

Tema 15. El modelado de las zonas áridas. El problema de la desertización. Medidas de prevención y corrección

- ☐ 2º E.S.O. Bloque II. Tema 5: Meteorización.
- ☐ 4º ESO. Bloque I. El modelado del relieve terrestre.
- ☐ 1º Bachillerato. Bloque 4.
- ☐ 2º Bach. Ciencias de la Tierra y del medio ambiente. Tema 8: Desertización..
- ☐ 2º Bach. Geología optativa. Bloque: Los procesos geológicos

SUMARIO

15.1. Zonas áridas

15.1.1. Localización y vegetación

15.2. Agentes del modelado de las zonas áridas y subáridas

15.2.1. Acción geológica de la atmósfera (METEORIZACIÓN)

15.2.2. Acción del agua

15.2.3. Sistema de vertientes

15.3. Sistema de erosión subárido

15.3.1. Formas de erosión.

15.3.2. Formas de depósito.

15.4. Sistema de erosión árido

15.4.1. Modelado eólico. Acción geológica del viento:

15.4.2. Depósitos no eólicos.

15.4.3. El ciclo de denudación en un clima árido

15.5. El problema de la desertización.

15.5.1. Métodos de evaluación de la erosión

15.5.2. Medidas de prevención y corrección

15.5.3. Desertización y desertificación

15.5.4. Erosión y desertificación en España

15.1. Zonas áridas

Las regiones áridas y semiáridas del mundo cubren aproximadamente una tercera parte de la superficie de la Tierra. En general se considera que una zona es árida cuando sufre períodos de sequía, debido a que el conjunto evaporación y transpiración potencial (**evapotranspiración potencial**) supera a las precipitaciones. La **aridez** se considera, por tanto, un concepto climático. Los vegetales y animales se tienen que adaptar a esta situación limitante.

Un 35 % de la superficie del planeta corresponde a zonas áridas, con más de 600 millones de habitantes, caracterizadas por su pobreza y su **desertización**. La causa de esta extensión de la aridez hay que buscarla en la sobreexplotación de los ecosistemas y en tratamientos inadecuados por parte del hombre, esta mala utilización de la tierra se superpone y entra en sinergia con fases climáticas secas que afectan sobre todo a subdesiertos y zonas semiáridas.

La delimitación de estos territorios y su calificación, según la mayor o menor intensidad de la aridez, la realizó la UNESCO en 1977, con su mapa mundial de zonas áridas. Éstas se dividen en 4 clases o grados de aridez, mediante la utilización del índice P/ETP, donde P = precipitación media anual y ETP la evapotranspiración potencial anual. Las cuatro zonas delimitadas de esta manera fueron:

1. **Zona hiperárida.** Índice $< 0'03$. Desiertos propiamente dichos, la vegetación está prácticamente ausente excepto en zonas muy localizadas.
2. **Zona árida.** Índice entre $0'03-0'2$. Subdesiertos y semidesiertos. La vegetación correspondiente es clara y comprende, según regiones, matorrales, pequeñas leñosas y cactus. Pastoreo nómada y, a veces, cultivos extensivos de cereal.
3. **Zona semiárida.** Índice entre $0'2-0'5$. Estepas, praderas, ciertas sabanas tropicales y buena parte de la vegetación mediterránea. La lluvia suele ser invernal en latitudes mediterráneas y tropicales. Regiones ganaderas con cultivos de secano con resultados aleatorios.
4. **Zona subhúmeda.** Índice entre $0'5-0'75$. Se sitúan, con límites variables, entre la regiones húmedas y áridas. La vegetación comprende principalmente ciertos tipos de sabanas tropicales, maquis y chaparrales de clima mediterráneo, estepas de chernozem, etc. La agricultura es el modo normal de explotación de la tierra.

Para introducir nuevas divisiones, se tienen en cuenta los factores térmicos. La t^a varía de unos desiertos a otros, habiendo desiertos cálidos (Sáhara), templados (páramos del mar de Aral) y fríos (Islandia). En general, las regiones desérticas presentan una fuerte oscilación térmica del día a la noche (en los cálidos varía entre 70°C y 0°C).

El principal problema de estas zonas no es ya la escasez de precipitaciones y la escasa humedad relativa que a veces la acompaña, sino la incertidumbre climática. Murcia, en la zona árida mediterránea de España, con una precipitación media anual de 282 mm., recibió casi 200 mm. en 1952, y 527 mm. en 1951. El ejemplo más espectacular lo tenemos en la sequía del Sahel (Chad, Níger, Alto Volta, Malí, Mauritania, Senegal, Etiopía y Sudán), donde desde 1965, las medias quinquenales han descendido por debajo de 150 mm. año, convirtiéndose el clima en sahariano.

Las zonas áridas del mundo se extienden entre 0° y 60° de latitud norte y los 0° y 55° de latitud sur. En España, según la clasificación anteriormente citada tendríamos que parte de la región de Murcia y sur de Almería serían zonas áridas; resto de Levante, gran parte de Andalucía, Extremadura y de ambas Mesetas, serían zonas semiáridas; Galicia, cornisa Cantábrica y Pirineos son zonas húmedas, valles de los ríos e inmediaciones de cordillera Central e Ibérica se corresponderían con zonas semihúmedas.

Existen diversos tipos climáticos y por lo tanto diversos sistemas morfoclimáticos de erosión asociados a dichos tipos de climas. Aunque el título del tema es el modelado de las zonas áridas, considero que debe abarcar también el modelado de las zonas subáridas o semiárida ya que éste no se incluye en ningún otro tema y, además, están bien representadas en España. Los sistemas morfoclimáticos de erosión subárida son: El templado-húmedo mediterráneo o subtropical, las zonas mediterráneas y las tropicales subdesérticas. El modelado estrictamente árido se circunscribe a los sistemas Sudesértico, desértico y zonas tropicales desérticas. (Ver tema 13).

15.1.1. Localización y vegetación

Las regiones desérticas y subdesérticas ocupan más de la quinta parte de la superficie continental. Los **desiertos tropicales** (Sahara, Kalahari, Arabia, Australiano, Sonora) se encuentran entre las zonas climáticas ecuatorial y templada, a lo largo de franjas de alta presión atmosférica. **Desiertos de latitudes** deben su existencia a su situación en el interior de un continente, lejos del mar (Gobi, Turkestán), o a la existencia de una cordillera que impide la llegada de los vientos húmedos (desiertos americanos).

Los desiertos muy secos carecen de vegetación; el suelo es de roca desnuda, gravas, arenas o dunas móviles y costras calizas; en algunos pueden haber plantas muy dispersas, adaptadas a la sequedad (cactus), que protegen poco al suelo de la erosión.

Las **estepas** presentan preferentemente una vegetación de hierbas y gramíneas cortas, que no cubren por completo el suelo. Son tierras aptas para el pasto de animales.

15.2. Agentes del modelado de las zonas áridas y subáridas

La **meteorización** es la "acción geológica ejercida por la atmósfera sobre las rocas". Produce la disgregación de las mismas, pero no realiza el transporte de los materiales erosionados; por lo que se suele decir que la atmósfera es un "agente estático", ya que los agentes (viento, agua) que producen además transporte y sedimentación se les llaman "dinámicos".

Como vimos en el tema 13 y sobre todo en el tema 14, la superficie de la tierra presenta, según las zonas, diversos aspectos. Las grandes estructuras, tales como grandes anticlinales o sistemas de fallas, etc. confieren un relieve muy particular en cada caso, que a su vez, desde el momento en que empiezan a formarse, la acción de los gases atmosféricos, del agua, del viento y los cambios de temperatura actúan sobre ese relieve y se inicia su modelado. Este modelado viene condicionado por:

- a) **Los agentes geológicos externos.** Puede suceder que en un periodo de reexistencias comience a surgir un relieve debido a la acción de la dinámica interna, y desde el momento en que comienza a formarse, los agentes externos (atmósfera, viento, agua y hielo) inician su acción meteorizándolos, transportándolos y, finalmente, depositándolos en otros puntos.
- b) **La estructura tectónica** de los materiales. El modelado guarda una cierta relación con las estructuras tectónicas de cada región. Por ejemplo, la morfología de la ladera de una montaña guarda relación con la posición de los estratos, ya que su dirección y buzamiento condicionan la forma del relieve.
- c) **La litología** de los materiales. Según sea la composición de las rocas, la resistencia a los agentes externos será distinta.

La importancia de la meteorización queda atestiguada por observaciones tales como :

- Rocas con planos o fracturas horizontales y verticales (granitos y basaltos), o lajas, torreones separados por grietas de bordes redondeados, etc.
- Costras de alteración sobre las rocas, que se desprenden con facilidad.
- Bandas rojo-amarillentas, índice de una activa meteorización química.
- La presencia de musgos sobre una fina capa arenosa de las rocas.
- Bloques caídos al pie de una montaña.

15.2.1. Acción geológica de la atmósfera (METEORIZACIÓN)

LA METEORIZACIÓN FÍSICA O MECÁNICA

Es un proceso de disgregación o fragmentación de la roca primitiva en diversos fragmentos, sin que la composición química varíe. Es muy importante en los climas desérticos y en los de latitudes árticas, mientras que se puede decir que es casi nula en los climas tropicales.

La meteorización es la etapa inicial en el proceso de denudación o desgaste de la superficie terrestre. Es un concepto distinto de la erosión, ya que se produce dicho proceso se produce "in situ", en tanto que

la erosión es la acción por la cual los materiales de la superficie terrestre son transportados hasta las cuencas sedimentarias. La meteorización facilita o hace posible dicho transporte, a la par que condiciona diversas características (forma, tamaño y composición) de los componentes de los sedimentos resultantes.

Las rocas que alcanzan la superficie terrestre, tras la erosión de otras situadas sobre ellas, suelen presentar multitud de fisuras, que en su mayor parte aparecieron durante la consolidación y enfriamiento de las rocas magmáticas, en la compactación y calentamiento de las rocas sedimentarias y metamórficas, o bien bajo la acción de esfuerzos tectónicos. A medida que dichas rocas son descargadas del peso correspondiente, experimentan una descompresión que permite la apertura de dichas fisuras e incluso la aparición de otras nuevas (fisuras de relajación). Cuando por fin afloran a la superficie, las rocas aparecen bastante cuarteadas y con numerosas vías de ataque.

En este proceso intervienen:

- a) **Cambios de temperatura.** Los cambios bruscos de t^a entre el día y la noche, especialmente en los desiertos cálidos, producen dilataciones y contracciones, que llegan a fatigar mecánicamente a las rocas y las desmoronan. Este mecanismo se agudiza cuando las rocas están compuestas por minerales leucocratos y melanocratos juntos (ejemplo el granito). Los primeros se calientan menos que los últimos y, por tanto, se dilatan menos. El resultado es que las contracciones y dilataciones no son homogéneas, y se desarrollan campos de fuerza que tienden a separar cada mineral (desintegración granuda). Por ello este mecanismo produce abundante arena. En rocas de composición homogénea la oscilación térmica produce el **lajamiento**: rotura en lajas paralelas a la superficie de la roca. (**Dilatación o relajación de esfuerzos y Dilatación diferencial**)

Las bajas t^a determinan la congelación del agua, lo que produce un aumento del 9 % de su volumen. En las zonas de la superficie terrestre en donde este hecho se produce de forma intermitente (hielo-deshielo), se determinan procesos de fracturas de las rocas debido a que el agua introducida por las grietas, se congela y, al aumentar de volumen, ejerce gran presión sobre ambas paredes. Este proceso se denomina **gelivación, gelifracción o crioclastismo**.

Cerca de las costas el aire marino deposita sales en las diaclasas (salitres) y al cristalizar ejercen una presión análoga a la de la helada. (**Crecimiento de cristales**)

- b) **Por cambios de presión.** Normalmente estos cambios son debidos a descompresiones producidas por la disminución de carga, ya que por cada tres metros de roca la presión aumenta una atmósfera. Las rocas metamórficas y las plutónicas se forman a presiones superiores a las 1000 atmósferas, las sedimentarias se forman a presiones similares.

La descompresión que se produce en superficie, determina la formación de bloques y lajas, según avanza la meteorización; estas grietas favorecen la acción mecánica del agua.

- c) **Gravedad.** Generalmente por fenómenos de desprendimiento. La acción de la gravedad sobre los materiales sueltos de la superficie terrestre hacen que estos tiendan a caer por las pendientes y laderas, debido a su peso. El término desprendimiento se suele reservar para cuando se produce una caída brusca de grandes cantidades de materiales, debido a que la pendiente del terreno sobre el que se deslizan es muy acusada. La acción de la gravedad depende de los siguientes factores:

Pendiente, cohesión de los materiales y presencia de agua. Los tipos de movimientos a los que dan lugar son los de reptación (lentos); los de soliflucción (coladas de barro, corrimiento de tierras), y los desprendimientos (canchales).

- d) **Animales y plantas.** Intervienen en el proceso de fragmentación de las rocas, pero su acción no es tan intensa como la que ejercen los anteriores agentes. Los animales que realizan vida subterránea fabrican túneles y remueven la tierra, al introducir las plantas sus raíces en las grietas de las rocas, llegan a ejercer sobre las paredes tales presiones que determinan su fracturación. Los líquenes, que son los primeros vegetales junto con las bacterias que establecen en la superficie de las rocas, van a influir en que se inicie el ataque químico de éstas, al formar una delgada capa de materia orgánica que dará lugar en algunas zonas a la formación de compuestos húmicos. De todos los seres vivos, el que ejerce una acción mecánica más importante sobre la superficie terrestre es el hombre, pues puede horadar montañas, demolerlas, cambiar el curso de los ríos, etc.

La meteorización física es máxima cerca de los polos, en las altas montañas y en los desiertos cálidos.

METEORIZACIÓN QUÍMICA (OPCIONAL) (Es conveniente consultar lo expuesto en el tema 6).

Donde la meteorización química alcanza su máxima expresión es el sistema morfoclimático ecuatorial. Las rocas que se forman a t^a y presiones elevadas, cuando estas desciende, reaccionan con facilidad con el CO_2 , oxígeno, el agua, etc., dando lugar a compuesto de menor densidad. Los procesos meteóricos más importantes son los que tienen como principal agente al agua. En agua de lluvia contiene importantes cantidades de N_2 , O_2 y CO_2 ; en menor proporción, pero químicamente muy activos, contiene ClNa , H_2SO_4 , HNO_3 , NH_3 , etc.

Cuando la meteorización física se produce a la vez que la química, esta última gana en intensidad y rapidez porque la primera aumenta las superficies de la roca que se ponen en contacto con el aire o el agua y ello supone un frente de ataque químico más amplio.

Por sí misma el agua es químicamente activa al encontrarse parcialmente ionizada en H^+ y OH^- . Además, al incorporarse el agua al suelo, disuelve diversos ácidos orgánicos procedentes de las sustancias húmicas, con lo que su acción química se incrementa, adquiriendo una gran importancia. Las distintas acciones químicas del agua están condicionadas por los factores climáticos y son las siguientes: **Disolución, Formación de sustancias coloidales, Hidratación e hidrólisis, intercambio de bases y Oxidación y reducción.**

Disolución.

Las propiedades disolventes del agua se explican a partir de que la molécula de agua es un dipolo, en el que los hidrógenos están situados en un lado y el oxígeno en otro. La acción del H^+ y del OH^- se centra en la captura de iones que no están ligados con fuerzas a la red atómica; todo esto tiende a desmoronar la red cristalina del mineral ya que se produce una ionización y posterior escape de estos iones por los agentes de la geodinámica externa. Se da en materiales solubles en agua como las sales (halita, silvina, carnalita) y sulfatos (yeso).

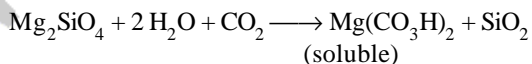


Los iones Cl^- y Na^+ son arrastrados por el agua, que en realidad es un dipolo (OH^- y H^+) que provoca la distorsión del ClNa y facilita la emigración del Cl y Na .

La **Carbonatación** es un caso particular de la disolución, en la que no solo interviene el agua sino también el ión HCO_3^- procedente de la disolución en el agua del CO_2 atmosférico según el equilibrio.



El ión bicarbonato también puede actuar sobre algunos silicatos:



Formación de sustancias coloidales.

Tras la acción del agua como disolvente, permanecen estructuras moleculares flojas con un tamaño de unos 20 μm , en la que los átomos conservan una disposición geométrica, pero relativamente irregular, estas se denominan coloides. Entre las sustancias que tienden a formar coloides figuran el hierro, la sílice y los minerales arcillosos.

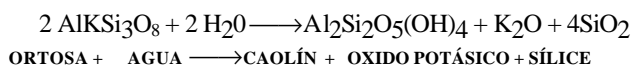
Hidratación e hidrólisis.

La hidratación consiste en la entrada de moléculas de agua en algunos minerales que favorecen su posterior erosión, por ser más soluble al mineral hidratado, o por adquirir un mayor volumen y superficie

de exposición a la meteorización química. Así el paso de anhidrita (SO_4Ca) a yeso ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), supone un aumento de volumen de hasta un 60 %.

Un caso similar sucede con las llamadas **arcillas expansivas** (montmorillonita), que absorben agua entre sus redes cristalinas, aumentando de volumen.

La **hidrólisis** o descomposición del agua, implica un cambio químico, no una ionización. Los minerales hidrolizables incluyen en sus complejas fórmulas elementos solubles en estado de cationes que son liberados en el ataque químico, mientras el residuo insoluble se organiza en nuevas estructuras minerales. En el caso de los feldespatos, la entrada en la estructura mineral de los iones OH^- , provoca el desprendimiento de los iones Na^+ , K^+ , etc., la reestructuración mineralógica produce los minerales arcillosos, como el caolín, montmorillonita, etc.



El caolín o caolinita tiene gran interés para la fabricación de lozas y cerámicas valiosas. La **hidrólisis de los feldespatos** opera fundamentalmente sobre las rocas graníticas, que van perdiendo su cohesión (arenización del granito), y se le conoce con el nombre de lehm.



Basándose en las peculiaridades de la hidrólisis de los feldespatos, se suelen distinguir dos tipos de meteorización química:

1. La **meteorización química sialítica**, se caracteriza porque durante la hidrólisis de los feldespatos, el enlace que une al Silicio con el Aluminio no llega a romperse. Los productos finales son arcillas. Las rocas graníticas dan lugar a arcillas, cuarzo, que dará finalmente arena, y disoluciones. Se produce en climas intertropicales
2. La **meteorización alítica**, es propia de los países cálidos y lluviosos y es en realidad la continuación de la meteorización sialítica. En estos climas las arcillas, como son aluminosilicatos, se hidrolizan a su vez, de modo que producen óxido de hierro y de Aluminio y de Silicio. De esta manera se rompe el enlace entre el silicio y el aluminio; dando además disoluciones de sílice y otras sustancias. El producto insoluble final es una mezcla de óxidos e hidróxidos de Fe y Al, que se llama laterita por su color ladrillo, y es tan característica de los climas intertropicales como las arcillas de los templados.

Intercambio de bases.

Las propiedades químicas de los coloides se deben a que presentan una gran superficie y una ordenación interna de los átomos, pero en su superficie las cargas eléctricas no están compensadas, por lo que pueden atraer y retener iones. Puede ocurrir que un ión con una elevada carga eléctrica desplace a otro de la superficie del coloide que tenga el mismo tamaño, pero menor carga. Estos dos procesos se conocen con el nombre de intercambio de bases.

Oxidación y reducción.

De todas las sustancias, la primera que sufre los procesos de oxidación o reducción, es el hierro. En la naturaleza se pueden encontrar compuestos férricos (hematites, limonita) que comunican al terreno una coloración rojizo-amarillenta característica; los compuestos ferrosos, dan una coloración grisáceo-azulada. La reducción del Fe^{+++} a Fe^{++} se produce en presencia de sustancias carbonosas. Cuando esto sucede se forman compuestos solubles y el hierro es eliminado del suelo.

EFFECTOS DE LA METEORIZACIÓN QUÍMICA

La estabilidad de los minerales no es la misma frente a los distintos tipos de meteorización, ya que las diversas reacciones químicas actuarán con mayor o menor intensidad según el clima y la composición de la roca. También la meteorización mecánica puede actuar conjuntamente con la química.

Por lo tanto, toda roca es susceptible de dar sedimentos por alteración de sus minerales. Pero los minerales de las distintas clases de rocas se comportan frente a la meteorización de un modo selectivo en función de su red cristalina y de la intensidad del proceso de ataque.

a) Efectos de la meteorización sobre las rocas ígneas.

Los principales minerales de estas rocas son el cuarzo, los feldespatos, las micas, los anfíboles, piroxenos y olivinos. De todos estos el más resistente es el cuarzo y mediante los procesos de meteorización, puede ser separado de la roca, erosionarse o disolverse ligeramente y volverse a depositar para originar otro tipo de roca sedimentaria, la cual, con posterioridad, puede ser meteorizada de nuevo.

Los feldespatos son menos resistentes a la meteorización y se destruyen totalmente por disolución, dejando en libertad K, Na y Ca y dando, por otro lado, disoluciones coloidales con Si, Al y OH⁻, originándose minerales arcillosos del grupo de los filosilicatos.

Los minerales menos resistentes a la meteorización son los silicatos ferromagnesianos. En general los minerales melanocratos o ferromagnesianos y, por tanto, las rocas básicas que los contienen (peridotitas, gabros, basaltos), son fácilmente alterables. La mica negra o Biotita se altera por hidratación y el Fe⁺⁺ es liberado dando un ión complejo Fe(H₂O)⁺⁺, el cual sufre una oxidación por pérdida de un electrón y pasa a Fe⁺⁺⁺, que se une al oxígeno para dar Oligisto (Fe₂O₃), o bien a los grupos OH⁻ para dar Fe(OH)₃ y, finalmente limonita.

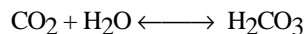
Como norma general se puede decir que los silicatos que tienen mayor proporción de óxidos metálicos respecto a la sílice, son más inestables frente a los procesos de meteorización que aquellos cuya proporción es más baja. En la misma línea cabe afirmar que, los minerales formados a altas temperaturas en el proceso de consolidación magmática (ver series de Bowen en el tema 4), son los más inestables frente a la meteorización química, y los que cristalizan a más baja temperatura, son los más resistentes. Este hecho permitió a **Goldich** en 1938 ordenar los minerales petrográficos en series de estabilidad creciente a la meteorización. Los minerales formados a altas presiones y temperaturas se alteran antes que los enfriados a temperaturas superficiales.

Olivino --- Piroxenos --- Anfíboles --- Biotita --- Ortosa --- Moscovita --- Cuarzo

Plagioclasas cálcicas (Anortita) --- Plag.sódicas (Albita) --- Ortosa --- Moscovita ---Cuarzo.

- b) Efectos de la meteorización sobre las rocas metamórficas. Por lo general, los minerales constituyentes de estas rocas son más estables que los de las rocas ígneas. Ej. el granate es más estable que el cuarzo.
- c) **Efectos sobre las rocas sedimentarias.** Al estar constituidas por minerales que se hallan en equilibrio con el medio, son muy estables, y por tanto, la meteorización química no es activa frente a ellas. Los minerales más frecuentes que forman este tipo de rocas, son el cuarzo, las arcillas y los óxidos de hierro.

Una mención aparte merece la meteorización de las **rocas calizas**. La acción de agua de lluvia cargada de CO₂, ocasiona la formación de H₂CO₃. Si la tª o la presión disminuyen, la reacción tiende a invertirse, liberándose CO₂:



La acción H₂CO₃ disuelve las calizas originando un relieve característico (relieve kárstico). Este proceso se ve favorecido al poder penetrar el agua cargada de CO₂ por la fracturas existentes en las calizas.

Son tres los factores condicionantes de la meteorización. La composición de la roca madre, el clima y la topografía.

Las heladas, las precipitaciones y las tª elevadas, determinan una mayor o menor intensidad de los procesos, así: en un **clima tropical**, actuará fundamentalmente la meteorización química, en un **clima desértico**, será la meteorización mecánica debida a los cambios de tª; mientras que en un **clima templado** se

producirán ambas. De donde se puede deducir que en la meteorización cabe establecer una distribución zonal.

La meteorización química es la más extendida y la más intensa. Tiene una característica importante: que es aproximadamente isovolumétrica, es decir, que no altera las formas y los volúmenes de las rocas a las que afecta. Por ello no cambia por sí misma el relieve.

La importancia de la meteorización es muy grande, porque produce ablandamiento de las rocas. Las rocas duras y compactas al sufrir meteorización física y química se transforman en productos terrosos (salvo excepciones) que se deshacen con las manos. Los escaladores hablan de rocas podridas, poco seguras para aguantar las clavijas de la escalada, y se refieren a las rocas meteorizadas. La meteorización produce un **manto de alteración**. Sinónimos de él son los términos: fase residual, horizonte C, etc.

Meteorización → Manto de alteración + Disoluciones que escapan
(fase residual) (fase migrante)

Como resumen, la meteorización produce una fase residual, arcillosa o laterítica, según el clima, y una fase migrante, que escapa en disolución.

15.2.2. Acción del agua

Como las precipitaciones son escasas, y se pierden por infiltración y evaporación, no pueden formarse cursos de agua continuos. La localización e intensidad de las lluvias es causa de que los esporádicos cursos de agua no ocupen a la vez toda la longitud de sus cauces, que son cortos e intermitentes; es decir, estos cauces funcionan torrencialmente, pero aparecen secos la mayor parte del tiempo (uadis).

A pesar de esto, la **acción de las aguas corrientes** es muy importante en los desiertos ya que la mayor parte de las formas topográficas que aparecen son debidas a las corrientes de agua. Esto se debe a la escasa vegetación que protege al suelo y a la intensidad de las precipitaciones, que hace que el agua caída arrastre pendiente abajo gran cantidad de derrubios, formados por meteorización. Así se originan numerosos barrancos, uadis, etc.

Procesos de arroyada difusa.

El agua de arroyada circula aguas abajo por las vertientes desde su cima hasta los cauces fluviales en forma de mantos o películas. Puede provenir del agua de lluvia o de la fusión de nieve. La erosión que produce depende de:

- **la litología.** Cuanto más blando sea el sustrato y menos consolidado, más fácilmente erosionable será.
- **la vegetación.** A mayor vegetación, menor erosión. Las laderas sin vegetación sufren gran erosión y producen mayor cantidad de sedimentos.
- **la pendiente.** En laderas o vertientes escarpadas la capacidad de erosión y transporte de las aguas es mucho mayor que en laderas suaves. Tanto la intensidad de las aguas de lluvia como la velocidad de deshielo de la nieve son otros dos factores que influyen en la fuerza de arrastre que el manto de agua ejerce sobre la superficie del terreno. El material erosionado y transportado se acumula al pie de la ladera, formando un tipo de depósito llamado **coluvión**.

La erosión en las vertientes depende de la erosividad de las gotas de lluvia y la escorrentía y de la erosionabilidad del suelo.

En las vertientes formadas por materiales blandos y poco consolidados la erosión de las aguas de arroyada y el impacto de las gotas de lluvia pueden ser responsables de la mayor parte de la erosión de los materiales de menor granulometría en los suelos desprovistos de vegetación.

Cuando el agua se concentra en líneas de flujo se forman “regueros”. Primero son paralelos en donde los canales más profundos capturan a los más superficiales.

Los canales esporádicos de más de 0'5 m de profundidad que están conectados a canales fluviales reciben el nombre de “gullies”. Su extensión lleva al desarrollo de cárcavas. Cuando los interfluvios de las cárcavas se erosionan de tal forma que el resultado es una torre cónica con un bloque en su parte superior reciben el nombre de “chimeneas de hadas”.

En las regiones semiáridas e incluso mediterráneas, la acción de las aguas de arroyada forma cárcavas y barrancos, al no estar el suelo suficientemente protegido por la vegetación; el abarrancamiento

es más pronunciado en rocas poco coherentes como margas y arcillas, originando un paisaje denominada "tierras malas" (bad lands).

15.2.3. Sistema de vertientes

Un **interfluvio** es una superficie situada entre dos canales. La divisoria de aguas divide al interfluvio según circule el agua superficial, como consecuencia de la pendiente, hacia uno u otro canal. Esas dos partes del interfluvio se llaman **vertientes**.

En el modelado de las vertientes intervienen dos procesos diferentes: procesos gravitacionales (desplazamiento de materiales en las vertientes desplazadas por su propio peso) y procesos de arroyada difusa (estacionales producidos por la acción de las aguas de escorrentía sobre las vertientes).

Procesos gravitacionales.

Son los regulados por la gravedad, aunque estén implicadas otras fuerzas, demás del peso, como la fuerza de rozamiento y la fuerza de cohesión del material. Los principales factores que desencadenan estos procesos son: variaciones morfológicas de la pendiente, modificación del volumen del material (tanto por aumento como por descenso), sacudidas sísmicas, vibraciones antrópicas, cambios climáticos (hielo-deshielo, períodos secos y húmedos), acción mecánica de las plantas y meteorización.

Los principales tipos de procesos gravitacionales son:

- a) **Caída.** Son movimientos de materiales en los que parte de su trayectoria se realiza por el aire. Se consideran diversos tipos: desprendimientos (rotura de bloques en un acantilado descalzados por la erosión diferencial), desplomes (derrumbes de rocas sin necesidad de erosión), desplomes con vuelco, vuelco y desplomes en cuña.
En las caídas no existe deformación del material desplazado, únicamente la posible fractura que se puede producir en el choque final. El volumen movilizado es pequeño y el resultado final es un nuevo eskarpe y una acumulación caótica de bloques y cantos al pie de éste.
- b) **Deslizamiento.** Son movimientos de roca individualizada en bloques sobre superficies planas o curvas. El material mantiene sus constantes geométricas, es decir, la velocidad de todas las partículas en movimiento es la misma. Puede ser un movimiento lento o rápido dependiendo de las condiciones litológicas, estructurales, climáticas, etc. El volumen movilizado es grande y, al igual que en las caídas, no hay deformación en el propio movimiento y la morfología resultante es una cicatriz en escalones y una acumulación caótica de bloques.
- c) **Flujo.** Las características son: litología arcillosa o arenoarcillosa poco consolidada, planos de despegue y alto contenido en humedad. La disminución de cohesión, por aumento de la presión de agua en los poros, es la causa principal del inicio del movimiento. El volumen de material que se moviliza es grande, las constantes geométricas varían con el movimiento; por lo tanto, la deformación es grande y morfológicamente el resultado es una cicatriz y una lengua bien definida con lóbulos de deformación.
- d) **Reptación.** Desplazamientos de suelos a favor de niveles inferiores arcillosos. Se suelen producir en suelos de ladera cuando hay cambios de volumen debido a las variaciones seco-húmedo (grietas de desecación y lluvias posteriores) y hielo-deshielo. En este tipo de movimiento existe deformación del material movilizado, el volumen de éste es muy grande, y como resultado del movimiento aparecen lóbulos de deformación que no son perceptibles en todas las ocasiones.

En ocasiones, diferenciar los tipos de procesos gravitacionales no es fácil, debido a que existen movimientos determinados mixtos que presentan características comunes. Por ejemplo, el caso de las avalanchas es uno de ellos; por un lado, cumple las características de un deslizamiento (movimientos individualizados respecto a otras masas rocosas), pero, por otro, cumple con el requisito de los flujos de no mantener sus constantes geométricas. En las avalanchas el volumen del material desplazado es grande, la deformación depende de la morfología del sustrato y del tipo de material; como forma resultante se produce una cicatriz y como depósito una lengua de material.

15.3. Sistema de erosión subárido

Comprende los países templados de clima mediterráneo y las regiones esteparias subtropicales. En ellos la vegetación es escasa formada por un matorral de poca densidad y, en las áreas mediterráneas, algunos bosques de árboles pequeños y arbustos de hoja seca, dura y perenne (encina, coscoja, sabina, enebro, pino carrasco), frecuentemente muy degradados por talas e incendios y reducidos a su estrato arbustivo (monte bajo), lo que los sitúa en la fase de rexistasia.

15.3.1. Formas de erosión.

Los sistemas de erosión subáridos presentan escasas precipitaciones y en forma de lluvias que sólo muy raramente tienen lugar en la estación estival. La escasez de agua limita la acción de la meteorización a procesos de tipo mecánico. No obstante el agua de lluvia es la protagonista de la erosión. Las precipitaciones, aunque esporádicas son torrenciales, lo que se traduce en un intenso poder erosivo tanto de los cauces, como de los interfluvios. En estas circunstancias el poder erosivo de las aguas salvajes sobre las deforestadas laderas es considerable.

En los interfluvios (superficies de terreno comprendidas entre dos cauces), la erosión es de tipo areolar (por áreas), dada la ausencia de vegetación y, se forman **cárcavas** y **chimeneas de tierra** por la acción de las aguas de arroyada en las rocas sedimentarias de origen detrítico o poco resistentes (arcillas, margas, yesos, etc.). En los interfluvios actúan los agentes geológicos y biológicos, desencadenando procesos de meteorización que dan como resultado complejos susceptibles de ser movilizados por la acción de la gravedad con la ayuda de las aguas de lluvia y del viento. Estos desplazamientos por las vertientes reciben el nombre de **fenómenos de ladera** y presentan distintas modalidades.

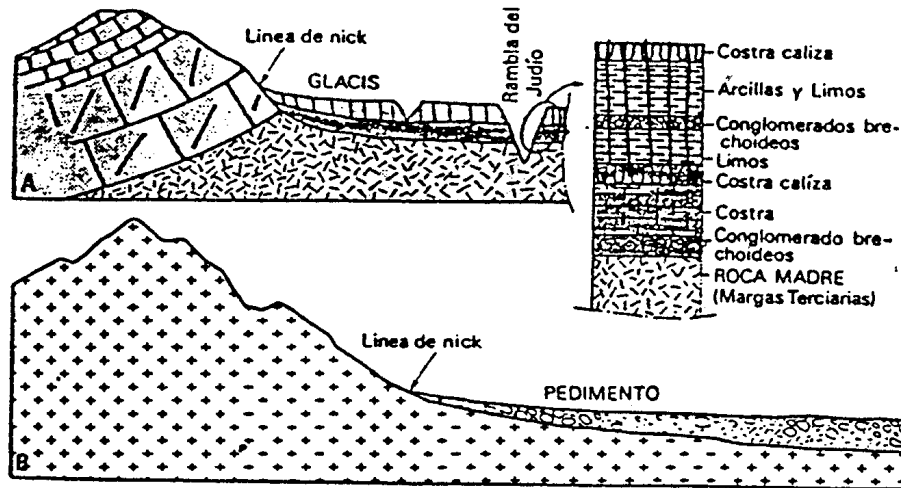
Buena parte de los suelos es arrastrado por la arroyada, y se pueden producir deslizamientos por **solifluxión**. Con ello las laderas retroceden y los relieves se van arrasando hasta convertirse en **penillanuras**, de las que pueden sobresalir los restos del relieve que han resistido a la erosión, en forma de **montes-isla**.

Dada la escasez de precipitaciones la red fluvial está poco configurada y es escasamente funcional. Existen grandes cauces habitualmente secos, pero que durante las tormentas pueden pasar en muy poco tiempo a evacuar enormes avenidas, que dejan el fondo plano cubierto de aluviones. Los cauces reciben distintos nombres: **ramblas** en el SE peninsular, **uadis** en Marruecos, **rieras** en Cataluña y **barrancos** en Canarias. Los materiales sueltos que se encuentran en las vertientes y en el propio lecho del cauce son removidos y transportados por la enorme cantidad de agua caída durante la precipitación.

15.3.2. Formas de depósito.

Los materiales deslizados o arrastrados de las laderas son distribuidos por la arroyada en extensos mantos de pendientes moderadas (8-1 %) situado al pie de las zonas montañosas, que reciben el nombre de **glacis** o, en ocasiones (si proceden de rocas cristalinas), **pedimentos**. Como se depositan al pie de las vertientes montañosas, habiendo un cambio brusco de pendiente entre la zona montañosa y el pedimento o glacis llamado **nick** que marca el límite entre las vertientes y la llanura. A diferencia de las terrazas fluviales en las que el flujo de sedimentos en los valles es longitudinal (paralelo al río), en los glacis el flujo es transversal a los valles; sus materiales proceden de laderas que limitan la cuenca, no de su cabecera. Además del ejemplo de la figura, se dan glacis bien desarrollados en las cordilleras Béticas, Pirineos, Meseta Castellana, cordillera Ibérica, etc. En los Andes argentinos hay glacis de hasta 20 Km., en España además del canal de Berdún (Aragón) de 5 Km. tenemos el descrito en la figura.

Al pie de los torrentes, en las zonas montañosas, se acumulan sus sedimentos en forma de **cono de deyección**. Cuando estas acumulaciones se sitúan ya sobre la llanura o sus glacis, transportadas por ramblas, constituyen los **abanicos fluviales**.



Modelado de las vertientes en las zonas áridas y subáridas. A) Glacis de 10 Km. de extensión desarrollado al pie de la sierra del Picacho (Cieza, Murcia). Se trata de dos niveles de glacis superpuestos, atravesados por la Rambla del Judío, donde se pueden estudiar los niveles con detalle. B) pedimento desarrollado sobre rocas cristalinas.

La sierra del Picacho está situada junto a la carretera nacional hacia Madrid, en el cruce con la de Jumilla y Cancarix.

15.4. Sistema de erosión árido

Afecta a las regiones tropicales secas. Su expresión más externa son los desiertos, carentes de vegetación, pero también comprende zonas peridesérticas con una flora xerofítica (adaptada a ambientes secos), mayoritariamente herbácea con arbustos espinosos, cactus y algunos árboles dispersos en la **sabana**. Las altas t° se alcanzan en el centro del día y los fuertes descensos nocturnos (más de 40°C en los desiertos) provocan la fragmentación mecánica de las rocas, que acaban por disgregarse al estado de arena. Las lluvias torrenciales, que originan escorrentías sin encauzar, y el viento son los responsables de la erosión en estas regiones, que es de tipo areolar.

15.4.1. Modelado eólico. Acción geológica del viento:

El modelado aerolar por acción de viento es muy notorio, es sus dos aspectos sedimentario y erosivo. En cualquier zona de la tierra donde existan materiales que hayan sido meteorizados y, posteriormente, no se hayan consolidado, dichos materiales son susceptibles de ser transportados por el viento y volver a sedimentarse en otras zonas, cuando la efectividad disminuya. Por esta razón, el papel del viento no queda restringido a las regiones desérticas, sino que es efectivo en todas aquellas zonas en donde existan sedimentos sin consolidar (playas, valles fluviales desecados, zonas periglaciares, etc.). Su acción erosiva viene condicionada por la existencia de vientos permanentes, por importantes variaciones entre las t° diurnas y nocturnas, y por la existencia de escasas y torrenciales precipitaciones.

La acción del viento se lleva a cabo mediante la **deflacción**, o transporte selectivo, que arrastra los materiales más finos (arenas y limos) y deja en la superficie los trozos más gruesos. Los factores fundamentales para que se pueda producir **Transporte** son: el tamaño del grano y la velocidad del viento. El transporte será más efectivo en zonas con vientos dominantes, como son los desiertos localizados en zonas tropicales (vientos alisios), en zonas de playa (brisas marinas). Las zonas áridas mantienen sobre ellas frecuentemente un anticiclón que hace que el viento siempre soplen en la misma dirección, desde el interior (zona de alta presión) hacia la periferia (zona de baja presión), arrastrando y seleccionando los materiales erosionados y fragmentados. El viento, al levantar las partículas que transporta, rebaja la superficie del terreno, formando depresiones que pueden alcanzar entre 5 y 20 m. de profundidad y de hasta varios km. de diámetro. El límite de excavación de estas depresiones lo pone el nivel de las aguas subterráneas, ya que los materiales húmedos no son levantados por el viento; algunos oasis se han formado así.

Relación entre tamaño y transporte. La velocidad media del viento se puede cifrar en unos 18 Km./h., pudiendo ser transportados fácilmente granos cuyo \varnothing oscile alrededor de los 0'2 mm. (arenas) y la altura a la que pueden ascender no supere los 2 ó 3 m. Los más finos, arcillas y limos, los vientos moderados los transportan en suspensión. Los granos de arena sólo se mueven si el viento es moderadamente fuerte y lo hacen desplazándose cerca del suelo por saltación y arrastre-rodadura.

La grava y los cantos suelen rodar si el viento es muy fuerte, aunque nunca grandes distancias. Se ha podido observar que vientos de 65 Km./h. mueven partículas de 2 mm. de \varnothing , pero su transporte ha sido a base de saltos (saltación) o arrastre (reptación), pero nunca en suspensión.

Las partículas de polvo ($<1/20$ mm); son elevadas y transportadas varios km, pudiendo quedar suspendidas en el aire durante mucho tiempo. Se ha estimado que en 1 Km³ de aire pueden viajar en suspensión 900 Tm de polvo.

El viento ejerce una eficaz selección de los materiales que transporta. Esta selección da lugar a diversas formas de acumulación: pavimento desérticos, dunas y loess.

Acción erosiva.

El viento lleva a cabo su acción erosiva mediante la abrasión eólica o corrosión, desgaste de las superficies rocosas producida por las partículas en suspensión lanzadas por el viento.

Las alturas que alcanzan las arenas raramente superan los 2 m., por lo que la corrosión queda limitada a formas de detalle y nunca llega a desempeñar un papel geológico importante. Las formas de hongo características de rocas desérticas y la erosión de monumentos (esfinges, pirámides, etc.) son debidas a la corrosión. Este golpeteo da lugar a fenómenos erosivos que consisten en la formación de estrías en las rocas (llamadas yardangs en el Turquestán), así como oquedades en forma de nido de abejas. Si las oquedades se producen sobre rocas graníticas reciben el nombre de **tafoni**.

Como formas erosivas también destacan los **montes-isla**, que o bien son relieves diferenciales originados por una roca más competente resaltando por encima de una superficie llamada glacis, producto de la erosión de rocas menos competentes, o bien son relieves estructurales originados en granitos sin apenas fracturar, rodeados por la misma roca mucho más diaclasada que forma superficies llamadas pedimentos.

Sedimentación.

Como hemos visto la acción del viento tiene lugar cuando no existe vegetación y sí materiales sueltos, aptos para ser arrancados y transportados. Por ello, esta acción es independiente del clima y deja sentir sus efectos en ambientes tan dispares como las costas arenosas de cualquier latitud (costas atlánticas españolas), los fríos desiertos circumpolares y los desiertos cálidos próximos a los trópicos.

Los elementos sueltos procedentes de la meteorización pueden ser transportados por el viento desde su lugar de formación hasta otros puntos donde son depositados. Este proceso de deflación es selectivo, llevándose las partículas más ligeras y dejando las más pesadas. Sólo permanecen "in situ" las que, por su mayor tamaño, no han podido ser transportadas, como resultado de este proceso tenemos en la actualidad auténticos **campos de piedra o regs** en el Sahara o **hamada** en Sudán.

Cuando las escasas lluvias torrenciales, las aguas de escorrentía y la deflación han actuado durante un largo período en la superficie de un cono aluvial desértico o de una terraza aluvial, los fragmentos de tamaño comprendidos entre guijarros y pequeños cantos rodados, se concentran en una capa (**pavimento desértico**). El viento y el agua arrastran las partículas finas, quedando los fragmentos restantes muy encajados.

Cuando disminuye la velocidad del viento, bien sea por la aparición de obstáculos o por una sobrecarga de materiales transportados (por ejemplo, por aumento de la humedad al pasar por zonas pantanosas o lacustres), se pueden producir tres tipos de depósitos: arena, loess (limos) y de polvo.

Las formas características de los depósitos de arena son las **rizaduras** producidas en ella (sand-ripples), debidas al ángulo de incidencia con que la arena transportada golpea el suelo. Se pueden producir diversos tipos de acumulación de depósitos de arena, condicionados por los vientos constantes y la profundidad de la capa freática y la presencia de algún obstáculo.

LAS DUNAS Y SUS CLASES

Los más característicos son los campos de dunas o ergs, que pueden presentar diversos aspectos, siendo el mejor conocido el de la adopción de forma de media luna (**barjanes**) a causa de los vientos periódicos. Los barjanes tienen una pendiente de 15° a barlovento por la que ascienden las partículas que se precipitan, por gravedad, a sotavento donde hay una pendiente mayor (45°). Este continuo proceso provoca el avance de la duna en la dirección del viento, dando lugar a esas prolongaciones laterales que la asemejan a una media luna. Los barjanes pueden alcanzar más de 400 m. de largo y alrededor de 30 m. de alto.

Debido a las intermitencias en la intensidad del viento y en la carga, pueden originarse superficies de desgaste sobre las que se depositarán nuevas capas de arena con distinta inclinación a la superficie sobre la cual se depositan, originando una estratificación cruzada. Si el viento que sopla en la misma dirección es muy intenso y no transporta arena, provocará un arrastre en la zona central de la duna, unos pasillos o corredores llamados gassi que son bastante estables, por lo que las caravanas los utilizan para sus desplazamientos.

Las **dunas longitudinales** (en forma de S) se deben a la interacción entre vientos dominantes con otros de distinta dirección y de, al menos, 40 Km./h. Otros cambios incessantes en la dirección del viento o la presencia de vegetación, provoca la diseminación de la arena y la formación de dunas de forma irregular. Hay ejemplos de dunas de yeso (Nuevo México), de pequeñas conchas y hasta de nieve (Groenlandia).

Las **dunas transversales**: se forman en los lugares en los que la arena cubre por completo el suelo (mar de arena); las crestas de las dunas se disponen perpendiculares a la dirección del viento y presentan también una pendiente suave (barlovento) y otra abrupta (sotavento), quedando separadas unas dunas de otras por hondonadas profundas.

Dunas piramidales o en estrella: son dunas con varias caras separadas por agudas crestas que convergen en un vértice elevado (puede alcanzar unos 150 m); pueden permanecer inmóviles durante siglos y se pueden localizar en el Sahara y Arabia.

Dunas parabólicas: se forman en llanuras semiáridas, al lado de sotavento de hondonadas poco profundas excavadas por deflación; presentan suaves pendientes, con crestas de hasta 3 m de altura cubiertas de hierbas o arbustos.

EL LOESS

El loess puede formar depósitos de más de 100 m. y ocupar vastas extensiones en algunas zonas de la Tierra (China). Están formados por partículas arcillosas del tamaño de los limos, compuestas de cuarzo, feldespato y calcita, a veces con restos orgánicos. La permanencia de los feldespato y de la calcita (fácilmente alterables por el agua) permiten deducir que han sido transportadas largas distancias por el viento. Además de haberse producido la sedimentación en un medio acuoso aparecería algún tipo de estratificación. Hay depósitos de loess de origen glacial (tillitas) en Alemania (zona del Rin donde se le dio nombre), en el norte de U.S.A.; el de China procede del desierto de Gobi.

Pueden producirse depósitos de polvo a grandes distancias. Hasta las costas europeas pueden llegar polvo procedente de tormentas de arena del Sahara. Este polvo contenido en la atmósfera puede producir efectos ópticos, ocasionando refracciones que enrarecen la luz que nos llega de los astros (ejemplo el tono rojizo que toma la luz de la luna en los días secos de verano).

15.4.2. Depósitos no eólicos.

También en el interior de los desiertos se suelen formar **lagunas endorreicas**, que son zonas llanas, suavemente deprimidas y sin drenaje o salida hacia el mar. Los pedimentos o glaciares convergen hacia la depresión central, rellenándola. La escorrentía de las aguas salvajes y esporádicas hace que se forme un lago en la depresión (playa o sebja), en el que se forman depósitos de sales por evaporación a lo largo de del mucho tiempo que suele transcurrir entre dos períodos de lluvia.

15.4.3. El ciclo de denudación en un clima árido

En resumen, podemos suponer que, el ciclo comienza cuando una región continental presenta montañas y depresiones, formadas por fracturación o plegamiento, sin tener desagüe al mar. El relieve, como hemos visto, pasa por las siguientes etapas:

- ❑ **1ª Etapa (juventud):** las aguas corrientes excavan barrancos y uadis en las zonas montañosas y forman llanuras aluviales; conos aluviales y pedimentos quedan en el borde de los macizos montañosos.
- ❑ **2ª Etapa (madurez):** los frentes montañosos retroceden por la acción erosiva de las aguas salvajes, a medida que son abarrancados; las depresiones se llenan de aluviones y las llanuras aluviales se extienden a costa del retroceso de los frentes de montaña; separados de éstos quedan cerros testigos, torres, pináculos, que se elevan sobre los pedimento. El viento actúa por deflación sobre las llanuras aluviales, dejando pavimentos desérticos o depresiones y formando dunas móviles.
- ❑ **3ª Etapa (senectud):** Las zonas montañosas van siendo rebajadas y su extensión se reduce, a medida que las llanuras aluviales se extienden; aparecen extensos pedimentos, sobre los cuales destacan los montes isla, depósitos de playa quedan en las depresiones, y el viento prosigue su labor de deflación, corrosión y formación de dunas móviles. La acción de la deflación del viento tiende a rebajar la superficie, sin más límite que el nivel hidrostático.

15.5. El problema de la desertización.

Los factores geoclimáticos que se pueden individualizar como causantes de la aridez son:

- La presencia de células de **alta presión o anticiclones**. El desierto sahara-arábico constituye el principal ejemplo, así como las zonas mediterráneas situadas entre los 30°-40° de latitud norte y los 30° - 35° de latitud sur que, en verano, están bajo la acción de los anticiclones subtropicales.
- **La continentalidad**, ya que en los países templados las borrascas van agotando sus posibilidades de producir precipitaciones conforme se adentran en el continente. La elevada t° de los veranos produce una fuerte evaporación.
- **Barreras montañosas**, debido al efecto Foëhn (caatingas de Brasil, oeste americana, semidesierto de la Patagonia, desierto de Atacama, etc).
- Las **corrientes marinas frías**, al calentarse y expandirse el aire fresco marino en el continente, desiertos de Chile y Perú.
- La **influencia monzónica**. Grandes mesetas continentales de Asia que sufren un gran recalentamiento en verano, Meseta de Etiopía y zonas áridas de Kenia, Tanzania y Somalia.
- La **altitud**. Por encima del nivel de las nubes se pueden dar situaciones áridas, asociada normalmente a situaciones de temperaturas bajas.
- El **viento constante**, que ejerce una fuerte acción desecante aumentando la evaporación. Patagonia, y los sistemas de **vientos locales**.

Todos estos factores pueden agruparse en dos: erosividad y erosionabilidad. Su estudio es de gran importancia para la realización de mapas de riesgo de erosión, con la finalidad de demarcar las zonas susceptibles y establecer las medidas pertinentes

❑ **Erosividad**

Expresa la capacidad erosiva del agente geológico predominante (lluvia, viento, agua) que depende del clima. Es un factor de gran importancia para la elaboración de mapas de erosividad. Se puede evaluar de varias maneras:

- **El índice de aridez (I).** Se calcula mediante la fórmula $I = 100t/P$ (Datin-Revenga, 1940) a partir de los datos obtenidos de los climogramas ($t = t^a$ media anual, $P =$ cantidad total de agua caída en litros. Según el valor tenemos la siguiente clasificación: entre 0-2 Zona húmeda, entre 2-3 Semiárida, entre 3-6 árida y > 6 Subdesértica.
- **El índice de agresividad climática (Ia).** Elaborado por Fournier (1960), se expresa por la fórmula $I_a = p^2/P$ (siendo $p =$ precipitación del mes más lluvioso y $P =$ precipitación total anual en litros). Con este parámetro se observa el reparto de lluvias durante todo el año, demostrando que el riesgo de erosión no depende de la cantidad de agua caída, sino de la distribución temporal, resultando más dañina cuanto más esporádica pero torrencial sea. Si $I_a = P$, la agresividad climática será máxima (100 %).
- **Índice de erosión pluvial.** Se define como el índice medio anual de erosividad de la lluvia (o índice $EL/100$): $R = E \cdot I_{30}/100$ (julios $\cdot m^2 \cdot cm/h$). ($E =$ Energía cinética del aguacero, $I_{30} =$ Intensidad máxima, en mm^3 o l, por m^2 caídos durante 30 minutos). La energía cinética ($m \cdot v^2/2$) liberada por una gota al chocar con el suelo sólo depende de su masa, pues su velocidad es invariable, ya que a partir de cierta altura todas las gotas caen igual, debido al efecto de frenado originado por su rozamiento con el aire. En la práctica, el factor R , se calcula a partir de I_{30} (datos que suministran las estaciones meteorológicas).

□ Erosionabilidad

Expresa la suceptibilidad del sustrato para ser movilizado. Este factor depende del tipo de suelo (de su estructura) y la cantidad de materia orgánica que posea, ya que la presencia de agregados impide la erosión), de la pendiente y de la cobertura vegetal, y resulta útil para elaborar mapas de erosionabilidad a escala local. Los valores más utilizados para medirlos son:

- **La Inclinación de las pendientes (S).** Toda pendiente superior al 15 % conlleva riesgo de erosión. Para calcularla se hace la relación, en %, de la diferencia de altura (A) existente entre las curvas de nivel y la distancia en metros tomada en el mapa topográfico (D); $S = A \cdot 100/D$
- **El estudio de la cubierta vegetal.** A partir de él se calcula el índice de protección vegetal (I_p), cuyo valor es frecuente verlo asociado con el de la pendiente, siendo 1 el factor de protección máximo. Según esto, también podremos calcular el grado de erosionabilidad a partir de la fórmula $Gr = 1 - I_p$.
- **Suceptibilidad del terreno.** Aunque esta medida depende también de la pendiente, se suele valorar en función de la textura, de la estructura y del contenido en materia orgánica. Las arcillas, margas y sedimentos recientes tienen un $I_r = 0,2$; las rocas duras ácidas o básicas $I_r > 0,7$. Para cálculos aproximados puede valer el Índice de resistencia litológica (I_r)¹. $Gr = 1 - I_r$

15.5.1. Métodos de evaluación de la erosión

Para predecir y prevenir la erosión se hace necesario la elaboración de mapas de riesgo, a partir de los factores expuestos anteriormente o de complicados cálculos como la ecuación universal de la pérdida de suelo, pero en las ocasiones en las que no se precisen datos cuantitativos se puede detectar directamente mediante la observación de indicadores físicos y biológicos.

➤ MÉTODOS DIRECTOS

Éstos son aplicables en zonas concretas y permiten conocer con bastante exactitud la velocidad y magnitud de la erosión. Se pueden llevar a cabo mediante clavos o varillas colocadas verticalmente, mediante comparación de perfiles topográficos en intervalos de tiempo o evaluando las marcas e incisiones en el terreno. Existen indicadores físicos y biológicos.

- **Indicadores físicos.** Evalúan el grado de erosión en función de marcas o incisiones y manchas observables en el terreno. Existen tres grados de erosión:

¹ Los valores de I_r oscilan entre 0,9 ó 0,8 para rocas duras básicas y $< 0,1$ para yesos.

- **Grado 1: erosión laminar.** Se produce una remoción más o menos uniforme del horizonte superficial del suelo. No resulta fácil su detección, aunque se observa en zonas sin vegetación, suelos con poca cohesión y escasa materia orgánica.
- **Grado 2: erosión en surcos.** El agua de escorrentía se concentra y se abren incisiones centimétricas o decimétricas que pueden sobrepasar en profundidad la capa arable en el caso de terrenos cultivables. Se observa en taludes de carretera en forma de regueros.
- **Grado 3: erosión en cárcavas.** Se abren incisiones métricas o decamétricas que progresan en profundidad y anchura (bad-lands). La erosión de cárcavas es característica de las tierras desérticas semiáridas y de los bordes subhúmedos, y suele ir asociada con la extensión de los cultivos en pendientes: la tala de arbolado y matorral en la parte alta de las cuencas hidrográficas, con el consiguiente aumento de la escorrentía; la pérdida de suelo a causa del arado y la creación de superficies vulnerables al dejar la tierra en barbecho. Esta forma de degradación es muy frecuente en las tierras altas semiáridas de la franja mediterránea del Sahara. La sedentarización de los nómadas y el aumento de población ha intensificado el problema.

Además de las incisiones, hay otros indicadores físicos, como los fenómenos de reptación, la solifluxión, (ya vistos), la formación de conductos o túneles en el terreno (piping), que preceden a la formación de cárcavas, la presencia de costras superficiales por deterioro de materia orgánica y manchas claras por acúmulo de sales afloradas por capilaridad o por desgaste de los horizontes superiores.

- **Indicadores biológicos.** La vegetación puede, a su vez, servir de bioindicador del estado del suelo, estableciéndose diversos grados:
 - Nulo: vegetación densa y sin raíces descubiertas.
 - Bajo: vegetación aclarada, ligera exposición de las raíces y pedestales de erosión (acúmulos de suelo y piedra) junto a ellas de altura inferior a 1 cm.
 - Medio: vegetación aclarada, exposición de las raíces y pedestales de 1 a 5 cm,
 - Alto: raíces muy expuestas, grandes pedestales de erosión de 5 a 10 cm y presencia de regueros.
 - Muy Alto: Barrancos y cárcavas.

➤ **MÉTODOS INDIRECTOS**

El más usado es la **ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE)**, $A = R.K.L.S.C.P$.

A = pérdida anual de suelo en t/ha/año. Hay cuatro grados: Muy baja, Baja, moderada y Alta:

R: Índice I_{30} ; K: factor de erosionabilidad ya estudiado; L: Distancia en metros desde la zona donde se inicia la escorrentía hasta donde aparecen los depósitos sedimentarios; S: Pendiente en %;

C: Factor de ordenación del cultivo elaborado como cociente entre las pérdidas de suelo de un cultivo determinado respecto a las que se originarían en ese terreno en barbecho. Este factor expresa la influencia del cultivo en la erosión.

P: Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo, es decir, la existencia o no de medidas preventivas, como vegetación, abancalamiento, arado siguiendo las curvas de nivel, etc.

Todos estos cálculos son empíricos y concretos para cada zona. Los inconvenientes de este método que sólo predice la erosión laminar o en surcos para un determinado aguacero, no a lo largo del año, y que sólo vale para terrenos pequeños.

15.5.2. Medidas de prevención y corrección

De 1951 a 1962, la UNESCO llevó a cabo un programa mundial de estudios sobre las zonas áridas, con vistas a promover y desarrollar las investigaciones en diversas disciplinas relativas a los problemas de estas regiones. Estos estudios han continuado con el programa el Hombre y la Biosfera (MAB) y el programa Hidrológico Internacional (PHI). El proyecto 3 del MAB concierne al impacto de las actividades humanas y de los métodos de utilización del pastoreo, el 4 trata sobre los impactos del riego. En 1977, tras la grave sequía sufrida por el Sahel, tuvo lugar en Nairobi la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la desertización.

➤ **Control de la erosión en tierras cultivadas**

El mejor medio de controlar la erosión de las tierras cultivadas es dar a cada una de ellas un uso compatible con sus características (ordenación del territorio), plantando las especies vegetales de mayor cobertura en cada caso y fomentando una rotación de cultivos para poder lograr una alta y sostenible producción.

Para recuperar zonas erosionadas se trata de frenar o detener los procesos erosivos mediante planes de recuperación, entre los que destacan:

- Aumentar la infiltración y evitar la escorrentía mediante cultivos adecuados y aplicando técnicas de arado que sigan las curvas de nivel. O aterrazando con muros que impidan la erosión
- Evitar el retroceso de los barrancos mediante la construcción de diques en las cárcavas o repoblaciones forestales.
- Abandono de cultivos en zonas marginales con excesiva pendiente, transformación de los mismos en pastizales estables con una cantidad de ganado adecuado a su capacidad de producción de hierba, reforestación e instalación de cortafuegos.
- Aplicación de medidas contra la erosión eólica, reduciendo la erosividad del viento mediante acciones que modifiquen su velocidad y turbulencia, como la instalación de barreras cortavientos de tipo vegetal o artificiales, y mediante el aumento del recubrimiento del suelo.

La **invasión de dunas** se ajusta más de cerca al concepto popular de desertificación. La invasión de dunas constituye una amenaza para las vías de comunicación, los asentamientos humanos, agricultura, etc. La fijación de dunas sólo se realiza si se ponen en peligro asentamientos humanos, vías de comunicación o zonas de regadío; estos sistemas comprenden: algún sistema para detener la llegada de la arena como vallas o diques rompevientos, plantaciones en el borde de las dunas en dirección contra viento, estabilización de la superficie de las dunas mediante fijadores bituminosos o de otro tipo, plantación de vegetales, como las gramíneas costeras, que fijen la duna (sus necesidades nutritivas puede requerir el uso de fertilizantes y la plantación de leguminosas). En todos los programas de fijación de dunas se debe prever la protección de la zona contra el pastoreo y pisoteo del ganado.

➤ **Control de la erosión originada por obras.**

Las construcciones lineales producen cortes en las laderas, dan lugar a la formación de regueros, cárcavas y deslizamientos que llevan a una intensa y progresiva erosión. Para minimizar estos efectos o evitarlos se pueden tomar medidas, como la construcción adaptada a la geomorfología, la realización de cunetas, aliviaderos o drenajes adecuados, la repoblación de taludes y muros de contención en lugares con peligro de deslizamiento.

➤ **Control de la erosión por el pastoreo**

La introducción del pastoreo, sobre todo si es selectivo, puede ocasionar los siguientes cambios: Cambios en la composición de la vegetación (desciende la variedad de perennes apetecibles para el ganado y aumentan las anuales a sus expensas); cambio en la estructura vegetal (descenso generalizado de la densidad de vegetación). Todo ello conlleva a una disminución de la productividad. El problema de reducir los rebaños o manadas al empezar las condiciones de sequía, tras unas buenas temporadas que hayan inducido a aumentar el número de cabezas, es común en la mayor parte de los sistemas desérticos de pastoreo. El ganado tiende a persistir abundante al comienzo de un período de sequía conjunción que resulta particularmente desastrosa para los pastos perennes. La presión del mercado no contribuye a paliar el problema.

Entre las medidas contra la erosión en las primeras etapas de degradación por pastoreo están: La determinación del nº de cabezas de ganado apropiado, estudio de la fenología de las asociaciones de los pastos desérticos (para asegurar períodos de reposo), determinación de los hábitos del ganado, determinación de reservas para casos de sequía. La mayoría de estas medidas son tanto o más necesarias si el sistema de pastoreo es abierto. Cuando los pastos se han degradado se imponen medidas correctoras: disminuir el número de cabezas de ganado y rotación de las tierras en peores condiciones. Sin embargo, la recuperación natural de las tierras desérticas puede ser muy lenta, y la regeneración de los pastos puede exigir medidas aumentar localmente la infiltración, el reaprovisionamiento de semillas y la adición de fertilizantes.

15.5.3. Desertización y desertificación

La diferencia entre estos dos términos estriba en que desertización se emplea para definir el proceso natural de formación del desierto, mientras que la desertificación se aplica a los procesos de degradación de suelos provocados directa o indirectamente por la acción humana.

La **desertización** o invasión del desierto es uno de los problemas principales de las zonas áridas y semiáridas, afecta a la novena parte de la superficie de la Tierra, en la que habitan unos 60 millones de personas. Se entiende por desertización la propagación de las condiciones desérticas más allá de los límites del desierto, o bien la intensificación de tales condiciones desérticas dentro de esos límites. La desertización se manifiesta como una tendencia a la pérdida de productividad.

La desaparición de antiguas civilizaciones en zonas áridas (valle del Éufrates), se ha aceptado en general como prueba de desertización.

Su **origen** radica en una reducción del recubrimiento de vegetación y de la disminución de ésta según las estaciones lo que conlleva, desde el punto de vista humano, a la reducción de pastos, baja en el rendimiento de los cultivos, y la consiguiente merma de la población, desde el punto de vista geológico un aumento acelerado de los procesos de erosión.

Durante los últimos 50 años se han perdido por desertización anualmente en el Sahel entre 50.000 y 70.000 Km² de tierras productivas. Si nos referimos a pérdidas potenciales y a los sufrimientos humanos, las tierras marginales semiáridas y subhúmedas, más productivas y más densamente pobladas, plantean mayores problemas que las interiores del desierto.

El **proceso de desertificación** fue definido en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertización de 1977 en Nairobi y organizada por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Un proceso de degradación ecológica por el cual la tierra productiva pierde parte o la totalidad de su potencial de producción.

Los procesos que pueden dar lugar a situaciones de tipo desértico son:

- **Degradación química.** Puede ser de tres tipos: pérdida de fertilidad por lavado de nutrientes o por acidificación, toxicidad o empobrecimiento del suelo debido a elementos contaminantes (lluvia ácida, metales pesados, aguas residuales, contaminación radiactiva, etc.), y por último, la salinización y alcalinización de suelos por acumulación de sales. Un caso especial es el anegamiento y salinización del suelo en las zonas de regadío, a causa de un avenamiento inadecuado. Los desiertos y sus zonas colindantes en particular se consideran hoy como regiones frágiles, que plantean problemas y que exigen una recuperación y una meticulosa ordenación.
- **Degradación física.** Se produce pérdida de estructura, como en el caso de compactación del suelo por empleo de maquinaria pesada o por el pisoteo.
- **Degradación biológica.** Tiene lugar por la desaparición de materia orgánica o por mineralización del humus que lleva a la pérdida de la estructura del suelo.
- **Erosión hídrica y eólica.** La primera es el proceso de erosión de mayor importancia en nuestro país, aunque la segunda no es desdeñable.

15.5.4. Erosión y desertificación en España

Según la clasificación de Nairobi, España es el único país europeo con alto riesgo de desertificación por erosión de suelos. Cada año se pierden en nuestro país más de 1.150 millones de toneladas de suelo fértil debido a la erosión y desertificación, como consecuencia de prácticas agrícolas y forestales inadecuadas, incendios forestales, obras públicas y actividades mineras, principalmente.

UN paisaje como el español, con fuertes pendientes y acusado relieve, con clima mediterráneo, abundancia de terrenos arcillosos ($I_r=0,2$) de difícil drenaje, degradados por una precaria gestión de los recursos hídricos y una inadecuada política forestal y agraria, ofrece el caldo de cultivo ideal para la acción devastadora de la erosión.

Según un informe del año 1992, el 26 % de la superficie del territorio español está afectada por fenómenos de erosión grave del suelo, con pérdidas superiores a 100 t/ha/año y presencia de cárcavas; el 28 % sufre una erosión de moderada a importante, con pérdidas de entre 50 y 100 t/ha/año, y un 11 % tienen una erosión baja con pérdidas inferiores a 50 t/ha/año. Sólo el 33 % de España presenta pérdidas inferiores a 12 t/ha/año.

EL ICONA y el CSIC iniciaron el proyecto LUCDEME (Lucha contra la desertificación en el Mediterráneo), que contempla la realización de estudios de ordenación del territorio en las cuencas de los ríos, la planificación ganadera en el sudeste peninsular y el cartografiado de terrenos marginales en Murcia y en el Pirineo oriental.

También España participa en el EUROSEM (Modelo europeo de erosión del suelo), programa financiado por la UE y cuyo objetivo es desarrollar un proyecto de predicción de las pérdidas de suelo por erosión de tipo hídrico para diseñar estrategias para su preservación.

www.eltemario.com