orgánicos de origen doméstico, agrícola y ganadero (purines) producen en las aguas una disminución del oxígeno disuelto, al ser consumido por las bacterias en la descomposición aerobia, y la formación de sustancias indeseables por fermentación anaerobia, tales como ácidos orgánicos o gases (sulfuro de hidrógeno, metano, amoníaco, etc.), que causan malos olores. Merece especial mención la contaminación producida por los detergentes y los pesticidas. Los primeros producen espumas que dificultan el intercambio gaseoso y reducen los procesos biológicos; además,

como contienen polifosfatos eutrofizan las aguas. Los pesticidas son en muchos casos tóxicos y cuando se trata de compuestos poco degradables se van acumulando a lo largo de la cadena trófica.

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

7.2. Las mareas negras.

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

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

La mancha de petróleo impide la penetración de la luz, lo que inhibe la fotosíntesis, por lo que disminuye el fitoplancton, que es la base de las cadenas tróficas marinas. Además el petróleo dificulta el intercambio de gases entre la atmósfera y el mar, con lo cual el oxígeno disuelto disminuye causando la muerte de gran número de organismos, especialmente a los huevos y larvas que son muy sensibles a los contaminantes. Por otra parte, numerosas aves marinas, peces, etc., quedan intoxicados o mueren por hundimiento (al perder flotabilidad), por la ingestión del petróleo que obstruye los conductos digestivos o al no poder desplazarse por estar impregnados.

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

La limpieza de las aguas es posible, ya que de manera natural el petróleo sufre una serie de procesos físico-químicos y biológicos que permiten su eliminación. Así, los productos más volátiles se evaporan y en la atmósfera se oxidan formando agua y CO₂. El petróleo que permanece en superficie sufre una fotooxidación, se disuelve, en una pequeña cantidad, o se emulsiona, y los productos más pesados del crudo se depositan en los fondos marinos. Una determinada cantidad de

petróleo, disuelto o emulsionado, es asimilada por diversos organismos, pero la mayor parte se va degradando poco a poco por oxidación bacteriana en los fondos.

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

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

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

7.3. La eutrofización.

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

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

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

En este proceso podemos diferenciar tres etapas:

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

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

7.4. Impactos sobre las aguas subterráneas.

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

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

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

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

- El agua subterránea no puede autodepurarse del mismo modo que las corrientes superficiales. Esto se debe a la escasez de oxígeno disuelto y de organismos descomponedores, así como a la dificultad de dilución y dispersión de los contaminantes.

- La gran lentitud en el desplazamiento del agua subterránea implica que la expulsión de los contaminantes al exterior de acuífero tarda cientos de años.
- La evaluación y el control de la verdadera extensión de la contaminación subterránea, así como la purificación artificial de los acuíferos, son muy difíciles y costosos.

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

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

IV. BIOSFERA.

1. EL ECOSISTEMA.

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

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

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

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

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

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

Para un organismo concreto los factores bióticos son los demás organismos con los que interactúa, ya sean de su misma especie como de otras. Las relaciones con los de la misma especie o intraespecíficas pueden ser de competencia, como en los animales territoriales, o de cooperación

como la de los animales que se agrupan en familias o en grupos mayores para buscar alimento o por razones reproductivas, defensivas, etc. También hay varios tipos de relaciones interespecíficas, es decir entre organismos de distintas especies: competencia, depredación, parasitismo, mutualismo, comensalismo, etc.

2. EL CICLO DE MATERIA EN LOS ECOSISTEMAS.

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

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

El azufre y el fósforo tienen su principal reserva en la litosfera; los procesos de meteorización liberan lenta, pero continuamente, los elementos presentes en las rocas sedimentarias y los incorporan al suelo. Estos ciclos son mucho más lentos y tienden a estancarse, al incorporarse el elemento a los sedimentos profundos del océano o de lagos profundos, quedando inaccesible para los organismos.

2.1. Ciclo del carbono

Este elemento es abundante en la atmósfera en forma del gas CO₂. Los autótrofos lo utilizan directamente en la fotosíntesis para producir glúcidos. El carbono regresa a la atmósfera como CO₂ por medio de la respiración de los productores, de los consumidores y, sobre todo, de los descomponedores, casi al mismo ritmo con que es retirado de ella. Una cantidad adicional procede de la combustión, accidental o natural, de la madera.

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

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

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

En el caso de las calizas y mármoles el carbono queda retenido en la litosfera que actúa como sumidero. Se puede cerrar el ciclo si esas rocas emergen y su meteorización devuelve el CO_2 a la atmósfera. El carbono también puede retornar a la atmósfera si las rocas carbonatadas se ven afectadas por el vulcanismo.

2.2. Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es un componente fundamental de los seres vivos que se encuentra sobre todo en las proteínas. En la atmósfera es muy abundante (78%) pero, a diferencia del carbono, las plantas no pueden asimilar el nitrógeno directamente de la atmósfera en forma gaseosa (N_2). Por esta razón, deben tomarlo del suelo, donde no es abundante, en forma de nitratos.

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

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

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

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

También hay intervenciones humanas en el ciclo del nitrógeno: la industria de fertilizantes que realiza la fijación del nitrógeno atmosférico, el abonado excesivo de los cultivos que provoca una liberación de óxidos de nitrógeno a la atmósfera, los motores de combustión también liberan NO_x que favorecen el efecto invernadero y la lluvia ácida.

2.3. Ciclo del fósforo

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

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

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

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

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

3. EL FLUJO DE ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS.

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

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

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

Las cadenas más populares son las de depredadores: comienzan en los productores, que asimilan los nutrientes minerales del entorno abiótico; siguen con los herbívoros, que se alimentan de ellos y que serán comidos, a su vez por carnívoros, que son presa de otros carnívoros, etc. En general se cumple que los organismos situados en la base de una cadena son relativamente

abundantes, mientras que los situados en el extremo están en número mucho menor. Estas cadenas no pueden alargarse demasiado debido a la limitación de espacio del ecosistema; es raro que haya más de cinco eslabones.

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

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

Según se va movilizando la energía a través de una red alimentaria, la mayor parte se va perdiendo en la respiración celular de sus organismos. Del 80 al 90% de la energía que reciben los seres de un determinado nivel trófico la utilizan para mantenerse, crecer y reproducirse. La llamada regla del diez por ciento establece que sólo alrededor del 10% de la energía procedente de un nivel trófico es útil para los organismos del nivel siguiente. Es decir, que la energía total contenida en un nivel trófico es la décima parte de la que tenía el nivel precedente. Por eso, en las redes tampoco hay más de cuatro o cinco niveles.

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

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

- a) Pirámides de números. Las pirámides de números son aquellas cuyos escalones son proporcionales al número de individuos que se encuentran en el ecosistema. Permiten establecer el número de herbívoros que soportan los autótrofos, el de carnívoros primarios que comen herbívoros, y así sucesivamente. En algunos casos las pirámides de números tienen forma invertida: cuando los productores primarios son muy grandes en relación con los herbívoros.
- b) Pirámides de biomasa. Las pirámides de biomasa son mucho más representativas que las anteriores. Sus distintos escalones corresponden a las biomásas de cada categoría. Su interés estriba en que ponen en evidencia la cantidad de materia viva presente en cada nivel trófico, aportando información sobre la composición y el funcionamiento del ecosistema. En la mayoría de las pirámides de biomasa aparece un ancho rectángulo de productores que soporta al de los consumidores, mucho más estrecho. En ocasiones, pueden darse pirámides invertidas, como las de los ecosistemas marinos donde la biomasa de fitoplancton es menor

que la biomasa de zooplancton. ¿Cómo se puede mantener el zooplancton? La explicación es que el fitoplancton se renueva muy rápidamente, puede duplicar su biomasa en un día, y no se agota a pesar de que el zooplancton sea abundante.

- c) Pirámides de energía. Las pirámides de energía, también llamadas pirámides de producción, aportan una idea precisa de los intercambios energéticos en el interior del ecosistema. Cada peldaño de la pirámide es proporcional a la energía utilizada por el nivel en un período de tiempo, normalmente un año. Esto representa la energía que un nivel pone, en una unidad de tiempo, a disposición del nivel trófico superior, es decir, del que vive a sus expensas. En función de la ley del 10%, estas pirámides deben ser forzosamente decrecientes hacia arriba, con una progresiva reducción del flujo energético, dado que cada nivel trófico tiene a su disposición únicamente una fracción del que lo precede, que es del orden del 10%.

4. LA PRODUCCIÓN BIOLÓGICA.

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

La biomasa es la cantidad en peso de materia orgánica viva o muerta de cualquier nivel trófico o de cualquier ecosistema. La biomasa se mide en kilogramos, gramos, miligramos, etc., aunque es frecuente expresarla en unidades de energía: un gramo de materia orgánica equivale a 4 ó 5 kilocalorías. Normalmente, al calcularla hacemos referencia a su cantidad por unidad de área o volumen, por lo que es frecuente expresarla de este modo: gC/cm², kgC/m², tmC/ha, etc. (C representa la materia orgánica.)

La producción representa la cantidad de energía que fluye por cada nivel trófico; podemos hablar de producción primaria (energía fijada por los productores) y de producción secundaria (energía fijada por los consumidores). Se suele expresar en gC/m² · día, kcal/ha · año, julios o vatios.

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

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

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

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

5. AUTORREGULACIÓN DEL ECOSISTEMA.

5.1. Mecanismos de autorregulación.

a) Tolerancia y factores limitantes.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c) Dinámica de comunidades.

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

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

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

Las relaciones interespecíficas, es decir entre especies diferentes, también sirven como mecanismo de regulación del tamaño de las poblaciones. Designando un efecto perjudicial con un signo (-), un efecto nulo con un cero (0), y un efecto beneficioso con un signo (+), podemos caracterizar las principales interacciones de la siguiente forma:

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

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

5.2. Sucesión y regresión de los ecosistemas.

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

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

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

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

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

- La diversidad aumenta. La comunidad clímax presenta una elevada diversidad que implica la existencia de un gran número de especies.
- La estabilidad aumenta. Las relaciones entre las especies que integran la biocenosis son muy fuertes, existiendo múltiples circuitos y realimentaciones que contribuyen a la estabilidad del sistema.
- Cambio de unas especies por otras. Las especies pioneras u oportunistas colonizan, de forma temporal, los territorios no explotados. Se pasa de forma gradual de las especies r estrategias, adaptadas a cualquier ambiente, a especies k estrategias, más exigentes y especialistas.
- Aumento en el número de nichos. Este incremento es debido a que cuando se establecen relaciones de competencia, las especies r son expulsadas por las k, que ocupan sus nichos. El resultado final es una especie para cada nicho y un aumento en el número total de ellos.
- Disminuye la productividad: la comunidad clímax es el estado de máxima biomasa y mínima tasa de renovación.

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

El ser humano, al explotar los ecosistemas, ha sobrestimado la capacidad de autorregulación de los mismos provocando regresiones importantes mediante talas, incendios, utilización agrícola, explotación silvícola, pastoreo, ocupación urbana e industrial, contaminación, introducción de especies nuevas, etc.

6. RECURSOS DE LA BIOSFERA.

6.1. Recursos alimentarios.

En época prehistórica los humanos eran cazadores y recolectores; la búsqueda del alimento obligaba a una vida nómada. La domesticación de animales y de plantas permitió tener una fuente de alimentos estable; al tiempo que surgían la ganadería y la agricultura aparecieron también los primeros asentamientos estables. Este conjunto de cambios, iniciado hace 10.000 años, se conoce como revolución neolítica y, desde entonces nuestros alimentos proceden básicamente de la agricultura, la ganadería y la pesca.

a) Agricultura.

La agricultura es el conjunto de actividades humanas dirigidas a transformar el medio natural para favorecer el crecimiento de las plantas necesarias para el consumo humano. Las especies más cultivadas son el trigo, el arroz y el maíz. También se cultiva con fines distintos a los alimenticios; así hay plantas forrajeras como la alfalfa, plantas textiles como el algodón, plantas medicinales, plantas aromáticas, etc.

A mediados del siglo XX se produjo la revolución verde, nombre con que se conoce al desarrollo de fertilizantes, plaguicidas y una serie de innovaciones que permitieron multiplicar la producción agrícola (aunque no consiguió reducir el hambre en el mundo). Desde entonces se está generalizando la agricultura intensiva caracterizada porque se dedican grandes extensiones, generalmente en zonas llanas, al monocultivo buscando el máximo rendimiento mediante el uso de fertilizantes, plaguicidas, selección de semillas, mecanización intensa, etc.

Sin embargo, las nuevas técnicas agrícolas también tienen sus inconvenientes. Los setos, que antiguamente demarcaban las pequeñas parcelas y que eran refugio de vida silvestre, han desaparecido. Las tierras desnudas, roturadas por los tractores, sufren una importante erosión y su cultivo continuo, sin descanso, deja a las tierras sin nutrientes. El uso abusivo de insecticidas, herbicidas y fertilizantes provoca problemas de salud en los consumidores, hace que las aguas superficiales sufran eutrofización y que se contaminen aguas subterráneas; además, la proliferación de los cultivos de regadío en antiguas zonas de secano provoca el agotamiento de los acuíferos. La selección de semillas realizada por unas pocas multinacionales está acabando con la variabilidad genética de muchas regiones al tiempo que implica que los agricultores dependan de los diseños de esas multinacionales.

Es preciso asegurar que nuestras tierras de cultivo sigan alimentando a las generaciones futuras. Los ingenieros agrónomos defienden la agricultura de conservación, una serie de prácticas agrícolas que pretenden evitar la erosión de los suelos limitando el arado excesivo, entre otras medidas. El agotamiento de los nutrientes del suelo se puede evitar con la rotación de cultivos y con el abonado natural; así se hacía en las explotaciones tradicionales donde la agricultura y la ganadería estaban íntimamente unidas. Simultáneamente hay que evitar la sobreexplotación de acuíferos. Se debe fomentar el uso de las semillas y especies autóctonas de cada región como las más adaptadas a esa región; en todo caso se deberían constituir bancos de semillas y de material genético en cada región y evitar la dependencia exterior.

Muchas de estas prácticas se engloban bajo la denominación de agricultura ecológica que podemos definir como sistema de gestión de la explotación agraria que implica grandes restricciones en el empleo de fertilizantes y plaguicidas para obtener productos agrícolas de calidad sin que contengan residuos químicos, respetando el medio ambiente.

b) Ganadería.

Ganadería es el conjunto de actividades de crianza y mantenimiento de animales útiles a la especie humana porque proporcionan carne, huevos, leche, lana... Se acostumbra a distinguir el ganado mayor (vacas, cerdos, ovejas, cabras) del ganado menor (conejos y aves de corral).

Al igual que en la agricultura, se puede distinguir una ganadería extensiva y una ganadería intensiva. La primera es la ganadería tradicional o de pastoreo, caracterizada porque los animales están sueltos en amplias extensiones, normalmente terrenos esteparios vacíos.

La ganadería intensiva consigue una mayor productividad mediante la estabulación del ganado al que se alimenta continuamente con piensos preparados expresamente. Esto implica que

muchas tierras de cultivo se destinen a plantas forrajeras y no a plantas que pueden alimentarnos directamente, lo cual sería ecológicamente más eficiente (regla del 10%) y moralmente más justo.

La ganadería industrial o intensiva busca las razas de mayor productividad, aunque la carne no sea de más calidad, por lo que se crían, por ejemplo, los mismos tipos de vacas en lugares muy diferentes del planeta. De nuevo se pierde variabilidad genética.

Otro problema de las grandes explotaciones ganaderas es la acumulación de estiércol que puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas si no se depuran convenientemente. Recuérdese que en las explotaciones tradicionales los excrementos no son un problema sino un abono muy valorado.

c) Pesca.

La pesca es el conjunto de actividades humanas encaminadas a capturar animales acuáticos: peces de los fondos como bacalao, raya y lenguado, peces de las aguas superficiales como sardina, boquerón, atún, salmón y caballa; moluscos como el calamar, el pulpo, las almejas y los mejillones; crustáceos como las gambas, los cangrejos, etc. No todas las capturas se destinan a nuestra alimentación, una buena parte se dedican a la fabricación de piensos y abonos.

Se reconocen tres tipos de pesca: recolección a pie, en zonas descubiertas durante la bajamar, denominada frecuentemente marisqueo ya que los principales animales capturados son los moluscos; pesca de bajura, realizada en barco cerca de la costa, y pesca de altura, también en barco pero lejos de la costa.

El principal problema de la pesca es el agotamiento de los recursos: se pesca a un ritmo superior a la tasa de renovación. La presión de los pescadores (y de los que comemos pescado) ha llevado a algunas especies al borde de la extinción. Las artes de pesca modernas son muy eficaces pero han aumentado el número de capturas involuntarias de inmaduros, tortugas, delfines, etc. En otros casos la reducción de vida en los caladeros no se debe a la presión pesquera sino a la degradación y contaminación de los ecosistemas costeros.

Parte del problema se puede resolver con una normativa pesquera que establezca dónde, cuándo, cuánto y cómo. “Dónde” porque hay áreas especialmente vulnerables que deben ser protegidas. “Cuándo” porque es necesario establecer vedas o períodos en los que esté prohibido pescar especies que se están reproduciendo; también porque son necesarias paradas biológicas, que pueden durar años, durante las cuales no se pueden pescar algunas especies para que se puedan recuperar poblaciones en peligro de extinción. “Cuánto” porque hay que determinar para cada especie su cuota pesquera, cantidad máxima que puede pescar cada país. Finalmente hay que establecer “cómo” ya que no todas las artes de pesca son válidas en todas las circunstancias; las redes de arrastre de fondo, por ejemplo, perjudican a todas las formas de vida que habitan los fondos marinos, incluidas las que no tienen interés pesquero.

El problema del agotamiento de los recursos pesqueros encuentra también solución en la acuicultura. Se entiende por acuicultura la cría más o menos intensiva de especies acuáticas (peces, crustáceos o moluscos). Podemos decir que la acuicultura es a la pesca lo que la ganadería es a la

caza. En la acuicultura de agua dulce destaca la producción de truchas. En la acuicultura marina son tradicionales los cultivos de ostras, mejillones, langostinos, gambas, doradas, lenguados, anguilas...

6.2. Recursos forestales.

Los bosques aportan muchos beneficios directos a la humanidad: la madera que utilizamos como materia prima en la construcción de múltiples muebles y objetos de nuestras casas; la leña y el carbón vegetal que se usan como combustibles; la celulosa necesaria para fabricar el papel; el corcho, la resina, los piñones, las plantas aromáticas, las plantas medicinales... Sin los bosques se verían muy limitadas actividades como la caza, la pesca, la apicultura, la recolección de setas, el senderismo y las actividades de ocio en la naturaleza.

Además, los bosques son beneficiosos para nosotros de una forma indirecta, porque influyen en el medio ambiente que nos rodea. Así, debemos agradecer a los bosques la creación de suelo y su protección frente a la erosión, el control de las inundaciones y el almacenamiento de agua, la producción de oxígeno atmosférico y la reducción del dióxido de carbono, la moderación de los cambios climáticos, el mantenimiento de la biodiversidad, etc.

A pesar de todos estos beneficios, continúan reduciéndose las superficies arboladas, casi siempre por la acción humana que tala los árboles y provoca o favorece los incendios forestales. Una vez producida la deforestación, si no se pone remedio rápidamente, los suelos se erosionan y resulta muy difícil y lenta la recuperación del bosque. A la deforestación se añade otro problema, la sustitución de los árboles autóctonos por árboles foráneos de rápido crecimiento; el caso más llamativo es el del eucalipto, natural de Australia, que ahora ocupa amplias zonas de nuestro país.

Al problema de la deforestación hay que hacer frente con austeridad, reduciendo el consumo de madera, de leña y de papel. Todos estamos de acuerdo en que no se sigan talando árboles en la cuenca del Amazonas pero las selectas maderas tropicales vienen a Europa y al Primer Mundo donde son demandadas; así pues deberíamos plantearnos nuestra responsabilidad en este problema. En cuanto al papel disponemos de una alternativa sencilla: utilizar papel reciclado para que no haya que talar más árboles que son los que proporcionan la celulosa.

En cualquier caso, siempre habrá que cortar árboles pero hay que compensarlo con campañas de reforestación bien planificadas, de forma que la masa forestal se mantenga. Tenemos que explotar los bosques pero no expoliarlos. Un buen ejemplo de desarrollo sostenible es la gestión de los alcornocales: cada 8-10 años se realiza el descorche dejando tiempo al alcornoque para que se recupere; así se mantiene la masa forestal al tiempo que se obtiene un recurso muy valioso.

6.3. Recursos energéticos de la biosfera.

La biomasa puede contribuir a paliar el déficit energético actual, ya que es renovable, barata, limpia y requiere tecnologías poco complejas. Es proporcionada por una gran diversidad de productos, entre los que se incluyen los forestales (leña, madera o desechos madereros), desechos agrícolas (paja), desechos animales (excrementos procedentes de granjas) y basura (papel, cartón, restos de alimentos).

La leña sigue siendo el combustible básico en muchas zonas del planeta. Su uso abusivo pone en peligro los bosques, por eso, cuando hablamos de “energía de la biomasa” solemos referirnos a aplicaciones novedosas de esa energía. Una de ellas consiste en aprovechar el gas procedente de la descomposición anaerobia de los restos orgánicos en los vertederos de basura y de los lodos en las E.D.A.R.; en ambos casos se genera biogás con un 60 % de metano. Del biogás puede obtenerse electricidad en las centrales térmicas.

Uno de los problemas de las principales energías alternativas (hidráulica, eólica, solar) es que están destinadas a transformarse en energía eléctrica y no pueden sustituir, hoy por hoy, a los combustibles líquidos que mueven nuestros vehículos. Es cierto que existen vehículos eléctricos pero sus prestaciones y autonomía son muy limitadas. Por eso son necesarios nuevos combustibles y, al parecer, los mejores candidatos son los biocombustibles, es decir los generados a partir de la biomasa. El etanol, por ejemplo, se puede obtener de la fermentación y posterior destilación de cereales, remolacha y caña de azúcar; se ha probado con éxito en motores de explosión una mezcla de etanol con gasolina. De forma parecida se consigue metanol a partir de restos agrícolas. Otra alternativa muy interesante es la de utilizar aceites vegetales en vehículos con motor diesel porque no exige cambios en dichos motores; en Brasil, por ejemplo, está muy extendido el uso del biodiesel.

Los biocombustibles son la gran esperanza ante el agotamiento del petróleo, pero también pueden ser una fuente de conflicto cuando se desvía un producto alimentario, como ha pasado con el maíz, a la generación de combustible. Esto ha hecho que el precio del maíz se haya disparado y que no puedan acceder a él millones de personas en América Latina que lo consumen como alimento básico.

7. IMPACTOS SOBRE LA BIOSFERA.

7.1. Deforestación.

En la actualidad se está produciendo, a nivel planetario, una degradación y una desaparición alarmante de las formaciones forestales. El 50% de las superficies boscosas ha sido ya talado, mientras que solo un 6% de los bosques existentes gozan de algún tipo de protección. El caso más grave es el de los bosques tropicales (pluvisilvas), que representan el 14% de la superficie emergida del planeta. Estas selvas pierden todos los años el 1% de su superficie total y tienen el problema de que, al no existir apenas materia orgánica en el suelo, debido al rápido reciclaje de la misma, la deforestación masiva conduce a un empobrecimiento total y es difícil la recuperación del bosque.

El motivo principal de la regresión forestal es la sobreexplotación a que están sometidos los bosques del planeta. La demanda de madera y papel aumenta continuamente. Aproximadamente un tercio de la madera producida se destina a la fabricación de papel, principalmente procedente de bosques templados y de plantaciones adecuadas. El mayor problema reside en los países en vías de desarrollo productores de madera, que buscan beneficios a corto plazo con la venta de la madera a los países ricos del Norte. Esta necesidad provoca una desaparición del bosque, derivada de las siguientes causas:

- Las talas a matarrasa, sin posterior repoblación. Esta ha sido la causa de la deforestación en África (y su consecuente desertización) y de la que están sufriendo otras pluvisilvas en la actualidad.
- La transformación de zonas forestales en suelos agrarios o urbanos, junto a las prácticas agrícolas inadecuadas, como son el laboreo excesivo, los monocultivos y la aplicación excesiva de fertilizantes químicos y plaguicidas, que contaminan el terreno y las aguas.
- El impacto de otros sectores industriales, como la minería y la agroindustria.
- Las técnicas forestales inadecuadas. Algunas de ellas son: la excesiva repoblación con especies no autóctonas de crecimiento rápido, que no se adaptan y esquilman el suelo; la sustitución del bosque por vegetación no forestal; la apertura de pistas forestales en terrenos con alto riesgo de erosión, lo que produce acarcavamientos y desaparición de la cubierta vegetal; el excesivo desbroce del sotobosque; el uso de maquinaria pesada y vehículos todoterreno en el interior de los bosques, que descarnan el suelo o lo compactan; la contaminación atmosférica, sobre todo la lluvia ácida.

Mención especial merecen los incendios forestales. Los incendios producen dos tipos de impactos: unos económicos (pérdida de madera, corcho...) y otros de alteración y rotura del equilibrio ecológico (destrucción de la cubierta vegetal, degradación del suelo y contaminación de los recursos hídricos).

En los terrenos deforestados por los incendios es mayor el impacto directo de la lluvia sobre el suelo, que ha perdido su efecto regulador sobre las aguas de arroyada. Por eso se producen los fenómenos de erosión con lo que se dificulta la implantación de una nueva cubierta vegetal; en algunos casos esta situación puede conducir a la desertización. La erosión de suelos tiene otro efecto perjudicial: la colmatación de los embalses que pierden capacidad de almacenar agua.

Para evitar o reducir los daños de los incendios forestales, todos los países mediterráneos han puesto en marcha tres tipos de medidas:

- Prevención. Información y educación a los ciudadanos con el fin de evitar los incendios accidentales. Toma de medidas legales, que implican la aplicación de penas apropiadas para castigar a los incendiarios. Desarrollo de una gestión forestal que reduzca la cantidad de materia inflamable en los ecosistemas y propicie la creación de cortafuegos.
- Predicción y detección. Desarrollo de métodos de predicción de las zonas de alto riesgo de incendios y establecimiento de redes de vigilancia.
- Extinción. Existencia de medios técnicos y personal capacitado y en número suficiente para actuar desde el aire o por tierra, con rapidez y eficacia.

7.2. Pérdida de biodiversidad.

Tradicionalmente se ha entendido diversidad biológica como el número de especies de un ecosistema. Ha pasado a ser un término conocido por la opinión pública a partir de la Cumbre de Río de Janeiro (1992) en la que se aprobó el Convenio sobre Diversidad Biológica. En este Convenio se recoge un concepto más amplio de biodiversidad con tres componentes:

- Biodiversidad genética. Sin la gran variabilidad de genes que contienen las poblaciones, las especies serían incapaces de adaptarse al entorno y evolucionar bajo la acción de la selección natural.
- Diversidad de especies. Sin la diversidad de especies, las biocenosis se empobrecerían, se harían más vulnerables a las variaciones ambientales y se verían alterados los flujos de materia y energía en los ecosistemas y la biosfera.
- Diversidad de ecosistemas. Una reducción en la diversidad de ecosistemas, con la desaparición de ambientes (hábitats) que ello implicaría, repercutiría sobre la diversidad global de especies, ya que estas constituyen biocenosis ligadas a biotopos concretos.

La diversidad ha sufrido grandes cambios a lo largo de la historia de la Tierra. En la actualidad, la Tierra presenta la mayor diversidad que ha tenido a lo largo de su historia, tras las cinco grandes extinciones, acaecidas en los momentos finales del Ordovícico, el Devónico, el Pérmico, el Triásico y el Cretácico. El número de especies descritas, esto es, que han recibido un nombre científico, asciende a 1,7 millones. Sin embargo, no se conoce el número real que existe en el planeta. Las estimaciones más modestas las calculan en cuatro millones, aunque hay científicos que piensan que pueden llegar a los treinta o incluso a los cien millones.

Cada año se describen aproximadamente 10.000 especies nuevas. Entre ellas, los insectos representan el 62% de los nuevos especímenes descubiertos, mientras que de mamíferos sólo se descubren de 15 a 20 especies por año (básicamente roedores y murciélagos o pequeños primates sudamericanos), y de aves (el grupo mejor catalogado), únicamente una o dos. Todos estos descubrimientos se hacen fundamentalmente en las regiones tropicales, en los ecosistemas con más biodiversidad: las selvas tropicales y los arrecifes de coral.

España tiene un alto nivel de riqueza biológica, ya que posee el 54% de la biodiversidad europea. España alberga del 80 al 90% del total de plantas superiores y el 65% de los vertebrados presentes en los países de la Unión Europea. Destacan los mamíferos (79%) y las aves (74%). Sin embargo, existen graves problemas de conservación de esta diversidad: son numerosos los endemismos vegetales en peligro de extinción y una cuarta parte de nuestros vertebrados están considerados como especie “en peligro”, “vulnerable” o “rara”.

La actividad humana está provocando la desaparición de muchas especies incluso antes de que sean descritas por los científicos. ¿Es realmente importante conservar la biodiversidad? Es bueno para el equilibrio ecológico: los ecosistemas más ricos en especies presentan una compleja red de interacciones que le dan estabilidad al ecosistema. Además la humanidad puede beneficiarse de la biodiversidad obteniendo materias primas, medicinas, alimentos, etc

A pesar de que la transformación de los ecosistemas y la desaparición de especies son procesos naturales, se constata que las actividades humanas están acelerando la destrucción de hábitats y la extinción de numerosas especies de organismos. Podemos citar las siguientes causas de desaparición de especies en el planeta:

- Degradación y fragmentación de los hábitats.
- Introducción de especies exóticas.

- Explotación excesiva de las especies.
- Contaminación de la atmósfera, el suelo y las aguas.
- Cambio climático producido por el efecto invernadero.
- Industrialización agrícola y forestal que lleva a los monocultivos intensivos y a un acelerado proceso de deforestación.

Las actividades humanas son responsables en más de un 99% de la extinción de especies, y a una velocidad mucho mayor que la constatada en el registro fósil. Como medidas más urgentes para atajar este problema podemos citar la protección de áreas geográficas donde se encuentran las especies en peligro, así como la creación de bancos de genes y semillas que garanticen su supervivencia. Pero también son necesarias soluciones a largo plazo: teniendo en cuenta que los mayores responsables de pérdida de biodiversidad son la deforestación y el cambio climático, urge un cambio profundo en nuestra sociedad, reduciendo los niveles de consumo y el uso de los combustibles fósiles.

7.3. Residuos sólidos urbanos y su tratamiento.

Véase el apartado 5 del tema siguiente.

V. LA HUMANIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE.

1. EL MEDIO AMBIENTE COMO SISTEMA.

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. El medio ambiente no es sólo un conjunto de muchos componentes, es un sistema, es decir, sus componentes están interrelacionados lo que le proporciona organización, estabilidad y equilibrio al conjunto. Pensemos, por ejemplo, en la temperatura terrestre influida por la radiación solar, por los gases de invernadero, por el efecto albedo, por la posición astronómica de la tierra, por la actividad de los seres vivos... Todos estos factores hacen que la temperatura media del planeta se mantenga dentro de unos márgenes que permiten la vida sobre la Tierra.

A veces, para abordar el estudio de un sistema complejo, éste se divide en subsistemas que se analizan por separado. Así, el planeta Tierra es un sistema que incluye cuatro sistemas terrestres menores o subsistemas:

- **Atmósfera:** capa más externa del planeta en estado gaseoso.
- **Hidrosfera:** capa discontinua de agua que envuelve la superficie líquida del planeta. Comprende fundamentalmente el agua líquida, continental y oceánica, y el hielo glaciar, aunque una pequeña cantidad forma parte de la atmósfera y de los seres vivos.
- **Geosfera:** componente de estructura rocosa que es el subsistema terrestre de mayor volumen. A las Ciencias Ambientales les interesa sobre todo su parte externa o litosfera.
- **Biosfera:** sistema constituido por todos los seres vivos que habitan la Tierra y que 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, son construcciones humanas para facilitar la comprensión de lo complejo, no existen en la realidad. Todos los subsistemas se mezclan conociéndose como interfases las zonas de contacto entre ellos; las dos interfases más importantes son el suelo y el litoral.

Los seres humanos sufrimos la violencia de las catástrofes naturales (riesgos) pero también 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 alteraciones del medio natural (impacto ambiental) y originan una serie de desechos que abandonamos porque no nos son útiles (residuos). Así pues, la relación del hombre con la naturaleza se puede estudiar, y así se hace en los siguientes apartados, considerando estos cuatro conceptos: recursos, riesgos, impactos y residuos.

2. RECURSOS.

Entendemos por recurso toda forma de materia, energía o información necesaria para cubrir las necesidades fisiológicas, socioeconómicas y culturales de la humanidad. Se diferencian los 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. Los recursos no renovables, una vez extraídos y utilizados, son imposibles de reponer, al menos a escala humana.

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

a) Recursos de la geosfera:

- Recursos metalíferos.
 - Minerales metalíferos.
 - Minerales usados como fertilizantes.
 - Materiales de construcción.
- Recursos energéticos.
 - Combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural).
 - Energía nuclear.
 - Energía geotérmica.

b) Recursos de la atmósfera: recursos energéticos.

- Energía solar.
- Energía eólica.

c) Recursos de la hidrosfera: usos del agua.

- Usos consuntivos:
 - Agrícola.
 - Industrial.
 - Urbano.
- Usos no consuntivos:
 - Energía hidroeléctrica y mareomotriz.
 - Navegación y ocio.
 - Usos ecológicos.

d) Recursos de la biosfera:

- Recursos alimentarios:
 - Agricultura.
 - Ganadería.
 - Pesca.
- Recursos forestales.
- Recursos energéticos: biomasa.

3. RIESGOS.

Riesgo es toda fuente de peligro que puede causar daños y la probabilidad de que dichos daños se produzcan. El riesgo no depende sólo de la peligrosidad de un fenómeno; también influye la exposición, es decir, la cantidad de personas y bienes materiales que pueden sufrir el acontecimiento peligroso.

Algunos riesgos, como un escape radiactivo o una marea negra, se consideran riesgos inducidos o tecnológicos, puesto que están directamente relacionados con la acción humana. Muchos incendios forestales también son provocados o influidos por las actividades humanas. La mayoría de las víctimas asociadas a riesgos son debidas a inundaciones, que son riesgos naturales; los terremotos y los volcanes también son riesgos naturales. Como en el caso de los recursos, proponemos una clasificación de los riesgos naturales que se corresponde con los cuatro sistemas terrestres:

a) De origen geológico.

- Debidos a la geodinámica interna:
 - Volcanes.
 - 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.

La prevención de riesgos en una región determinada requiere un estudio previo de los antecedentes históricos; así, las regiones que han sufrido terremotos son las que tienen más probabilidad de sufrirlos en el futuro. Con el estudio histórico se elabora un mapa de peligrosidad que, combinado con un mapa de exposición, es la base para el mapa de riesgo. Estos mapas son fundamentales en las tareas preventivas, en particular en la ordenación del territorio.

Hay un grupo de medidas preventivas que se conocen como medidas estructurales. Para evitar inundaciones, por ejemplo, se pueden construir diques, aumentar el cauce de los ríos y, sobre todo, construir embalses para reducir el caudal punta. Las medidas estructurales tienen especial importancia frente a los terremotos: los mismos temblores que en Irán causan centenares de muertos, apenas producen víctimas en Japón donde las viviendas son sismorresistentes.

Las medidas de protección civil son fundamentales para evitar víctimas: se trata de coordinar a los científicos con los políticos, poner en marcha las alarmas necesarias, organizar la evacuación, etc.

Si se dispone de un registro histórico de siglos se puede saber aproximadamente cada cuánto tiempo se produce el fenómeno religioso (período de retorno), aunque esto no nos dice exactamente cuándo 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 son muy precisas gracias a la información que nos proporcionan satélites como el Meteosat. También existen algunos precursores volcánicos que pueden anunciar una erupción inminente, pero todavía no disponemos de una predicción sísmica fiable.

4. IMPACTOS.

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. Los impactos pueden clasificarse en cuatro grupos:

a) Impactos sobre la geosfera:

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

b) Impactos sobre la atmósfera:

- Efectos 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.

- Disminución de efectivos.
- Destrucción de ecosistemas.
- Regresiones.
- Pérdida de la riqueza genética.

Reducir el impacto de las actividades humanas es una necesidad imperiosa. Los ciudadanos deben asumir estilos de vida más austeros pero, además, son necesarias medidas legales, fiscales, financieras, de ordenación del territorio, de educación ambiental... Estas medidas son comunes a otros problemas ambientales ya tratados a lo largo del curso; en el caso que nos ocupa, debemos hacer una mención especial de 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. Deberá 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 varios especialistas: biólogos, químicos, geólogos, geógrafos, economistas, etc. La herramienta de trabajo habitual es la matriz de impacto ambiental, un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones que pueden provocar alteración y en cuyas filas aparecen los factores o elementos del medio susceptibles de ser alterados:

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

Una de las matrices más conocidas es la de Leopold que recoge un total de 100 acciones y 88 factores ambientales. En cada casilla se valora el impacto de cada acción sobre cada factor 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 produjeron en el año 1996 unos 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. 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.

6. POBLACIÓN HUMANA Y MEDIO AMBIENTE.

En los últimos 25 000 años, la población de *Homo sapiens* ha pasado de unos 3 millones a 6.000 millones de individuos y continúa creciendo, aunque no siempre lo ha hecho al mismo ritmo:

1. Se considera que en el primer período, hace entre 25.000 y 10.000 años, la población humana sería de varios millones de personas. La tasa de crecimiento sería baja como consecuencia de una reducida natalidad, por la dureza de las condiciones de vida y porque los nacimientos se espaciarían ya que una familia nómada no podría mantener a más de un bebé. Probablemente prolongarían la lactancia durante varios años ya que, durante la lactancia, la ovulación, normalmente, no se produce.
2. Como resultado de la revolución agrícola, los cambios en cultura y nutrición pudieron conducir a un aumento de la natalidad y se produjo un crecimiento espectacular de la población, hace entre 10.000 y 5.000 años. Después continuó creciendo más lentamente hasta alcanzar los 500 millones de habitantes del siglo XVIII. Si bien la disponibilidad de alimento fue un factor positivo, el hecho de que las personas vivieran más cerca unas de otras favoreció las enfermedades infecciosas.
3. Otro aumento de la población, aún más espectacular, se produjo a partir de la revolución industrial y, especialmente, a lo largo del siglo XX. Este reciente y elevadísimo aumento de la población se debe, principalmente, a una caída de la tasa de mortalidad causada por la extensión del uso de antibióticos y una mejora general de las condiciones higiénicas y sanitarias, así como de la nutrición.

Muchos de los problemas ecológicos que asolan nuestro planeta se ven multiplicados por el crecimiento imparable de la población. Sin embargo, comienza a vislumbrarse un leve descenso de la tendencia demográfica ascendente debido a la reducción de la tasa de fertilidad que, a su vez, depende de la calidad de vida, de la disponibilidad de anticonceptivos, etc. La estabilización de la población se alcanzaría si la tasa de natalidad se igualase a la de mortalidad lo que supondría un crecimiento cero.

En la actualidad, el ritmo de crecimiento de la población depende del grado de desarrollo de los países. En los países desarrollados (la mayor parte de Europa, Estados Unidos, Canadá, Japón, Israel, Australia, Nueva Zelanda...) la población apenas aumenta y, en algunos casos, disminuye. En los países subdesarrollados (Latinoamérica, África y la mayor parte de Asia) se produce una espectacular explosión demográfica que se traduce en malnutrición o muerte por hambre, junto a un elevado número de enfermedades infecciosas. Paralelamente se produce una gran presión humana

sobre el medio ambiente con el consiguiente agotamiento de recursos y el deterioro ambiental generalizado.

No obstante, hay que aclarar que la cantidad de alimentos que se produce en el mundo es suficiente para cubrir las necesidades de toda la población mundial. Igualmente hay que aclarar que pobreza y superpoblación no siempre van unidas, como frecuentemente se piensa. Eso puede ser válido para el Asia monzónica (China, Japón, India, Pakistán), donde la situación de la población es dramática, pero también hay superpoblación en países desarrollados de Europa y en la zona occidental de América del Norte. En cambio, África y América tienen densidades de población bajas.

Así que el subdesarrollo no depende directamente de la tasa de crecimiento de la población ni de la densidad de población. El problema es otro: la injusta distribución de los recursos. El subdesarrollo tiene unas raíces históricas que arrancan de la época colonial y se han continuado con las prácticas comerciales que actualmente mantienen los países ricos con los países pobres. A éstos deberíamos llamarlos, más exactamente, países empobrecidos: la mayor parte de sus materias primas se destinan a los países desarrollados, para conseguir pagar los intereses de su deuda externa, con lo que se produce una sobreexplotación de sus propios recursos naturales sin que mejore su nivel de vida.

Las grandes diferencias económicas entre países ricos y países empobrecidos, así como las elevadas tasas de crecimiento de estos últimos hacen inevitables los movimientos de población del norte al sur. La llegada de inmigrantes a los países ricos permite que éstos mantengan su nivel de vida lo cual sería imposible con sus poblaciones envejecidas. Pero un flujo de inmigrantes superior al que se puede acoger acarrea bolsas de pobreza y conflictividad social. La solución lógica es apoyar a los países pobres para que salgan de su pobreza.

Otro rasgo característico del mundo actual es la concentración de la población en ciudades. Este fenómeno de crecimiento rápido de la población de las ciudades se denomina explosión urbana. En 1800 sólo el 3 % de la población mundial vivía en ciudades; hoy en día lo hace alrededor del 50 %. Además está creciendo el número de ciudades gigantes. Por ejemplo, la aglomeración de Tokio tiene en torno a 27 millones de habitantes; Sao Paulo y Ciudad de México, 16.

El fenómeno del gigantismo urbano se está volviendo muy acusado en el Tercer Mundo, cuyas ciudades duplican su población en tan sólo 10 ó 15 años. En la segunda mitad del siglo XX la población campesina ha emigrado a las ciudades buscando salir de la miseria de las áreas rurales, pero la realidad es que las ciudades del Tercer Mundo no ofrecen empleos, viviendas ni servicios suficientes para cubrir las necesidades de todos los nuevos habitantes.

7. LA POBREZA Y EL MEDIO AMBIENTE.

La pobreza y el medio ambiente están estrechamente ligados; no se pueden enfrentar los problemas ambientales y dar la espalda al problema del hambre en el mundo. Así lo demuestra el nombre completo de la Cumbre de Río de Janeiro: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Para erradicar la pobreza y conseguir mejores condiciones de vida en todos los países, es necesario un crecimiento económico, ya que existe una relación directa positiva entre éste y la esperanza de vida, la alfabetización y el descenso de la tasa de mortalidad. El crecimiento económico de un país se valora por su Producto Interior Bruto (PIB), el valor en dinero de todos los bienes producidos por la economía de un país a lo largo de un año. Frecuentemente se divide el PIB entre el número de habitantes del país, obteniéndose la Renta *per capita*. Éste es el parámetro que se usa para comparar unos países con otros y para determinar si un país es desarrollado o no.

Sin embargo, estos parámetros dan una información del desarrollo sin tener en cuenta los costes ambientales del crecimiento económico. Si un país tropical, por ejemplo, exporta madera aumentará su PIB, pero si extrae más madera de la correspondiente a la tasa de renovación al cabo de unos años habrá perdido su riqueza y la posibilidad de seguir creciendo económicamente. Un parámetro que tiene en cuenta esto es el Bienestar Económico Neto (BEN) que se obtiene al restar del PIB una parte, la correspondiente al impacto ambiental.

Aún más completo es el Índice de Desarrollo Humano (HDI) que tiene en cuenta el crecimiento económico, los costes ambientales y, además, la calidad de vida. Y es que la economía no lo mide todo. Pensemos, por ejemplo, en personas sin apenas recursos económicos, porque no participan en los intercambios comerciales, pero que practican una agricultura de autoabastecimiento o que pertenecen a comunidades con unos servicios sanitarios mínimos. Así pues, hay que diferenciar la pobreza económica (menos de 1 dólar/día, según el Banco Mundial) de la pobreza humana que valora, además del de la renta, la baja esperanza de vida, el analfabetismo, la carestía de servicios sanitarios o de agua potable y la malnutrición.

Tradicionalmente, se ha atribuido la pobreza a diversos factores como el exceso de población, el clima adverso, las catástrofes naturales o el retraso tecnológico, pero si bien es cierto que son factores que inciden en el incremento de la pobreza, no son decisivos. Una de las grandes causas del hambre es la relación comercial entre los países ricos y los países pobres. Los países pobres exportan sus materias primas a precios muy bajos, fijados por los compradores, y por eso los productores apenas pueden sobrevivir; más les valdría no exportar y cultivar productos alimenticios para ellos mismos (en vez de cacao, azúcar, café y cosas así) pero esto no es fácil. Las tierras son propiedad de unas pocas personas que sólo buscan su enriquecimiento. Los gobiernos de los países subdesarrollados también están atados: hace tiempo que recibieron préstamos de los países ricos y ahora tienen que devolver esas cantidades más los intereses; generalmente sólo pueden pagar los intereses con lo que la deuda sigue existiendo. Debido a la deuda externa los países no industrializados han de sobreexplotar sus recursos para conseguir pagar los intereses generados, no pudiendo invertir este dinero en la construcción de las infraestructuras necesarias.

8. MODELOS DE DESARROLLO.

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

A lo largo de la historia de la humanidad ha variado mucho la relación de la humanidad 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 Neolítica a la Revolución Industrial. 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, 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.

8.2. Modelos de desarrollo.

a) Explotación incontrolada.

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 agote? ¿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, agujero en la capa de ozono, contaminación de las aguas, pérdida de biodiversidad, etc. Se impone por tanto la búsqueda de modelos económicos alternativos.

b) Conservacionismo a ultranza.

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 medidas 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 habían empezado a valorar que el ambiente natural favorece la salud. Por otra parte, habían comenzado a dudar de los dos postulados básicos de su etapa de desarrollo industrial: de la omnipotencia del hombre (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, debida a una siempre creciente deuda externa.

Hoy en día el conservacionismo a ultranza no convence prácticamente a nadie.

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 para satisfacer sus propias necesidades.

Las dos palabras de las que se compone su nombre tratan de aunar el crecimiento económico de todas las naciones (desarrollo) con el cuidado del medio natural, para que pueda mantenerse para las futuras generaciones (sostenible). 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 Río de Janeiro de 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 por 100 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.

En resumen, debemos vivir en equilibrio con los sistemas naturales de los que dependemos. Y, en contraste con la Revolución Industrial, que se basó en la sobreexplotación de los recursos no renovables, debemos dirigir nuestros esfuerzos a conseguir otros recursos energéticos de menor impacto ambiental. De esta manera, la próxima revolución medioambiental se basará en comprobar si somos capaces de hacer que la economía mundial sea sostenible en cuanto a su relación con el entorno. Dicha revolución, si se consigue, producirá una mayor seguridad económica, modos de vida más sanos y una mejora mundial de la calidad de vida.

9. HACIA UN DESARROLLO SOSTENIBLE.

9.1. Medidas de gestión ambiental.

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. Muchas de estas medidas ya han sido explicadas en otros capítulos de esta asignatura; aquí nos limitamos a recopilarlas y comentarlas brevemente:

a) Espacios protegidos. Determinadas zonas, por su especial valor, han de tener una especial protección. 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 varios tipos de espacios protegidos:

- Parque Nacional: espacio natural protegido de relativa extensión con una vegetación, fauna, paisaje, etc. 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: 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 Cádiz destacan los parques de la Sierra de Grazalema, de Los Alcornocales y de la Bahía de Cádiz.

- Reserva Natural: espacio natural protegido, de extensión reducida, pero muy valioso en el que sólo son admitidos usos científicos y didácticos. Es el caso del Pinsapar de la Sierra del Pinar.
- Monumento Natural: árboles singulares, yacimientos paleontológicos, formaciones geológicas curiosas y otros elementos aislados que merecen un reconocimiento y una protección especial. Ejemplo: duna de Bolonia.

b) Medidas legales. Incluyen normas de distinto rango que promueven la protección del medio ambiente: contaminación del agua, contaminación atmosférica, residuos, ruidos, espacios protegidos, protección de la naturaleza, 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 aumentárselo a las que no sean respetuosas con el medio ambiente, que se verían obligadas a pagar una especie de “canon ecológico”.

e) Ordenación del territorio. Es la 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 poco 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.

9.2. Conferencias y organismos internacionales dedicados al medio ambiente.

Las medidas legales de gestión ambiental pueden ser nacionales o supranacionales siendo éstas imprescindibles cuando se trata de problemas globales como el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, etc. Sin embargo, las medidas supranacionales no se han desarrollado hasta muy recientemente; así, cuando surgió la ONU con todos sus organismos asociados (UNESCO, FAO, UNICEF...) no hubo un organismo dedicado expresamente al Medio Ambiente. Poco a poco, a lo largo del último tercio del siglo XX, se han dado pasos muy importantes a favor de instituciones y normas ambientales que trascienden las fronteras de los países.

La UNESCO, organismo dedicado a la educación y la cultura, tuvo la iniciativa de convocar la *Conferencia de la Biosfera* (París, 1968). En ella, por primera vez, se hizo patente que "la utilización y la conservación de los recursos deben ir unidas", lo que sería el antecedente del concepto de desarrollo sostenible. En esta reunión surgió la idea de poner en marcha la figura de las *Reservas de la Biosfera*, áreas de gran valor natural que necesitan una protección que ha de hacerse compatible con el desarrollo humano.

En 1972 se celebró en Estocolmo la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano*; fue la primera reunión de dirigentes políticos del mundo para tratar sobre temas ambientales. Como consecuencia de esta Conferencia se creó el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (PNUMA), cuya sede se estableció en Nairobi (Kenia) y cuyo objetivo es ayudar a los países del Tercer Mundo en sus programas de protección ambiental y de desarrollo. Desde entonces el PNUMA ha impulsado numerosos tratados y convenios internacionales, como las convenciones sobre protección marina o sobre el comercio internacional de especies de la flora y la fauna salvajes en peligro de extinción (CITES, 1975).

En los años ochenta, entre otras iniciativas, destacamos el encargo que hizo el secretario general de la ONU a una comisión de expertos que realizara un examen de la situación del medio ambiente mundial y que elaborara "un programa para el cambio". El resultado fue el documento titulado *Nuestro futuro común*, también conocido como *Informe Brundtland* (1987) en honor a la primera ministra noruega, presidenta de la comisión que lo elaboró. En este texto se acuñó y se desarrolló, por primera vez, el concepto de desarrollo sostenible. Se hacía una denuncia de los riesgos de los modelos vigentes de crecimiento y desarrollo económico y la necesidad de una transición hacia un futuro seguro y sostenible para la comunidad humana. El informe constaba de tres partes:

- Preocupaciones comunes. Trata de la pobreza, de la crisis económica, del desarrollo sostenible como alternativa necesaria, de las estrategias urgentes para lograrlo, y de la influencia en todo ello de la economía mundial.
- Tareas comunes. Hace referencia al crecimiento demográfico, al uso de los recursos alimenticios, a la utilización de especies y ecosistemas para lograr el desarrollo sostenible, al

uso de la energía, a la necesidad de lograr industrias productivas con el menor número de recursos y al problema del crecimiento de las ciudades.

- Esfuerzos comunes. Trata de las leyes internacionales de protección de los ecosistemas compartidos por varios estados, como son los océanos, la Antártida o el espacio. También analizaba los grandes impactos de las guerras sobre el medio ambiente (incluida la guerra nuclear) y la necesidad de evitarlas.

En 1991 vio la luz otro documento importante: *Cuidar la Tierra. Una estrategia para el futuro de la vida*. Se gestó durante varios años por un equipo de científicos y organismos gubernamentales y no gubernamentales. En el texto se hacía énfasis en la dimensión social y económica de los problemas, indicando los principios y las acciones necesarios para integrar conservación y desarrollo, con el fin de conseguir el deseado desarrollo sostenible. El *Informe Brundtland* y *Cuidar la Tierra* fueron los documentos básicos que se emplearon en la preparación de la *Cumbre de Río*.

Hay un acuerdo general en considerar la *Cumbre de Río* como la más importante de las realizadas hasta la fecha. Se celebró en Río de Janeiro en 1992 con el nombre de *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, aunque es más conocida como *La Cumbre de la Tierra*. Promovida por la ONU, su objetivo fundamental era que los jefes de Estado y de Gobierno (de 178 países asistentes acudieron 93 jefes de Estado o de Gobierno) adoptaran las decisiones necesarias para emprender la transición a un desarrollo ambiental viable y sostenible, de acuerdo con las conclusiones del *Informe Brundtland*. A diferencia de la *Conferencia de Estocolmo*, su finalidad era alcanzar acuerdos jurídicamente vinculantes y establecer mecanismos adecuados de seguimiento y control.

En la Cumbre de Río se elaboraron y aprobaron documentos muy importantes entre los que destacan la *Carta de la Tierra* y la *Agenda 21*. La *Carta de la Tierra* es una declaración que incluye 27 principios generales, que hacen referencia al derecho de los seres humanos a una vida sana y al desarrollo, a la necesidad de acabar con la pobreza, a promover políticas demográficas apropiadas, a la cooperación científica, a la instauración de un derecho internacional, o a la prohibición a los países de exportar sustancias nocivas, etc. La declaración fue firmada por todos los países asistentes a la cumbre que se comprometieron a tratar de proteger la integridad del sistema ambiental y a alcanzar el desarrollo sostenible a escala mundial.

El *Programa 21* o *Agenda 21* es un plan de acción destinado a proteger y preservar el ambiente global en el siglo XXI. La Agenda se caracteriza, sobre todo, por proponer actuaciones concretas que, posteriormente, han sido asumidas por muchos países, ayuntamientos y otras organizaciones que han elaborado su *Agenda 21 Local*. Merece la pena destacar que en la *Agenda 21* los países desarrollados adquirirían el compromiso de gastar, en el año 2000 o cuando les fuese posible, el 0,7% del PIB en programas de ayuda a los países en vías de desarrollo.

En Río de Janeiro se aprobaron además convenios internacionales entre los que destacamos:

- *Convenio sobre el Cambio Climático*. A pesar de que no se logró un calendario vinculante para la reducción de las emisiones de CO₂, supuso un nuevo enfoque de carácter mundial para prevenir y resolver estos problemas. Posteriormente, en 1997, en la ciudad japonesa de

Kioto se celebró una *Cumbre sobre Cambio Climático* en la que sí se acordó y cuantificó la reducción de las emisiones de gases de invernadero correspondientes a cada país. Aunque tardíamente, España ha adoptado ya medidas para cumplir con sus compromisos adquiridos en Kioto. Lamentablemente, Estados Unidos, el país que más contamina, no suscribe los acuerdos.

- *El Convenio sobre la Biodiversidad* pretendía frenar la pérdida de biodiversidad. El texto hacía alusión a la propiedad de los recursos genéticos, a la necesidad de pagar a los países propietarios por su utilización y a la forma en que los países desarrollados financiarían a los países en vías de desarrollo, para que pudiesen conservar los recursos.

La *Cumbre de Río* supuso una gran ilusión para amplios sectores sociales y para muchos países que buscaban un cambio. La *Conferencia de Río de Janeiro* marcó un norte. En el año 2002 en Johannesburgo (Sudáfrica) se celebró una nueva *Cumbre de la Tierra* que resultó decepcionante para muchos: poco había mejorado la situación en diez años y pocos fueron los compromisos concretos asumidos por los participantes; muchas declaraciones ideológicas pero pocas actuaciones concretas.

VOCABULARIO

INTRODUCCIÓN

Medio ambiente: 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.

Sistema: ente formado por múltiples componentes que interactúan entre sí resultando un conjunto con una organización y unas propiedades que no tiene ninguno de los componentes considerados por separado. Se habla de **visión sistémica** cuando se abordan los problemas desde una idea de interrelación.

Retroalimentación (feedback): relaciones entre las diversas variables de un sistema de forma que una variable influye en otra y ésta, a su vez, influye sobre la primera. La retroalimentación se denomina positiva si el incremento de A produce incremento de B y éste hace que vuelva a aumentar A. En el caso contrario se habla de retroalimentación negativa que se caracteriza por su acción reguladora y estabilizadora de los sistemas (sistemas homeostáticos).

Para abordar un sistema se suele recurrir a los **modelos**, que son representaciones simplificadas de la realidad que se elaboran para facilitar su estudio y comprensión. (Los modelos pueden ser mapas, dibujos esquemáticos como el del ciclo del agua, fórmulas matemáticas, gráficas lineales, simulaciones por ordenador.)

A veces, para abordar el estudio de un sistema complejo se subdivide en **subsistemas** que se analizan por separado. Así, el planeta Tierra es un sistema que incluye cuatro sistemas terrestres menores o subsistemas: geosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera.

Atmósfera: capa más externa del planeta en estado gaseoso.

Hidrosfera: capa discontinua de agua que envuelve la superficie líquida del planeta. Comprende fundamentalmente el agua líquida, continental y oceánica, y el hielo glaciar, aunque una pequeña cantidad forma parte de la atmósfera y de los seres vivos.

Geosfera: es la parte sólida rocosa de la Tierra; es el sistema terrestre de mayor volumen. componente de estructura rocosa que es el sistema terrestre de mayor volumen. A las Ciencias Ambientales les interesa sobretodo su parte externa o litosfera.

Biosfera: sistema constituido por todos los seres vivos que habitan la Tierra y que ocupa la parte inferior de la atmósfera, la parte superior de la litosfera y una parte de la atmósfera.

Recursos: toda forma de materia, energía o información necesaria para cubrir las necesidades fisiológicas, socioeconómicas y culturales de la humanidad.

Recursos renovables son aquéllos que se forman mediante procesos cíclicos rápidos o que tras su utilización pueden ser regenerados. En cambio, los **no renovables**, una vez extraídos y utilizados son imposibles de reponer, al menos a escala humana.

Impacto ambiental: 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.

Contaminación: liberación al medio ambiente de sustancias o de energía que resultan perjudiciales para las personas o para el medio.

Riesgos: toda fuente de peligro que puede causar daños y la probabilidad de que dichos daños se produzcan. Se suele utilizar para referirse tanto a catástrofes naturales (terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones) como a catástrofes provocadas por el hombre (incendios, roturas de presa, escape de compuestos contaminantes...)

Desarrollo sostenible: modelo de desarrollo social y económico que pretende utilizar los recursos de la Tierra de forma que no excedamos la capacidad de la Tierra para generarlos. Se opone al crecimiento incontrolado y al conservacionismo a ultranza.

GEOSFERA

Dorsal oceánica (o mediooceánica): cordillera submarina que divide en dos el océano Atlántico, recorriéndolo de norte a sur y continuándose en el Índico y en el Pacífico. Bajo la dorsal hay una cámara magmática que inyecta el magma en las grietas de la litosfera oceánica y provoca la expansión del fondo oceánico.

Fosas oceánicas: surcos submarinos alargados y muy profundos (de hasta 10 km de profundidad) generados en el proceso de subducción. Están bien desarrolladas en el océano Pacífico, tanto junto a los continentes (por ejemplo, fosa de Chile) como junto a arcos de islas volcánicas (por ejemplo, fosa de Japón).

Arco de islas volcánicas: alineación de varias islas generadas en zonas donde la litosfera oceánica subduce bajo litosfera oceánica. El rozamiento provoca la formación de cámaras magmáticas que alimentan volcanes

submarinos que van ganando altura hasta emerger y convertirse en islas.

Cordilleras periocénicas (o costeras): alineaciones montañosas que recorren el margen de algunos continentes (por ejemplo, los Andes). Si la cordillera costera aparece junto a una fosa oceánica se puede afirmar que su origen se debe a la subducción.

Cordillera intracontinental (o cordillera de plegamiento): alineaciones montañosas que se encuentran en el interior de los continentes y que deben su origen a la colisión de dos antiguos continentes que se unen (por ejemplo, el Himalaya).

Subducción: proceso por el cual la litosfera oceánica se introduce bajo otra placa litosférica. Se reconoce porque origina una fosa y una región volcánica (cordillera periocénica o arco de islas volcánicas). Las zonas de subducción también se conocen como límites destructivos de placas o límites convergentes.

Expansión oceánica: proceso de extensión de los fondos oceánicos que tiene lugar por la inyección de magma en las zonas de dorsal. Esta es la razón de que a las dorsales se las considere límites constructivos de placas o límites divergentes.

Falla transformante (o falla de transformación): es una fractura a favor de la cual se desplazan lateralmente dos placas. Puesto que no hay ni creación ni destrucción de litosfera se denominan **límites pasivos**.

Colisión: choque de dos continentes como consecuencia de la subducción de la litosfera oceánica existente entre ambos. La colisión provoca cordilleras intracontinentales.

Deriva continental: teoría que defiende que los continentes se mueven entre sí y que alguna vez estuvieron juntos formando un supercontinente o Pangea. Wegener (1915) aportó muchas pruebas de la existencia de la Pangea y la teoría de la tectónica de placas (1965) ha aportado los mecanismos que hacen posible el movimiento de los continentes.

Litosfera: parte exterior de la geosfera caracterizada por su rigidez y dividida lateralmente en fragmentos conocidos como **placas litosféricas**. La litosfera tiene un espesor variable alcanzando una profundidad media de unos 100 km por lo que incluye la corteza y la parte superior del manto. Se diferencian litosfera continental y litosfera oceánica.

Astenosfera: región del manto situada inmediatamente debajo de la litosfera. Se caracteriza por su baja rigidez que permite que sobre ella se desplacen las placas litosféricas.

Corrientes de convección: movimientos que se producen en el interior de la Tierra por los cuales los materiales más calientes de las zonas profundas ascienden y los

materiales más fríos descienden. Estas corrientes son responsables del movimiento de las placas litosféricas.

Puntos calientes: puntos fijos en el manto superior pero debajo de la litosfera que se caracterizan por un sobrecalentamiento debido a una corriente ascendente de materiales a alta temperatura (pluma térmica). Sobre el punto caliente se forma un edificio volcánico y el movimiento de las placas hace que este edificio se aleje del foco de calor y se forme un nuevo volcán y así sucesivamente (por ejemplo, archipiélago de Hawai).

Volcán: lugar de la corteza terrestre por el que salen al exterior rocas fundidas (magma). Pueden ser centrales y fisurales.

Gradiente geotérmico: incremento de temperatura de la Tierra con la profundidad. En los primeros kilómetros el gradiente es de unos 3°C cada 100 m.

Fumarolas: gases expulsados por un volcán. Si los gases son ricos en azufre se llaman solfataras.

Lava: productos líquidos expulsados por un volcán. Hay varios tipos: lavas cordadas (pahoehoe), malpaís (aa), lavas almohadilladas (pillow-lava)...

Piroclastos: productos sólidos expulsados por un volcán. Si son grandes, de tamaño decimétrico, se denominan **bombas volcánicas**; si son más finos, de orden milimétrico (tamaño de la arena), se denominan **lapilli**; finalmente, a las partículas de tamaño microscópico se les llama **cenizas volcánicas**.

Efusivo: erupción en la que predominan las lavas muy fluidas. Es típica de los **volcanes hawaianos**.

Explosivo: erupción violenta en la que se liberan gases y piroclastos. Es típica de los **volcanes vesubianos** o estrato-volcanes construidos por la alternancia de coladas de lava y capas de piroclastos.

Erupción pliniana o peleana: erupción muy violenta caracterizada por la expulsión repentina de una gran cantidad de gases retenidos en el interior de la Tierra. En estos casos se libera una gran **nube ardiente** que arrasa todo a su paso (eso fue lo que le ocurrió con la erupción del Vesubio que destruyó Pompeya en el siglo I).

Lahar: corrientes de lodo que resultan de la fusión rápida de nieve o hielo acumulada sobre un edificio volcánico o de la ruptura de un lago de cráter.

Caldera: amplia depresión, más o menos circular, generada por el hundimiento de una región volcánica debido al rápido vaciamiento de la cámara mágnica.

Tsunamis: olas gigantes producidas por terremotos marinos o erupciones volcánicas acompañadas de hundimientos. Destruyen zonas costeras porque el tamaño

de la ola se multiplica al acercarse ésta a la costa (hasta 50 m).

Géiser: surtidor de agua caliente que se origina en zonas volcánicas cuando las aguas subterráneas son calentadas por una cámara magmática infrayacente.

Fuentes termales: nacimiento de agua caliente porque ésta ha circulado por zonas de altas temperaturas, bien porque haya cámaras magmáticas cerca o bien porque el agua provenga de zonas muy profundas y ascienda, por ejemplo, a favor de una fractura.

Peligrosidad: es la probabilidad de que ocurra un fenómeno muy perjudicial en un determinado lugar y la magnitud de ese fenómeno.

Período de retorno: intervalo de tiempo medio entre dos catástrofes semejantes en un mismo lugar.

Exposición: es el número de personas y la cuantía de los bienes materiales existentes en una zona sobre la que se plantea un determinado riesgo.

Vulnerabilidad: pérdidas provocadas por un determinado fenómeno expresadas como porcentaje de la exposición.

Precursores volcánicos: fenómenos geofísicos y geoquímicos que anuncian que la cámara magmática no puede soportar el aumento de presión y que se va a producir una erupción volcánica. No todos los precursoros son igual de fiables por lo que a veces se producen falsas alarmas.

Terremoto (sismo, seísmo): temblor en la superficie de la Tierra provocado, en la mayoría de los casos, por un movimiento brusco en una zona de falla.

Falla: fractura de las rocas en el que los dos bloques resultantes se mueven entre sí. El salto de falla puede ser vertical como en las fallas normales (distensión) y en las inversas (compresión) o puede ser un salto lateral como en las fallas de desgarre.

Hipocentro (foco): lugar del interior de la Tierra en el que origina la onda sísmica.

Epicentro: lugar de la superficie de la Tierra situado justo encima del foco y en el que el terremoto se registra con la mayor magnitud.

Sismógrafo: aparato que registra los terremotos.

Sismograma: gráfica en forma de dientes de sierra dibujada por el sismógrafo. Los terremotos corresponden a las oscilaciones de mayor amplitud.

Las ondas sísmicas se originan en el interior de la Tierra en zonas de falla. Pueden ser de dos tipos: internas (P y S), que informan de cómo es el subsuelo, y superficiales

(L y R), que son las que causan los destrozos. De su estudio se encarga la **sismología**.

Zona sísmica: región en la que es frecuente que se produzcan terremotos. Si en una región nunca tienen lugar terremotos se denomina **zona asísmica**.

La intensidad es una medida de los daños originados por un terremoto. Fue ideada por **Mercalli** y se expresa en números romanos, hasta el XII. En la actualidad se usa la de Mercalli algo modificada, denominada M.S.K.

La magnitud de un terremoto es una medida de la energía liberada en un terremoto y fue ideada por **Richter**. Se puede calcular a partir de la amplitud de los picos dibujada por el sismograma. Es una escala logarítmica y no tiene límites, aunque el terremoto de mayor magnitud registrado hasta ahora ha sido de 8,9.

Isosistas: líneas que unen puntos de igual magnitud o intensidad sísmica.

Discontinuidad sísmica: zona del interior del planeta en la que cambia bruscamente la velocidad de las ondas sísmicas. La discontinuidad de Gutenberg, a unos 2.900 km de profundidad, es la más espectacular y separa el manto sólido del núcleo externo que es líquido.

Precursores sísmicos: conjunto de fenómenos que anuncian que se va a producir un terremoto. Antes de que suceda el terremoto, la presión hace que en las rocas aparezcan pequeñas grietas; éstas se rellenan de agua lo que hace que cambie el comportamiento de las rocas frente a las ondas sísmicas, frente a la corriente eléctrica, etc. No obstante, es imposible predecir un terremoto con total seguridad.

Ordenación del territorio: planificación que se hace de una región dedicando cada zona a la actividad para la que es más adecuada.

Normas de construcción sismorresistente: conjunto de directivas que determina qué requisitos deben cumplir las construcciones en las zonas sísmicas.

Meteorización: alteración de las rocas por la acción de la atmósfera.

Erosión: proceso de denudación o desgaste de una región cuyos materiales superficiales son arrancados y arrastrados a zonas más bajas.

Litología: tipo de material geológico.

Topografía: relieve, pendiente.

Gelifracción o gelivación o crioclastia: fragmentación de las rocas por congelación del agua en sus grietas.

Canchal: acumulación de piedras al pie de una ladera; las piedras caen simplemente por gravedad sin que el agua las arrastre.

Karst o paisaje kárstico: paisaje de zonas calizas en la que las rocas han sido sometidas a un proceso de disolución intenso. Se puede diferenciar un exokarst de un endokarst.

Lapiaz: pequeñas acanaladuras e irregularidades en la superficie de rocas calizas sometidas a disolución.

Cañones o gargantas: valles profundos, de paredes casi verticales. Se forman en regiones de rocas muy coherentes como las calizas.

Dolina: depresión de fondo más o menos plano rodeada de roca caliza. Se origina por disolución de la roca.

Sumidero: lugar al que va a parar el agua que llueve en una zona; a continuación ese agua se pierde en profundidad aprovechando conductos no siempre visibles.

Sima: conducto vertical excavado por el agua en las zonas calizas. Suele formar parte de un sistema complejo de galerías.

Colapso: hundimiento brusco o derrumbamiento, por ejemplo, al caer el techo de una cueva.

Subsidencia: hundimiento lento del terreno.

Escorrentía: aguas, canalizadas o no, que discurren por la superficie de los continentes.

Aguas de arroyada o aguas salvajes: aguas no canalizadas que recorren las laderas erosionándolas.

Cárcavas: surcos profundos o pequeños barrancos excavados por aguas impetuosas. También se conoce como paisaje de badlands.

Reptación o creeping: descenso lento del suelo que cubre una ladera.

Coladas de barro: descenso rápido de materiales plásticos, generalmente empapados en agua, que fluyen ladera abajo.

Deslizamiento: descenso, ladera abajo, de rocas o del suelo a favor de una superficie basal de despegue; los materiales que se deslizan lo hacen como una masa coherente.

Arcillas expansivas: tipo especial de arcillas capaces de admitir mucha agua lo que les confiere gran plasticidad. Su presencia aumenta los riesgos de deslizamientos y coladas de barro.

Solifluxión: descenso de la parte superficial del suelo en regiones en que éste permanece helado (permafrost)

durante meses hasta que, al llegar el deshielo, fluye ladera abajo empapado en agua.

Periglaciario: clima de regiones frías en las que se producen frecuentes cambios de temperatura por encima y por debajo de 0 °C.

Desprendimientos: caída brusca y aislada de bloques rocosos de un talud.

Avalanchas: desprendimientos masivos de bloques de piedra o nieve.

Erosión aerolar es la erosión de las laderas (arroyada, movimientos de ladera) mientras que la **erosión lineal** (a lo largo de una línea) es la que realizan ríos y torrentes.

Suelo: capa superficial de material suelto que recubre la corteza terrestre, resultante de la meteorización y de la actividad biológica. La **Edafología** es la ciencia que estudia los suelos.

Perfil: corte transversal de un suelo que muestra las características de cada uno de los niveles u **horizontes** que lo componen.

Edafogénesis: proceso de formación de un suelo que incluye la meteorización, la acción biológica (acumulación de materia orgánica, fundamentalmente) y, en algunos casos, lixiviado o lavado de determinados componentes que se acumulan en los horizontes inferiores.

Factores formadores del suelo: material de partida, topografía, el clima, la vegetación y el tiempo.

Erosionabilidad: susceptibilidad del suelo de ser movilizado. La erosionabilidad de una región depende del tipo de suelo, de la pendiente y de la cobertura vegetal.

Erosividad: capacidad erosiva del agente geológico dominante. La erosividad en una región depende del clima.

Desertización: proceso de conversión en desiertos que eran regiones ricas. Frecuentemente se debe a la erosión y pérdida del suelo lo que impide el desarrollo de vida vegetal. Para referirse a la desertización provocada por la acción humana, a veces se usa **desertificación**.

Caudal: cantidad de agua que lleva un río por unidad de tiempo. Se suele expresar en l/s o en m³/s.

Hidrograma: gráfica que refleja las variaciones de caudal de un río a lo largo del tiempo.

Medidas de laminación: actuaciones encaminadas a reducir el caudal punta de un río y producir un retraso temporal de ese caudal. Esto se consigue con embalses.

Canal principal o de estiaje: parte del cauce del río en la que hay agua hasta en los periodos de escasas precipitaciones (estío=verano).

Llanura de inundación o vega: parte del cauce de un río en la que hay agua sólo en los períodos de crecida.

Capacidad de corriente (Q): cantidad de material que puede transportar un río con un determinado caudal. La cantidad real de material que transporta en un momento dado se llama **carga**.

Perfil de un río: representación gráfica, semejante a un corte topográfico, que muestra la pendiente de un río desde su nacimiento hasta su desembocadura o **nivel de base**.

Perfil de equilibrio de un río: perfil ideal de un río en el que las máximas pendientes están en su curso alto y disminuyen paulatinamente hasta llegar al nivel de base; el resultado es una línea cóncava.

Erosión remontante: proceso de excavación del cauce por el cual éste se prolonga aguas arriba.

Torrente: curso de agua ocasional originado por lluvias torrenciales; se encuentra en zonas montañosas. Se diferencia de la aguas de arroyada en que éstas no están canalizadas y de los ríos en que éstos presentan agua permanentemente.

Abanico aluvial o cono de deyección: depósito de bloques, grava y arenas arrastrados por un torrente y acumulados en las zonas donde disminuye bruscamente la pendiente.

Rambla: nombre que se le da en la región mediterránea a tramos fluviales próximos a la desembocadura que llevan agua a sólo esporádicamente y en caso de lluvias torrenciales pueden ser catastróficos ya que es frecuente que haya cultivos y poblaciones en las inmediaciones.

Meandro: curva de un río, generalmente en su curso bajo. En la orilla cóncava de un meandro se produce erosión mientras que en la orilla convexa se produce sedimentación; esto hace que la curvatura se acentúe llegándose a veces al estrangulamiento y a la formación de un meandro abandonado.

Terraza: zonas llanas y elevadas sobre el nivel del río como si se tratase de amplios escalones. Se forman por la alternancia de periodos de erosión y períodos de sedimentación.

Litoral o zona costera: es el área de contacto entre la superficie continental y el mar, de gran importancia por su biodiversidad biológica y una importante fuente de recursos para la humanidad (pesca, actividades extractivas, ocio, navegación...).

Olas: movimiento ondulatorio de la superficie del mar debido al viento. Las olas rompen en las costas realizando una actividad geológica importante, erosiva y sedimentaria.

Deriva litoral o corriente de deriva: corriente marina que discurre paralela a la costa que resulta de la incidencia oblicua de las olas sobre la costa. Esta corriente de deriva se comporta como un "río de arena" que hay que tener en cuenta en la construcción de infraestructuras costeras (puertos, espigones...).

Mareas: cambios diarios que se producen en el nivel del mar entre un nivel máximo o **pleamar** y uno mínimo o **bajamar**. La **amplitud de las mareas** es mayor en los mares abiertos (varios metros en nuestras costas atlánticas) que en los cerrados (del orden de medio metro en el Mediterráneo). El efecto de las mareas es más acusado en costas de pendiente suave donde los cambios de marea se manifiestan como potentes **corrientes mareales**.

Costas de inmersión son aquéllas originadas por la subida del nivel del mar o hundimiento del continente; en estos casos el mar inunda los valles fluviales y resulta una costa con muchos entrantes y salientes como las rías gallegas. Las **costas de elevación** son el caso opuesto y se pueden reconocer por la emersión de la plataforma continental, como en la "rasa cantábrica".

Acantilado: zona costera, rocosa y de fuerte pendiente que es golpeada por las olas que ejercen una acción erosiva. El acantilado se prolonga bajo agua en un plano inclinado, conocido como **plataforma de abrasión**, resultante del cepillado que las olas realizan sobre el fondo.

Playa: zona costera, generalmente arenosa, que se forma por la acumulación de sedimentos aportados por las olas.

Cordones litorales o restingas son bancos de arena formados en zonas de fondos bajos que pueden llegar a emerger en forma de islotes de arena alargados. Frecuentemente los cordones litorales son paralelos a la costa.

Tómbolos: cordón litoral perpendicular a la costa que une ésta con un islote costero.

Flechas: tipo de cordón litoral que tiene un punto de apoyo en el extremo de una bahía. También se pueden formar flechas en la desembocadura de los ríos, al arrastrar la corriente de deriva los depósitos fluviales.

Albufera: especie de laguna salada que se forma cuando un cordón litoral avanza hasta cerrar una bahía.

Deltas: acumulación sedimentaria en la desembocadura de un río que progresivamente va ganando terreno al mar. Para que se forme es necesario que haya un gran aporte de

sedimentos y que la costa no esté sometida a fuertes corrientes marinas.

Estuarios: son ensanchamientos del cauce de los ríos en su desembocadura de manera que el agua del mar penetra en el valle fluvial. Se originan cuando las corrientes litorales arrastran la mayor parte de los sedimentos fluviales.

Marismas: regiones costeras arenosas y fangosas que incluyen canales (caños) y charcas (esteros) que se inundan y se desecan con los cambios mareales. Son zonas húmedas donde viven gran cantidad de aves acuáticas y que tradicionalmente se han destinado a salinas, marisqueo, pescados de estero... Las marismas están bien representadas en el P.N. Bahía de Cádiz.

Manglares: bosques costeros propios de países tropicales caracterizados por que las raíces de los árboles (mangle) son capaces de fijarse en el fondo marino lo que hace que el bosque pueda avanzar lentamente hacia al mar.

Praderas marinas: ecosistema situado cerca de la costa que, por su aspecto, recuerda a un pastizal pero integrado por algas macroscópicas y fanerógamas marinas que alojan a una fauna muy variada. En el Mediterráneo son muy importantes las praderas de Posidonia.

Corrasión: erosión realizada por el viento cargado de arena que golpea sobre las rocas. Es típica del desierto rocoso.

Deflacción: barrido que realiza el viento llevándose las partículas más finas y dejando las más gruesas. Así se originan campos de piedras o reg.

Dunas: acumulaciones de arenas que se desplazan a favor del viento. Se trata de montículos de tamaño métrico o decamétrico con una pendiente suave en la cara de barlovento y una pendiente más acusada en sotavento. El desierto arenoso también se llama erg.

Ripples: pequeñas ondulaciones, de tamaño centimétrico, que se observan en las arenas batidas por el viento y también bajo agua si existe algún tipo de corriente.

Diapiro: ascensión de materiales ligeros (sales por ejemplo) que están enterrados por otros más densos. El ascenso pliega los estratos superiores y origina deformaciones del terreno.

Yacimiento: lugar con una elevada concentración de algún mineral y cuya extracción es económicamente rentable.

Dentro de una explotación minera se llama **mena** a los minerales que presentan una mayor concentración del elemento que interesa económicamente; el resto de minerales que se desechan constituyen la **ganga**. Por ejemplo, en las minas de hierro la mena la constituyen la magnetita (72 % de Fe) y los hematites u oligisto (70 %

de Fe) mientras que la siderita (48 % de Fe) forma parte de la ganga.

Áridos: arcilla, arenas, grava y rocalla que se destinan a la construcción.

Energía secundaria: energía procedente de la transformación de una fuente de energía primaria; la energía secundaria está disponible para ser usada directamente. Por ejemplo: el carbón es una energía primaria que en las centrales térmicas se transforma en energía eléctrica, que es secundaria.

Calidad de la energía: capacidad de una energía para producir un trabajo útil por unidad de masa o de volumen. La energía nuclear, por ejemplo, tiene una muy alta calidad energética.

Rendimiento energético o eficiencia energética: relación entre la energía suministrada a un sistema y la que obtenemos de él. Se suele expresar en tanto por ciento.

Fuentes de energía convencionales son las que tradicionalmente se han usado más en las últimas décadas mientras que se consideran **energías alternativas** a fuentes de energía modernas, aún poco desarrolladas pero renovables y limpias.

Reserva: cantidad de un combustible fósil o de un mineral cuya existencia se conoce y puede ser extraído en el futuro. Debe ser un recurso cuya explotación sea económicamente rentable.

Combustibles fósiles: combustibles generados de forma natural a partir de materia orgánica de seres vivos que vivieron en el pasado. Esta denominación incluye al carbón, al petróleo y al gas natural.

Antracita, hulla, lignito y turba son diferentes tipos de carbón ordenados de mayor a menor contenido en carbono lo que equivale a de mayor a menor poder calorífico. El contenido en carbono se incrementa con la antigüedad del carbón.

La roca madre de petróleo es aquella en el seno de la cual los restos de microorganismos planctónicos se transforman en hidrocarburos. Posteriormente el petróleo migra a una roca porosa llamada **roca almacén** y se acumula en **trampas petrolíferas**, zonas en las que el petróleo queda confinado entre capas impermeables y agua.

Oleoducto: conducto para transportar petróleo.

Gasoducto: conducto para transportar gas natural.

Destilación fraccionada: proceso por el cual el petróleo se descompone en metano, butano, gasolina, gasóleo, alquitrán, etc. La separación tiene lugar en las refinerías

donde se calienta el petróleo y se separan sus componentes por tener distinto punto de ebullición.

Fisión nuclear: energía liberada en la desintegración radiactiva de un átomo que origina un átomo de menor peso atómico. Es la energía de las bombas atómicas y de las centrales nucleares.

Fusión nuclear: energía liberada en la unión de dos átomos para dar un átomo nuevo de mayor número atómico. Éste es el origen de la energía que desprenden las estrellas.

Arquitectura bioclimática. Así se denomina a la construcción de casas que se calientan y enfrían de forma natural (**energía solar pasiva**) gastando muy poca cantidad de otras fuentes de energía. En estas construcciones se tiene especial cuidado con la orientación de las ventanas, el espesor de los muros, el uso de materiales aislantes, etc.

Las placas solares térmicas están destinadas a capturar el calor (agua caliente, calefacciones...) mientras que la placas solares **fotovoltaicas** sirven para transformar la luz solar en electricidad.

Biocombustibles: combustibles obtenidos a partir de restos de materia orgánica (residuos de cosechas, madera, semillas oleaginosas...). Están poco desarrollados pero algún día pueden ser la alternativa renovable a la gasolina y al gasoil de nuestros vehículos.

ATMÓSFERA.

Troposfera: capa inferior de la atmósfera (por debajo de 10 km) en la que tienen lugar los fenómenos meteorológicos. En la troposfera la temperatura disminuye con la altitud.

Presión atmosférica: es el peso del aire sobre la superficie terrestre. Esta presión se mide con el barómetro en milibares y se representa en los mapas de tiempo mediante las **isobaras**, que son líneas que unen puntos de igual presión (generalmente las isobaras van de 4 en 4 mb). La presión normal es de 1015 mb o 760 mm de mercurio.

Gradiente vertical de temperatura: es el ritmo de disminución de la temperatura que tiene lugar con el aumento de altura en la atmósfera. Es de 6.5°C cada kilómetro de altura.

Gradiente adiabático: variación de temperatura que experimenta una masa de aire en ascenso vertical a calor constante. Dicha variación se estima en 1°C/100m para el aire seco (gradiente adiabático seco, **GAS**). Cuando se alcanza el punto de rocío disminuye el ritmo de ascenso a 0.3-0.6 °C/100m (gradiente adiabático saturado o húmedo, **GAH**).

Efecto invernadero: calentamiento de la atmósfera como consecuencia de la presencia de gases transparentes a la luz visible procedente del sol pero no a la radiación infrarroja procedente de la superficie terrestre con lo que ésta queda retenida en la atmósfera.

Efecto albedo: porcentaje de radiación solar reflejada por la Tierra del total de la radiación solar incidente. Las superficies claras (nubes, casquetes polares...) tienen mayor albedo que las oscuras.

Ozono: molécula formada por tres átomos de oxígeno, especialmente abundante en la estratosfera y muy importante por su función de filtro frente a las radiaciones ultravioletas. El ozono troposférico, en cambio, es un contaminante.

Convección: circulación de un fluido en el que unas zonas están más calientes que otras. En el caso de la atmósfera las masas de aire calientes ascienden y las frías descienden.

Humedad relativa: es la relación entre el vapor de agua realmente contenido por el aire y el que podría contener en caso de estar saturado. Se expresa en tanto por ciento. También recibe el nombre de estado higrométrico.

Borrasca: Es una zona de bajas presiones (menos de 1.015 mb) rodeada de otras de presión más alta. Produce tiempo inestable, frecuentemente lluvioso. Los vientos son convergentes y circulan en sentido contrario a las agujas del reloj. También se llama ciclón o depresión.

Anticiclón: zona de altas presiones (más de 1.015 mb) rodeada de otras de presión más baja; produce tiempo estable. Los vientos son divergentes y circulan a su alrededor en el sentido de las agujas del reloj.

Centro de acción atmosférica. Se denominan así, conjuntamente, a los anticiclones y a las borrascas.

Gradiente de presión: es la diferencia de presión atmosférica entre dos puntos. Un gradiente pronunciado significa que la diferencia es alta y las isobaras están muy próximas; mientras que si el gradiente es débil las isobaras están muy distantes. Un gradiente pronunciado suele estar asociado a grandes vientos.

Continentalidad: propiedad de algunas regiones muy alejadas del mar y de su influencia oceánica que presentan como característica climática temperaturas extremas a lo largo del año (veranos muy calurosos e inviernos muy fríos, es decir, alta **amplitud térmica**).

Efecto de Coriolis: es la desviación que sufren los vientos de su trayectoria inicial como consecuencia de la rotación terrestre. En el hemisferio norte los vientos se desvían a la derecha.

Zona de convergencia intertropical (ZCIT): regiones próximas al ecuador caracterizadas por borrascas permanentes y lluvias constantes. Debe su nombre a que en ella coinciden los vientos alisios procedentes del hemisferio norte con los procedentes del hemisferio sur.

Zona de vientos alisios: regiones comprendidas aproximadamente entre los trópicos y el ecuador, caracterizadas por vientos de procedencia este (NE en el hemisferio norte y SE en el hemisferio Sur).

Zona de anticiclones subtropicales: regiones próximas a los trópicos caracterizadas por anticiclones estables. En estas regiones, sobre todo si no hay mares cerca, son frecuentes los desiertos debido a que los vientos son divergentes.

Zona de vientos del oeste (westerlies): coincide aproximadamente con las regiones templadas. En el caso del hemisferio norte, los vientos que deberían tener una trayectoria sur-norte son desviados por el efecto de Coriolis adquiriendo una dirección de suroeste a nordeste.

Clima: conjunto de fenómenos de tipo meteorológico característicos del tiempo atmosférico de un lugar determinado. El clima de una zona se calcula a partir de los datos recogidos durante 20-30 años; la ciencia que lo estudia es la **climatología**. Esto lo diferencia del **tiempo atmosférico** que es el estado de la atmósfera sobre un lugar en un momento determinado y es estudiado por la **meteorología**.

Climograma o diagrama ombrotérmico: gráfico o diagrama sobre ejes de coordenadas en el que se representan simultáneamente los datos de temperatura y pluviosidad de un lugar determinado durante un año. Las precipitaciones se representan con barras y las temperaturas con una línea de puntos.

Isotermas: son líneas curvas cerradas que se dibujan en un mapa y que unen puntos con igual temperatura en un momento determinado.

Isoyetas: son líneas curvas que se dibujan en un mapa y que unen puntos con igual precipitación en un momento determinado.

Nubes de convección térmica (borrascas de convección): nubes originadas por el ascenso convectivo de aire cálido y húmedo hasta alcanzar el nivel de condensación, donde se origina una nube pequeña de tipo cúmulo. Esta nube puede crecer hasta convertirse en cumulonimbo que descarga una tormenta intensa pero poco duradera. En la Península Ibérica son frecuentes en verano.

Precipitación orográfica: lluvias provocadas por el ascenso sobre una cordillera de una masa de aire cargada de humedad. El ascenso provoca el enfriamiento y condensación del aire, dando lugar a precipitaciones en el lado de la montaña por el que asciende el aire

(barlovento). Pasada la cumbre, el aire desciende, se recalienta y produce sequedad en el lado de la montaña por el que desciende (sotavento); es el llamado **efecto Foehn**.

Frente (borrasca frontal): es la superficie que separa dos masas de aire con características distintas, una de aire frío, que pesa más y que tiende a descender, y otro de aire cálido, que tiende a ascender por su menor peso y el empuje del aire frío. El más importante para la Península es el **frente polar**, que separa las masas de aire tropical y polar.

Cúmulos: nubes en forma de masas algodonosas.

Cumulonimbos: nubes globulares oscuras que originan lluvias intensas y tormentas.

Estratos: capa uniforme de nubes que origina lluvias débiles.

Cirros: nubes altas, de hielo, de aspecto laminar que no originan precipitaciones.

Nieblas: nubes de aspecto vaporoso a ras del suelo que limitan la visibilidad a menos de un kilómetro. Si la visibilidad no está tan limitada se denominan **neblinas**. En zonas costeras se denominan **brumas**. Hay un fenómeno similar, de falta de claridad atmosférica, que se llama **calima**; no es debido al agua sino a partículas de polvo en suspensión, por ejemplo procedentes del Sahara.

Corriente en chorro, Chorro Polar o Jet stream: es una fuerte corriente de viento, de estructura tubular, que circula a unos 10 km de altura y a unos 60° de latitud, recorriendo un círculo de oeste a este.

Gota fría: son borrascas que se crean a partir de profundas vaguadas de la corriente en chorro, que pueden llegar a desgajarse del chorro principal e individualizar una borrasca sobre el suroeste o el sur peninsular o sobre las costas mediterráneas. Esta borrasca en altura desciende hasta el suelo y obliga al aire cálido de las capas bajas a ascender violentamente, dando lugar a abundantes precipitaciones, a veces torrenciales y de carácter catastrófico. Ocurren fundamentalmente a finales del verano o principios del otoño.

Tornado: remolino de viento y polvo de unos 50 metros de ancho que se origina cuando la superficie terrestre está muy caliente y sobre ella sopla un viento de sentido contrario al que sopla en las capas altas.

Monzones: lluvias persistentes típicas de la India y del sudeste asiático que se producen en los meses en que la ZCIT se desplaza al norte y los vientos húmedos del océano Índico llegan a las costas asiáticas.

Huracán, tifón o ciclón: grupo de tormentas muy próximas entre sí, de unos 500 km de diámetro, que giran en espiral en torno a una zona central u ojo del huracán.

Ciclos astronómicos de Milankovitch: cambios periódicos de la radiación solar incidente sobre la Tierra como consecuencia de pequeñas variaciones de la posición de la Tierra respecto al Sol: cambios en la excentricidad de la órbita, cabeceo del eje de rotación terrestre, etc.

Fenómeno de El Niño: alteración climática en el Pacífico Sur que consiste en una inversión de los vientos alisios que se desplazan de oeste a este ocasionando sequías en Indonesia, intensas precipitaciones en Sudamérica, impide el "afloramiento" en las costas de Perú de las aguas profundas que mantienen la riqueza pesquera de esa zona, etc.

Contaminación atmosférica: presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Contaminantes secundarios: son sustancias químicas no emitidas directamente por las fuentes de contaminación sino generadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas en las que intervienen los contaminantes primarios. Destacamos el ácido nítrico y el ácido sulfúrico, responsables de la lluvia ácida, y ciertos gases originados en ciudades con mucho tráfico en condiciones de gran insolación (ozono troposférico y los P.A.N., responsables del smog fotoquímico).

Radiaciones ionizantes: partículas u ondas electromagnéticas que pueden ionizar átomos o moléculas de la materia sobre la que actúan alterando su estructura y sus funciones (radiaciones alfa, radiaciones beta, rayos X, etc). Las **radiaciones no ionizantes** incluyen a los campos eléctricos, las ondas de radio y televisión, las microondas...

Nivel de emisión es la cantidad de contaminante vertido a la atmósfera en un período determinado.

Nivel de inmisión es la cantidad de contaminante presente en un determinado volumen de aire atmosférico.

Inversión térmica: situación en la que la zona más baja de la troposfera está más fría que las capas suprayacentes. Esto impide que el aire que está en contacto con el suelo ascienda y se produzca la dispersión de contaminantes, si los hubiera.

Isla de calor: fenómeno térmico que consiste en que el aire de las ciudades está mucho más caliente que el de las zonas que lo rodean; esto se debe al calentamiento producido por calefactores, vehículos, el desprendido por el pavimento, etc. Algunos núcleos urbanos se comportan como islas que apenas intercambian aire con las zonas circundantes por lo que no se limpia bien el aire formándose **una cúpula de contaminantes**.

Smog: es una especie de niebla urbana formada por contaminantes. En el smog clásico o sulfuroso estos contaminantes son partículas en suspensión, óxidos de azufre, monóxido de carbono... El smog fotoquímico se debe a contaminantes secundarios originados a partir de óxidos de nitrógeno y derivados de hidrocarburos en presencia de luz solar.

Lluvia ácida: precipitaciones de agua ligeramente ácida que son perjudiciales y corrosivas para la vegetación, para las aguas continentales y los animales que viven en ellas, para los monumentos... La acidez se debe a la presencia de ácido sulfúrico y ácido nítrico generados en la atmósfera a partir de óxidos de azufre y de nitrógeno que, a su vez, proceden de la quema de combustibles fósiles.

Agujero de la capa de ozono: región de la estratosfera en la que la cantidad de ozono ha disminuido notablemente, hasta un 40 %, debido a la presencia de compuestos ricos en cloro (CFC) que destruyen la molécula de ozono. La disminución del ozono permite la penetración de radiaciones ultravioletas muy perjudiciales para la salud.

Nubes estratosféricas polares. El anticiclón invernal de la Antártida hace que allí la estratosfera se encuentre a cotas más bajas y que se puedan formar nubes estratosféricas. En la formación de estas nubes intervienen óxidos de nitrógeno que se comportan como núcleos de condensación; por eso las precipitaciones antárticas provocan una disminución de óxidos de nitrógeno de la estratosfera. Si tenemos en cuenta que dichos óxidos son protectores del ozono (bloquean al cloro, impidiendo que ataquen a la molécula de ozono), se deduce que el agujero de ozono será mayor en invierno.

Ruido es un sonido excesivo o intempestivo que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos no deseados sobre una persona o grupo de personas.

HIDROSFERA

Ciclo hidrológico: recorrido circular que realiza el agua que se puede iniciar en las nubes que envían las precipitaciones sobre mares y continentes, éstos son recorridos por el agua que se desplaza a zonas más bajas (escorrentía superficial y subterránea), posteriormente se convierte en vapor de agua volviendo a la atmósfera gracias a la evaporación y la transpiración y, finalmente, se condensa formando nubes.

Escorrentía superficial: es el desplazamiento del agua sobre la superficie terrestre hacia las zonas más bajas ya sea de manera encauzada (ríos, torrentes) o libre (aguas salvajes o aguas de arroyada). Si el agua se desplaza por el subsuelo se denomina **escorrentía subterránea**.

Evapotranspiración: proceso por el cual el agua líquida pasa a la atmósfera como vapor de agua; este vapor puede proceder del calentamiento directo de masas de agua (evaporación) o puede ser desprendido por los seres

vivos (transpiración). El término **evapotranspiración potencial (ETP)** hace referencia a toda el agua que se puede convertir en vapor bajo determinadas condiciones de temperatura. La ETP es mayor que la evapotranspiración real cuando hay poca agua disponible.

Acuíferos: rocas capaces de almacenar y transmitir el agua. Deben ser rocas con alta porosidad como las arenas, gravas, calizas karstificadas...

Acuífugos: rocas que no almacenan el agua porque tienen una porosidad bajísima (arcillas, pizarras, granitos no fracturados...).

Nivel freático: superficie que separa en el subsuelo las partes inferiores de un acuífero que están saturadas de agua de las zonas superiores cuyos poros no están llenos de agua (zona de aireación).

Manantial, fuente o nacimiento: punto de la superficie terrestre por el que surge espontáneamente el agua subterránea. Aparecen cuando el nivel freático corta a la topografía y son frecuentes en los contactos entre rocas permeables e impermeables.

Pozo de gravedad: perforación realizada para obtener agua subterránea que requiere un sistema de bombeo del agua hasta la superficie.

Pozo surgente o pozo artesiano: perforación que consigue la salida espontánea del agua subterránea. Se produce en los acuíferos confinados cuando el punto de perforación está situado por debajo del nivel freático.

Balance hídrico: cuantificación de las entradas y salidas de agua en un tiempo y espacios determinados. El agua disponible depende de las precipitaciones, la evapotranspiración, la escorrentía y el volumen almacenado previamente.

Uso consuntivo del agua: utilización del agua para una actividad que no permite utilizarla de nuevo. En cambio, un **uso no consuntivo** es aquél que no altera la calidad del agua pudiendo reutilizarse.

La planificación hidrológica incluye el establecimiento de los usos del agua (superficial y subterránea) en una región determinada impulsando su ahorro y, en caso de escasez, desarrollando medidas excepcionales como embalses, trasvases, plantas desaladoras...

Embalse: especie de lago artificial que se consigue al construir presas en los valles fluviales. Los embalses permiten regular el caudal de los ríos, abastecer de agua a poblaciones, industria y agricultura, generar electricidad...

Trasvase: desplazamiento a través de canales de grandes cantidades de agua desde cuencas con excedentes de agua a cuencas deficitarias.

Restauración de cauces fluviales: conjunto de medidas encaminadas a favorecer la circulación de agua de los ríos y a proteger las laderas de la erosión al tiempo que se favorece la riqueza ecológica.

Plantas desaladoras: tienen como finalidad obtener agua potable a partir del agua del mar. El mecanismo más sencillo consiste en provocar la evaporación del agua y su posterior condensación; así se obtiene agua pura.

Confederación Hidrográfica: organismo dependiente de la administración central responsable de la gestión del agua de una cuenca o grupo de cuencas. En Andalucía destaca la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (para la cuenca este río) y la Confederación Hidrográfica del Sur (que incluye muchas cuencas de ríos menores que vierten sus aguas al Mediterráneo: Barbate, Guadiaro, Guadalhorce...).

Contaminación del agua: acción y efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de la calidad del agua.

Contaminación difusa es aquella cuyo origen no está claramente definido. Si el foco emisor está localizado y afecta a una zona concreta se habla de **contaminación puntual**.

Eutrofización: problema que afecta a lagos contaminados. Si un lago recibe gran cantidad de nitrógeno y fósforo se produce un desarrollo espectacular de las algas planctónicas generando una película verdosa. Cuando estas algas mueren se acumulan en grandes cantidades en el fondo y son descompuestas por bacterias aerobias que también proliferan y que consumen el oxígeno produciendo anoxia y la muerte de la mayoría de los organismos. Sólo quedan bacterias anaerobias que desprenden amoníaco y ácido sulfhídrico, responsables del mal olor característico de esta agua.

Sobreeplotación de acuíferos: es el consumo excesivo del agua subterránea de forma que se extrae más agua de la recarga natural del acuífero. Si se trata de un acuífero próximo a la costa se puede producir una **intrusión marina**, es decir, el agua salada se introduce en el acuífero inutilizándolo para el consumo.

Demanda biológica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar la materia orgánica

Demanda química de oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para que se realice la oxidación de la materia orgánica por agentes químicos, sin la participación de microorganismos.

Dureza del agua: concentración de CaCO_3 en el agua. Las aguas blandas tienen menos de 50 mg/l de CaCO_3 , mientras que las aguas duras superan los 200 mg/l. En las

plantas potabilizadoras se aplica un proceso de reducción del CaCO_3 conocido como **ablandamiento**.

Bioindicadores: invertebrados acuáticos que son muy sensibles a los cambios químicos del agua y cuya presencia es orientativa de los niveles de contaminación.

Agua potable: agua disponible para consumo humano, carente de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas, sabor, color y olor desagradables.

Desinfección del agua: proceso de eliminación de gérmenes patógenos; se puede hacer mediante la cloración o mediante ozonización.

Autodepuración: proceso por el cual las aguas contaminadas recuperan su calidad de forma natural, sin intervención humana. Se realiza gracias a la decantación de las partículas mayores y a la degradación de la materia orgánica por microorganismos. En los ríos muy dinámicos este proceso es más rápido porque las turbulencias favorecen la oxigenación del agua.

Lagunaje: sistema de depuración consistente en verter aguas residuales en unas lagunas artificiales poco profundas donde se realiza la decantación de materiales sólidos en suspensión y la degradación bacteriana de la materia orgánica.

Filtros verdes: sistema de depuración consistente en verter aguas residuales en terrenos cubiertos por árboles de rápido crecimiento (chopos) para que las aguas se autodepuren por mecanismos naturales (sedimentación, actuación de las bacterias...).

Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR): instalaciones complejas para la depuración de las aguas residuales que incluyen diversas piscinas en las que se aceleran los procesos físicos, químicos y biológicos. En las EDAR, además de agua limpia, se obtienen unos lodos que son útiles como abono y se desprenden gases (**biogás**) que son utilizados como fuente de energía.

Desbaste: proceso de separación, mediante una rejilla, de materiales sólidos voluminosos presentes en las aguas residuales.

BIOSFERA

Biosfera: conjunto de todos los seres vivos que habitan la Tierra.

Ecosistema: es el conjunto formado por todos los seres vivos que habitan un lugar, el medio en el que se desarrollan esos seres vivos y todas las relaciones que se establecen entre los distintos organismos y entre éstos y el medio.

Biocenosis o comunidad: conjunto de poblaciones de un ecosistema.

Población: conjunto de individuos de una misma especie que coexisten en una zona en un período determinado.

Biotopo: lugar en el que viven los seres vivos de un ecosistema y todas las características físico-químicas del medio.

Organismos autótrofos fotosintéticos: son los que fabrican su propia materia orgánica a partir de la luz solar. Son las plantas, las algas y parte de las bacterias.

Fotosíntesis: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{Materia orgánica} + \text{O}_2$

Respiración: $\text{Materia orgánica} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{calor}$

Organismos autótrofos quimiosintéticos: son los que fabrican su propia materia orgánica, sin utilizar la luz, a partir de reacciones químicas en las que intervienen ciertos compuestos de azufre, nitrógeno, hierro, etc.

Cadena trófica: serie de organismos que habitan en un mismo ecosistema ordenados de tal forma que cada organismo se alimenta del precedente. Ejemplo: alga, insecto acuático, rana, culebra, águila cuiblera.

Nivel trófico de un ecosistema: es el conjunto de seres vivos de un ecosistema que presentan las mismas características en su modo de alimentarse. Ejemplo: el nivel trófico de los productores, el de los consumidores primarios, el de los consumidores secundarios...

Productores: Son organismos **autótrofos**, constituyentes del primer nivel trófico, que son capaces de captar energía de sol y transformarla en energía química.

Consumidores: son organismos **heterótrofos** que emplean la materia orgánica de los autótrofos, tomada directa o indirectamente, para la obtención de energía y el mantenimiento de sus funciones vitales mediante la respiración.

Consumidores primarios o herbívoros: son organismos heterótrofos que se alimentan de los productores; constituyen el segundo nivel trófico de un ecosistema.

Consumidores secundarios o carnívoros: son organismos heterótrofos que se alimentan de los herbívoros y constituyen el tercer nivel trófico.

Carnívoros finales o superdepredadores: son organismos heterótrofos que se alimentan de carnívoros y constituyen el cuarto nivel trófico.

Omnívoros: organismos que se alimentan de más de un nivel trófico. Ejemplo: hombre.

Carroñeros o necrófagos: organismos que se alimentan de cadáveres. Ejemplo: buitres.

Detritívoros: organismos que se alimentan de restos de materia orgánica. Ejemplo: lombrices.

Descomponedores: organismos heterótrofos que descomponen la materia orgánica y la transforman en materia inorgánica, pudiendo así los productores asimilarla nuevamente.

Saprófito: organismo que extrae su alimento de materia orgánica en descomposición.

Parámetros tróficos: determinadas medidas que sirven para describir un ecosistema o un nivel trófico; son la biomasa, la producción, la productividad, el tiempo de renovación...

Biomasa: es la cantidad, en peso, de materia orgánica viva o muerta de cualquier nivel trófico de cualquier ecosistema. Se mide en g/cm^2 , kg/m^2 , etc.

Producción: es la cantidad de energía que fluye en cada nivel trófico. Se mide en $g/cm-día$, $kcal/ha-año$, etc. La **producción primaria** es la cantidad de energía fijada por los organismos autótrofos mientras que la **producción secundaria** es la cantidad de energía correspondiente al resto de niveles tróficos.

Producción bruta (Pb): es la cantidad de energía fijada por unidad de tiempo. Así, de los productores es el total fotosintetizado por día o año mientras que de los consumidores es el total asimilado del total ingerido.

Producción neta (Pn): es la energía almacenada en cada nivel y que queda disponible, una vez que se han producido los gastos de respiración, para ser transferida a los siguientes niveles tróficos. ($Pn = Pb - \text{Respiración}$).

Regla del 10%: la energía que pasa de un eslabón a otro de la cadena trófica es aproximadamente el 10% de la acumulada en él.

Productividad o tasa de renovación: es la relación que existe entre los productores y la biomasa y sirve para indicar la velocidad con que se renueva dicha biomasa (Pn/B).

Tiempo de renovación: es el tiempo que tarda en renovarse un nivel trófico o un ecosistema. Se obtiene dividiendo biomasa entre producción neta (B/Pn).

Eficiencia: es el rendimiento energético de un nivel trófico o de un ecosistema. En los productores se calcula dividiendo la energía asimilada entre la energía incidente; en los consumidores se divide la producción neta entre el total ingerido; para un animal concreto es el cociente entre el engorde y el alimento ingerido.

Pirámide ecológica: representación, en una serie de barras, de la energía, biomasa o número de individuos de los distintos eslabones de una cadena trófica.

Factor limitante de la producción primaria: es aquel elemento cuya ausencia impide el desarrollo de los productores. Ejemplo: la luz, el agua, el fósforo, el nitrógeno...

Afloramiento. En ecología marina se aplica al fenómeno por el cual ciertas corrientes mueven nutrientes desde zonas profundas a otras superficiales fertilizándolas.

Ciclos biogeoquímicos: son los itinerarios realizados por los distintos elementos químicos que componen la materia a través de la biosfera, atmósfera, la hidrosfera y la litosfera.

Fuentes: al hablar de ciclos biogeoquímicos se aplica al lugar en el que se encuentra la mayor parte del elemento en cuestión. La atmósfera, por ejemplo, es la fuente del carbono.

Sumideros: al hablar de ciclos biogeoquímicos se utiliza el término sumidero para aquellos lugares en los que se pierde buena parte de cierto elemento con lo que se hace difícil reintegrarlo al ciclo. Así, por ejemplo, parte del carbono orgánico se entierra y se convierte en carbón.

Micorrizas: es la asociación de un hongo con las raíces de una planta que permite la fijación del nitrógeno atmosférico.

Guano: material resultante de la acumulación de excrementos y otros restos de aves marinas que constituye un abono rico en nitrógeno y fósforo.

Lixiviado: proceso de arrastre por el agua de lluvia de los elementos solubles del suelo hasta zonas más profundas, lo que ocasiona un empobrecimiento de estos elementos en las zonas más próximas a la superficie e impide la absorción de los mismos por parte de las plantas.

Capacidad de carga: cantidad máxima de biomasa, producción o el número máximo de individuos que puede admitir un ecosistema.

Potencial biótico o tasa de crecimiento de una población es el incremento en los efectivos de una población por unidad de tiempo.

Crecimiento cero: situación en la que se mantiene estable una población porque la tasa de natalidad es igual a la tasa de mortalidad.

Especies r-estrategas: especies con un alto potencial biótico; el número de individuos de una población pueden aumentar muy rápidamente.

Especies k-estrategas: especies cuyas poblaciones crecen a un ritmo lento. Es el caso de animales que tienen pocas

crías a las que cuidan intensamente y que llegan a vivir muchos años.

Valencia ecológica: intervalo de tolerancia de una especie respecto a un factor ambiental (luz, temperatura, humedad...). Las especies que son muy exigentes se llaman **estenoicas** o especialistas. Las especies muy tolerantes se denominan **eurioicas**, por adaptarse a situaciones diversas se conocen también como generalistas y por aprovechar lugares donde no hay otras especies también se las llama oportunistas.

Hábitat de una especie: conjunto de biotopos con las características ambientales necesarias para que en él viva esa especie.

El nicho ecológico de una especie incluye las relaciones de esa especie con su ambiente, su posición trófica y la función que cumple dentro de un ecosistema.

Depredación: relación interespecífica en la que un organismo (predador) se alimenta de otro al que causa la muerte (presa).

Parasitismo: relación interespecífica en la que un organismo (parásito o huésped) se alimenta de otro, normalmente se fija a él, pero sin llegar a causarle la muerte (hospedador).

Mutualismo: relación interespecífica en la que dos organismos se benefician mutuamente. La relación se llama **simbiosis** si estos organismos no pueden llevar vidas independientes.

Competencia: es una relación entre dos individuos que se perjudican uno al otro porque están interesados en el mismo recurso, alimento o territorio. Hay competencia intraespecífica y competencia interespecífica.

Comensalismo: asociación interespecífica en la que un organismo se beneficia y el otro ni se beneficia ni se perjudica.

Biodiversidad: es la riqueza o variedad de especies de un ecosistema y la abundancia relativa de los individuos de cada especie.

Sucesión ecológica: cambios producidos en un ecosistema a lo largo del tiempo. Generalmente se aplica a cambios que implican un progreso, es decir, desde comunidades sencillas y poco exigentes hasta comunidades complejas y estables (**clímax**). Hay **sucesiones primarias** si parten de un terreno virgen y **sucesiones secundarias** si se producen en ecosistemas que han padecido una **regresión** (vuelta atrás) pero todavía conservan algunos organismos.

Agricultura intensiva. Se caracteriza por dedicar grandes extensiones de zonas llanas a monocultivos que consumen mucha energía, agua, abonos, fertilizantes, utilizan tecnología moderna y su rendimiento es alto. La

agricultura **extensiva o tradicional** tiene una producción menos pero también provoca un menor impacto sobre el medio ambiente.

Rotación de cultivos: sucesión de cultivos dentro de una misma parcela durante un determinado número de años, al cabo de los cuales se repiten los cultivos en el mismo orden.

Agricultura ecológica: sistema de gestión de la explotación agraria que implica grandes restricciones en el empleo de fertilizantes y plaguicidas. Se pretende obtener productos agrícolas de calidad sin que contengan residuos químicos y respetando el medio ambiente.

Agricultura de conservación. Prácticas agrícolas encaminadas a reducir la erosión de suelos. La medida más sobresaliente es la reducción del arado.

Acuicultura. Es la cría más o menos intensiva de especies acuáticas (peces, crustáceos, moluscos) en agua dulce o en el mar.

Cuotas de pesca: cantidad máxima que se puede pescar de una especie concreta para cada país.

Veda: período del año durante el cual no se puede cazar o pescar una determinada especie por encontrarse en época de reproducción.

Paradas biológicas: prohibición de cazar o pescar una determinada especie en peligro de agotamiento durante un período que puede durar años hasta la recuperación de las poblaciones afectadas.

Tala a entresaca: tala selectiva de árboles maduros de una parcela.

Energía de la biomasa. Consiste en utilizar la biomasa como combustible. A tal fin puede dedicarse la leña, los residuos agrícolas, excrementos de animales, combustibles líquidos que incluyen aceites vegetales o sustancias procedentes de la fermentación de residuos agrícolas (biocombustibles), el gas procedente de la descomposición anaerobia de la materia orgánica en los vertederos y depuradoras (biogás), etc.

Biodiversidad es la riqueza o variedad de las especies de un ecosistema y la abundancia relativa de los individuos de cada especie.

Endemismo: especie exclusiva de una zona geográfica reducida.

HUMANIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Revolución neolítica: proceso de transformación de las sociedades cazadoras-recolectoras en sociedades agrícolas-ganaderas. Comenzó hace unos 10.000 años.

Revolución industrial: cambio social provocado por la aparición de las primeras máquinas que utilizaban como fuente de energía el carbón. Se inició en Inglaterra en el siglo XVIII.

Explotación incontrolada: modelo de desarrollo económico que busca el máximo beneficio sin tener en cuenta los costes ambientales.

Conservacionismo a ultranza: modelo económico que pretende detener el desarrollo económico para conseguir la protección de la naturaleza.

Desarrollo sostenible: modelo de crecimiento social y económico que pretende utilizar los recursos de la Tierra de forma que no excedamos la capacidad de la Tierra para generarlos y así sigan estando a disposición de las generaciones futuras.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente o, simplemente, **Cumbre de Río de Janeiro (1992)**: reunión de jefes de estado y de gobierno de la mayoría de los países del mundo en la que se trataron los problemas del medio ambiente y se elaboraron la Carta de la Tierra, la Agenda 21, el Convenio sobre la Biodiversidad Biológica, el Convenio sobre el Cambio Climático, el Convenio contra la Desertificación... En Septiembre de 2002 se celebró otra gran Cumbre de la Tierra en **Johannesburgo** (Sudáfrica).

Crecimiento demográfico es el crecimiento de la población. En las últimas décadas se ha producido una **explosión demográfica**, la población ha aumentado de forma exponencial y ya supera los 6.000 millones de personas. Cuando la población se mantiene estable se habla de **crecimiento cero**.

Producto Interior Bruto (PIB): valor monetario de todos los bienes producidos por un país a lo largo de un año.

Índice de Bienestar Económico Neto: parámetro que indica los bienes producidos por un país a lo largo de un año descontados los costes ambientales.

Renta "per capita": indicador de los ingresos medios de los habitantes de un país. Se obtiene dividiendo el PIB entre el número de habitantes del país.

Índice de Desarrollo Humano: parámetro que informa sobre la calidad de vida en los países ya que tiene en cuenta además de la renta por persona, la esperanza de vida, la alfabetización...

La **pobreza económica** de una persona se establece atendiendo a sus ingresos (menos de 1 dólar al día) mientras que la **pobreza humana**, más importante, valora la alimentación, la disponibilidad de servicios sanitarios y educativos, la esperanza de vida, etc.

Deuda externa: dinero que deben los países subdesarrollados a los países ricos que se lo prestaron hace años. La pobreza de esos países impiden que puedan pagar su deuda, sólo son capaces de pagar los intereses generados por el préstamo; así pueden estar años pagando pero nunca termina de pagar; de ahí el eslogan "Deuda externa = deuda eterna".

Relaciones Norte-Sur. Generalmente se utiliza esta expresión para referirse a las **relaciones comerciales injustas** entre países subdesarrollados y países desarrollados. Éstos últimos imponen las leyes del mercado: compran barato y venden caro lo que hace que los países del Sur se empobrezcan cada vez más.

Educación ambiental: conjunto de actuaciones para 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).

Parque Nacional: espacio natural protegido de relativa extensión con una vegetación, fauna, paisaje, etc. 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: 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 Cádiz destacan los parques de la Sierra de Grazalema, de Los Alcornocales y de Bahía de Cádiz.

Reserva Natural: espacio natural protegido, de extensión reducida, pero muy valioso en el que sólo son admitidos usos científicos y didácticos. Es el caso del Pinsapar de la Sierra del Pinar.

Monumento Natural: árboles singulares, yacimientos paleontológicos, formaciones geológicas curiosas y otros elementos aislados que merecen un reconocimiento y una protección especial. Ejemplo: duna de Bolonia.

Reservas de la Biosfera: áreas de especial interés biológico que reciben este reconocimiento internacional por parte de la UNESCO.

Ayudas financieras: apoyo económico en forma de préstamos, subvenciones...

Ayudas fiscales: supresión o reducción de algunos impuestos, desgravaciones en la declaración de la renta...

Ordenación del territorio: planificación que consiste en definir los distintos sectores de una región determinada y establecer el uso más conveniente para cada uno de esos sectores.

Ecoeficiencia: conjunto de mecanismos de producción y consumo que son respetuosos con el medio ambiente (gastar poco agua, usar energías renovables, no contaminar, etc.) a la vez que son competitivos en cuanto al precio.

Ecoetiqueta: etiqueta que la Administración concede para certificar que determinado producto es respetuoso con el medio ambiente.

Ecoauditoría: proceso de evaluación al que se somete voluntariamente una empresa para determinar su grado de respeto del medio ambiente.

Evaluación de impacto ambiental: 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.

Matriz de impacto ambiental: cuadro de doble entrada utilizado como herramienta básica en la evaluación de impacto ambiental. La matriz más utilizada es la de Leopold que recogen en las columnas las acciones que pueden provocar alteración y en las filas los elementos del medio susceptibles de ser alterados.

Medidas compensatorias: conjunto de actuaciones encaminadas a reducir los impactos negativos de un determinado proyecto.

CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE



Pablo Acosta Robles
I.E.S. Los Remedios
Ubrique, 2007-08