

3.- PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS Y SUS RIESGOS

3.1. Procesos geológicos externos. Meteorización y tipos. Erosión, transporte y sedimentación en la zona templada. Principales agentes.

Ciclo geológico externo.

El ciclo geológico externo es una parte del ciclo geológico que comprende todos los fenómenos debidos a procesos geológicos externos. Éstos, son los responsables de la destrucción y modificación del relieve terrestre, siendo la energía solar y la fuerza de la gravedad los motores que ponen en funcionamiento estos procesos. Comprenden el conjunto de fenómenos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación, a los que añadiremos el proceso de formación de rocas sedimentarias o diagénesis.

La meteorización y tipos.

La **meteorización** es el proceso de degradación o destrucción de las rocas por la acción de los componentes atmosféricos y de los cambios de temperatura que tienen lugar en el seno de la atmósfera.

La meteorización puede ser:

- a) Meteorización física o mecánica.
- b) Meteorización química.

a) Meteorización física o mecánica.

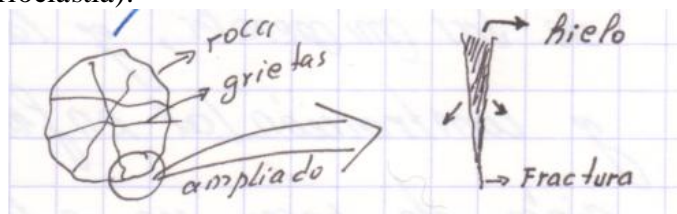
Es la disgregación de una roca por acción de agentes físicos o mecánicos. Supone la destrucción de la roca en trozos más pequeños, que tienen la misma composición que la roca primitiva.

Ejemplos:

- Acción de las heladas (gelivación o crioclastia)

En climas de latitudes medias y altas, y también en grandes alturas, la congelación y fusión alterna del agua (del día a la noche, o de la estación cálida a la estación fría) constituye un mecanismo potente de rotura de rocas.

El agua que ha penetrado por los planos de diaclasas, estratificación y otros huecos naturales de la roca se transforma en cristales de hielo al bajar la temperatura. Esto provoca un aumento de volumen del agua (al pasar de líquida a sólida) provocando la fractura de la misma o el levantamiento y separación forzada de los bloques que limitan el hueco (efecto “cuña de hielo” denominado gelivación o crioclastia).



Si este proceso es cíclico, las rocas se van rompiendo paulatinamente y el resultado es la formación al pie de los escarpes y laderas rocosas, de grandes

acumulaciones de piedras denominadas canchales o pedrizas, muy frecuentes en zonas montañosas.)



-Cambios de temperatura (termoclastia)

El calentamiento de una roca puede provocar la expansión de sus minerales, y los procesos reiterados de expansión (al calentarse) y contracción (al enfriarse) pueden facilitar la fragmentación de rocas ya afectadas por otros esfuerzos y por descomposición química. Si las rocas están formadas por diferentes minerales, al tener cada uno de ellos diferentes coeficientes de dilatación, se producen tensiones internas que rompen la roca.

-Acción de los seres vivos (bioclastia)

La bioclastia es la rotura de las rocas por la acción de los seres vivos. Por ejemplo las raíces de las plantas penetran por las fisuras de las rocas y ejercen al crecer presiones suficientemente grandes como para romperlas.

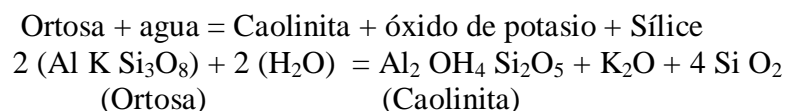
b) Meteorización química.

Es la alteración de las rocas debido a las reacciones químicas que se producen entre los componentes atmosféricos y los minerales que forman las rocas. La presencia de agua y el calor son los principales factores que facilitan la meteorización química.

El **agua** es el vehículo de la meteorización química, y gracias a ella se realizan diversas reacciones como son:

a) hidrólisis.

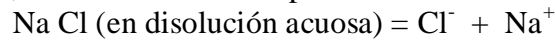
Los iones H^+ y OH^- son capaces de hidrolizar y destruir ciertas estructuras cristalinas. Ej., en el mineral ortosa (feldespato potásico):



En general, podemos decir que la hidrólisis de minerales como los feldespatos (caso de la ortosa) da lugar a la formación de los minerales arcillosos, como es el caso de la caolinita.

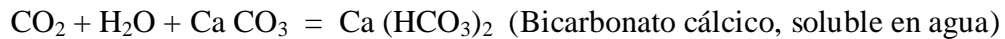
b) Disolución.

El agua es capaz de disolver las rocas evaporíticas (yeso, sal gema, etc.). En este caso todos los componentes emigran en disolución y la roca no deja ningún residuo, formándose en su superficie acanaladuras:



c) Carbonatación.

En la naturaleza, el agua jamás se presenta químicamente pura, y siempre posee cierto grado de acidez procedente de la disolución en la misma de CO_2 existente en la atmósfera: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{H}_2\text{CO}_3$ (ácido carbónico), de forma que el agua de lluvia al caer directamente sobre las rocas puede ya provocar reacciones de carbonatación.



d) Hidratación.

Es la absorción de H_2O por las redes cristalinas de determinados minerales, sin que exista una combinación o cambio de iones.

El agua es absorbida por las redes cristalinas, sobre todo en minerales arcillosos, fenómeno que provoca el aumento de volumen de los mismos. Ej., en el mineral de la arcilla llamado montmorillonita.

Otro ejemplo: CaSO_4 (anhidrita)... por hidratación = $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (yeso)

e) Oxidación.

El oxígeno atmosférico se disuelve en agua en proporciones variables, con lo cual los iones divalentes contenidos en los minerales y que se hallan en un estado reducido, pueden ser oxidados. Ej., el hierro, que es un elemento presente en una gran mayoría de las rocas, sufre preferentemente este proceso; una vez oxidado, y en estado trivalente, es insoluble y no puede ser transportado con el agua, quedando en los materiales resultantes de la meteorización y tiñéndolos de rojo.

Relaciones entre la meteorización y el clima.

Los factores climáticos, en particular la temperatura y la humedad, son fundamentales para la meteorización de la roca.

Un ejemplo importante de meteorización química es que la frecuencia de los ciclos de congelación- deshielo afecta en gran medida a la denominada cuña de hielo (crioclastia).

La temperatura y la humedad ejercen también una fuerte influencia sobre las velocidades de meteorización química y sobre la clase y cantidad de vegetación presente. Las regiones con vegetación abundante tienen en general un manto grueso de suelo rico en materia orgánica descompuesta de la cual se derivan fluidos químicamente activos, como el ácido carbónico o los ácidos húmicos.

El ambiente óptimo para una meteorización química es una combinación de temperatura y humedad abundante.

En las regiones polares, la meteorización química es ineficaz porque las bajas temperaturas mantienen la humedad disponible en forma de hielo, mientras que en las regiones áridas hay insuficiente humedad para favorecer una meteorización química rápida.

La actividad humana puede influir en la composición de la atmósfera, la cual, a su vez, puede afectar a la velocidad de la meteorización química. Ej., en el caso de la lluvia ácida.

Erosión, transporte y sedimentación en la zona templada

Erosión. Se llama erosión al proceso de desmantelamiento de las rocas (es decir, como un "desgaste" de las rocas) por la acción de los llamados agentes geológicos externos (agua, viento, hielo, seres vivos).

Las partículas que se obtienen de la destrucción de las rocas son diferentes según sea el proceso (viento, hielo, etc.), la intensidad del mismo y la naturaleza de la roca que se destruye).

Transporte. El principal agente de transporte es el agua. Los otros agentes de transporte son muy locales. Ej. el viento actúa solamente en las regiones donde son más frecuentes y con una cobertura vegetal mínima, como en los desiertos. El hielo, en los glaciares, actúa como agente de transporte muy local y arrastra partículas sólidas de tamaño diferente, dando lugar a las morrenas (depósitos glaciares).

En el agua, las partículas pueden viajar:

- a) Sólidas
- b) Disueltas

Sólidas: Su transporte puede ser:

- Por reptación: arrastrándose por el fondo. Las partículas mayores son "empujadas" por el agua y se mueven junto al suelo.
- Por rodadura: dando vueltas por el fondo empujadas por el agua (tamaños grandes y medianos, "cantos rodados").
- Por saltación: Partículas más pequeñas (arenas) que son levantadas por la fuerza del agua y vuelven a caer al fondo por su propio peso, repitiéndose el proceso sucesivamente.
- En suspensión: Viajan en el seno de la masa de agua suspendidas debido a su pequeño tamaño (arcillas) y no caen mientras el agua se encuentre en movimiento.

Disueltas: Son transportadas en estado iónico (sales y carbonatos principalmente).

En **tierras emergidas**, el agua de los ríos y arroyadas tienden a arrastrar las partículas que son producto de la meteorización y erosión.

En el mar los principales agentes de transporte son:

- a) Olas
- b) Mareas
- c) Corrientes

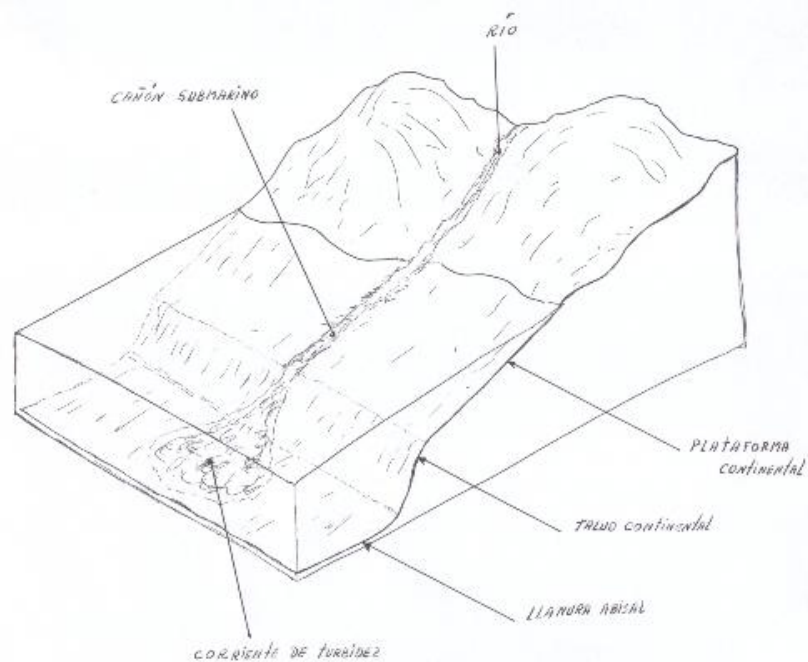
- a) Las olas actúan en las zonas más elevadas de agua, junto a la superficie, y contribuyen a mantener partículas en suspensión. En las partes más profundas, junto a las costas, las olas evitan que se depositen partículas finas. La acción del viento, junto con las olas, puede producir un transporte continuo paralelo a la línea de costas.
- b) Las mareas tienen un papel importante como medio de transporte en los sectores más próximos a la costa. En ellos, el agua, con movimiento continuo en sentido ascendente o descendente, produce un movimiento perpendicular a la costa, y transporta gran cantidad de partículas que son introducidas mar adentro.
- c) Las corrientes son las principales responsables de la distribución de las partículas a lo largo de todo el mar.

Hay varios tipos de corrientes:

Corrientes de deriva. Masas de agua que se desplazan junto a la superficie, movidas por el viento. Ej., corriente del Golfo de México etc.

Corrientes de densidad. Son especialmente movimientos de masas de agua en el fondo de los mares y océanos por reajuste del agua según la densidad, debido a diferencias de temperatura.

Corrientes de turbidez y desplomes submarinos. Son corrientes y movimientos muy localizados, que se originan por desprendimientos y puesta en suspensión de sedimentos, con lo cual aumenta considerablemente la densidad de la masa fluida y se desliza hacia regiones más profundas. Se inicia por ejemplo por la acción de un terremoto que rompe el equilibrio de materiales depositados en una pendiente, Igualmente se producen corrientes de este tipo en los cañones submarinos.



Sedimentación

Las partículas cuando dejan de ser transportadas, se depositan formando los sedimentos.

Las partículas que se depositan las agrupamos en dos tipos básicos:

- a).- partículas sólidas.
- b).- partículas disueltas.

De acuerdo con esto, tenemos dos grupos principales de sedimentos:

- a) Sedimentos detríticos.
- b) Sedimentos químicos

a) Sedimentos detríticos. Son aquellos formados por acumulación de partículas que fueron transportadas sólidas, tanto en suspensión, saltación, como en arrastre de fondo. El depósito de los sedimentos de muy pequeño tamaño (arcillas) que han sido transportados en suspensión en el agua se produce por decantación y se lleva a cabo cuando el agua permanece quieta.

b) Sedimentos químicos. Son los formados por precipitación química. Se forman especialmente en medios acuosos en calma (lagos y mares) y son favorecidos cuando hay una fuerte evaporación.

Además de estos dos tipos básicos de sedimentos, podemos destacar otros con características especiales:

c) Sedimentos bioquímicos. Son aquellos en los que la precipitación es ayudada por la acción de los microorganismos, tales como bacterias.

d) Sedimentos orgánicos. Son los formados por la acumulación de restos de organismos.

En los continentes y regiones emergidas, en general, dominan ampliamente las áreas sometidas a erosión y meteorización sobre aquellas donde tiene lugar el depósito.

En las proximidades de las costas tienen lugar importantes acumulaciones de materiales, en especial detríticos.

Al contrario que en las áreas continentales, en los medios marinos dominan ampliamente las regiones donde hay sedimentación sobre aquellas donde no la hay.

Cuenca sedimentaria.

Se denomina cuenca sedimentaria a un área subsidente de la superficie terrestre en la que durante un prolongado intervalo de tiempo geológico se han acumulado grandes espesores de sedimentos.

3.2. Sistemas de ladera y sus riesgos. Desprendimientos, deslizamientos y coladas de barro. Riesgos ligados a la inestabilidad de laderas. Predicción y prevención.

El sistema de ladera.

- La estabilidad de los materiales que constituyen las vertientes expresa su mayor o menor tendencia a permanecer sin desplazarse pendiente abajo.

Vamos a distinguir dos tipos de movimientos de los materiales en las laderas:

- a) Movimiento de partículas.
- b) Movimiento en masa.

A) Movimiento de partículas.

Se refiere al desplazamiento en sentido descendente de partículas individuales que se mueven independientemente del resto de los materiales de la ladera.

Aunque el movimiento puede originarse por una gran cantidad de procesos, dos de ellos resultan especialmente importantes:

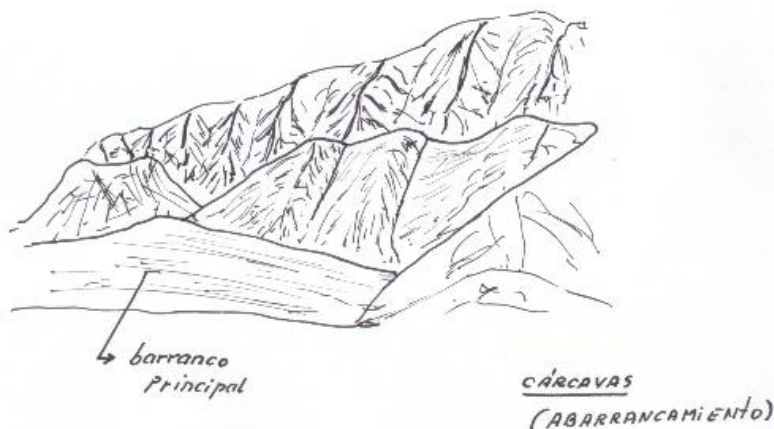
- El primero comprende a todo lo que provoca una inestabilidad en una roca, lo que conlleva a desalojar de su sitio a una serie de fragmentos que puede ir desde los granos de arena hasta grandes bloques que se desploman y se acumulan. Esta caída de rocas, nos la encontramos en afloramientos de roca desnuda, con un ángulo de pendiente mayor de 40 grados.
- El segundo grupo incluye todos aquellos procesos que tienen lugar cuando las gotas de lluvia caen sobre la vertiente originando una corriente superficial capaz de transportar arena suelta y partículas de limo pendiente abajo. En este caso tenemos un **lavado superficial**, es decir, el desplazamiento vertiente abajo de los materiales superficiales por la acción del agua en movimiento.

En este proceso influye en gran manera la cantidad de vegetación. Una cobertura vegetal muy intensa puede absorber totalmente la energía de las gotas de lluvia y evitar cualquier remoción de las partículas del suelo.

Por otra parte, en suelos con gran riqueza de materia orgánica la cohesión actúa también, como un freno del movimiento.

Cuando el agua se mueve a lo largo de la vertiente como una fina película de agua relativamente uniforme, tendremos una **arroyada difusa**.

Al aumentar el caudal, el flujo tiende a concentrarse en una serie de canales ligeramente más profundos, lo que se conoce como **arroyada en surcos**; estos a su vez dan lugar a la formación de cárcavas o bad-lands (carcavamiento o abarrancamiento)

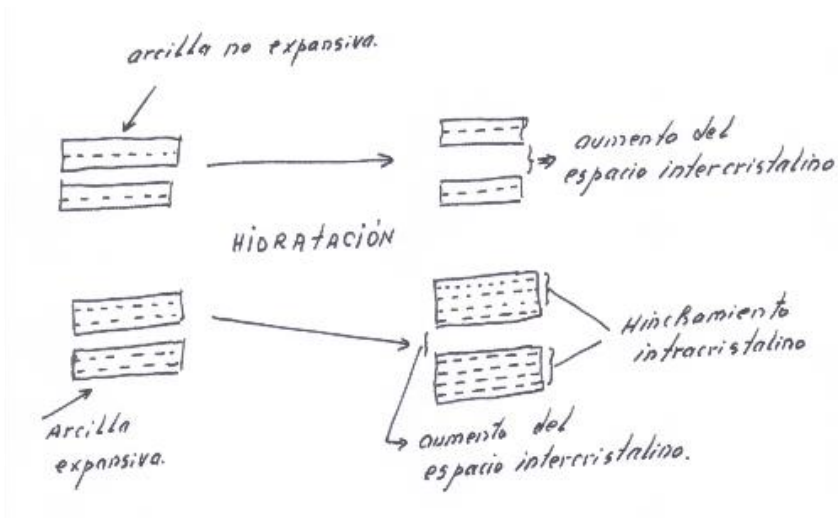


A) Movimiento en masa.

Es el movimiento de materiales que se desplazan vertiente abajo como un cuerpo coherente.

El espesor de la capa que se desplaza de este modo, puede variar desde unos pocos centímetros a muchos metros, y su velocidad puede variar de tan solo un milímetro al año hasta varios kilómetros por hora.

Los movimientos en masa se pueden ver favorecidos si en el terreno hay **arcillas expansivas**. En algunos tipos de arcilla, además de la capacidad común de todas ellas de hidratarse y desecarse, presentan una separación intracristalina en presencia de agua. Los minerales arcillosos con capacidad de hinchamiento intracristalino constituyen las arcillas expansivas.

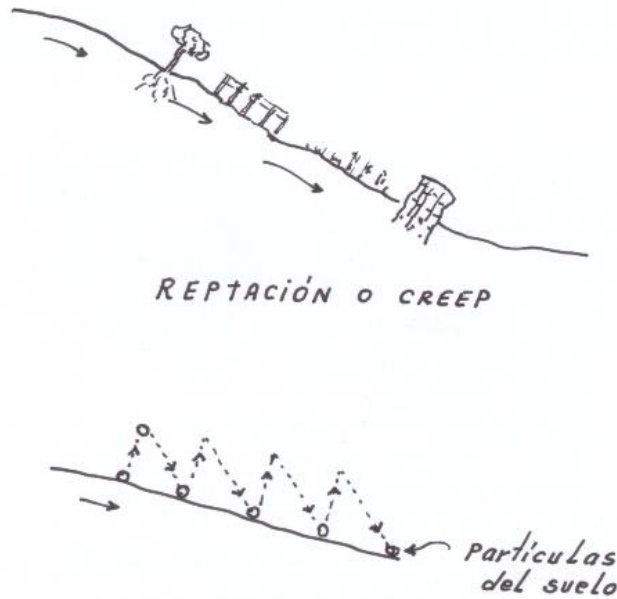


Cuando en un suelo con minerales arcillosos expansivos hay variaciones alternativas de humedad, con situaciones de hidratación-dsecación, se producen daños que afectan a estructuras (cimentaciones, muros etc), en el caso que nos ocupa, se producirá un deterioro en las laderas a causa de este tipo de materiales unido a la acción sequedad-hidratación: en época de sequía se pueden producir descamaciones en la parte superficial del talud, lo cual favorece el acceso de agua tras las lluvias y si a esto se une la presencia de arcillas expansivas, se producirá una inestabilidad en la ladera o el talud.

Reptación (Creep). La reptación o creep del suelo es un lento movimiento hacia debajo de la roca meteorizada y que resulta de los constantes y pequeños reajustes de las partículas constituyentes.

A causa de una expansión y contracción alternante, se produce un levantamiento, causante de la reptación. Esta expansión y contracción alternante se puede producir por dos mecanismos principales:

- a) Por humedecimiento y desecación.
- b) Por hielo y deshielo.



Coladas de barro

Se dan en materiales finos y homogéneos, que se comportan como fluidos a causa del agua que los empapa.

Su velocidad puede alcanzar varios metros por segundo.

La pérdida de resistencia suele estar motivada por la saturación en agua.

Las coladas de barro generalmente presentan pequeña intensidad, pero en ocasiones, sobre todo en condiciones de saturación, pueden ser muy extensos y rápidos, teniendo consecuencias catastróficas en caso de alcanzar zonas pobladas.

En algunos tipos de materiales pueden tener lugar flujos inducidos por movimientos sísmicos, provocados por la rotura de los débiles enlaces entre las partículas creándose una masa sin cohesión que puede fluir con velocidades elevadas.

Los depósitos de materiales finos volcánicos son especialmente susceptibles a este tipo de movimientos. Las coladas o flujos de barro provocadas por los volcanes se llaman lahares y suponen uno de los mayores riesgos derivados de la actividad volcánica (Ej., un volcán formado por capas de lava y cenizas volcánicas, con laderas bastante pendientes y cubiertas en la parte superior de nieve o hielo, puede provocar - si el volcán entra en erupción - una fusión de la nieve y una colada de barro. Es el caso del volcán Nevado del Ruiz (Colombia) cuando entró en erupción en 1985. Causó la muerte de 25.000 habitantes del pueblo de Armero.)

Solifluxión

Es un proceso que afecta a la zona superficial de las laderas, y es un movimiento producido por los procesos hielo-deshielo que, por los cambios de temperatura diarios o estacionales, afecta al agua contenida en los suelos finos de las regiones periglaciares.

Por ejemplo, al final de la primavera y al comienzo del verano, cuando el deshielo ya ha penetrado unas decenas de centímetros en el suelo, éste se halla saturado de agua que no puede seguir camino abajo debido a una masa helada impermeable

inferior (a la que se denomina permafrost), deslizándose este suelo lleno de agua (suelo deshelado denominado mollisol) ladera abajo.

Deslizamientos.

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o de roca que se desplazan, moviéndose respecto a una zona inferior (sustrato), sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte de estas superficies.

La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido.

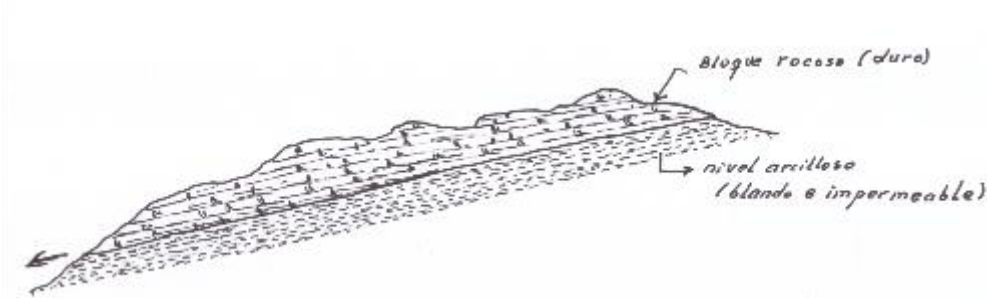
La velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos). En ocasiones, cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio al pie de la ladera (por su pérdida de resistencia, contenido en agua o por la pendiente existente), la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas.

Pueden producirse deslizamientos en derrubios, por ejemplo en el material suelto de las laderas, o en laderas rocosas muy alteradas y fracturadas, a favor del contacto con la roca sana. (El término derrubio se refiere a un material suelto, sin consolidar, con una proporción significativa de material grueso.)

Se pueden distinguir dos tipos de deslizamientos:

- a) Deslizamientos traslacionales.
- b) Deslizamientos rotacionales.

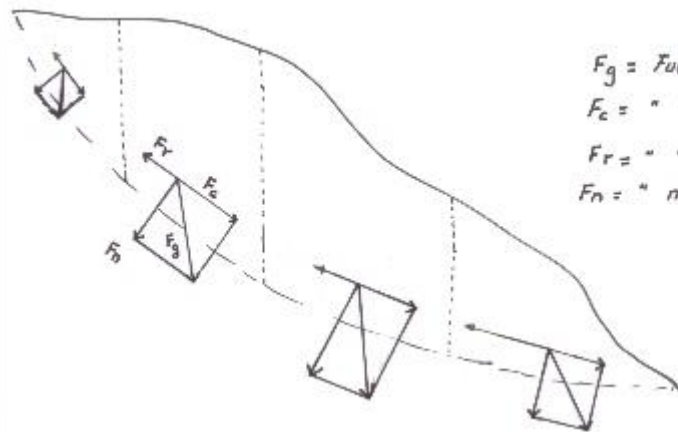
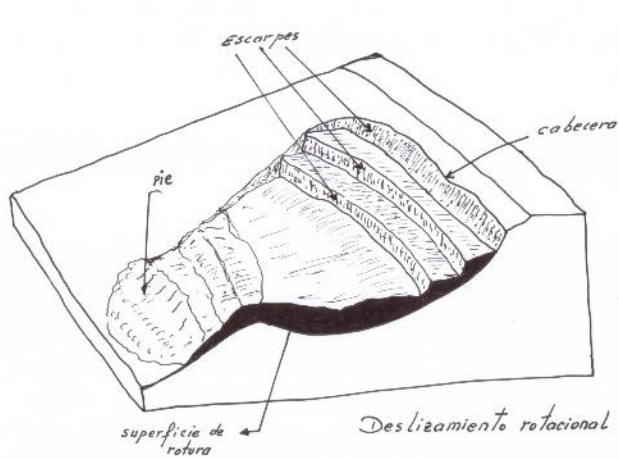
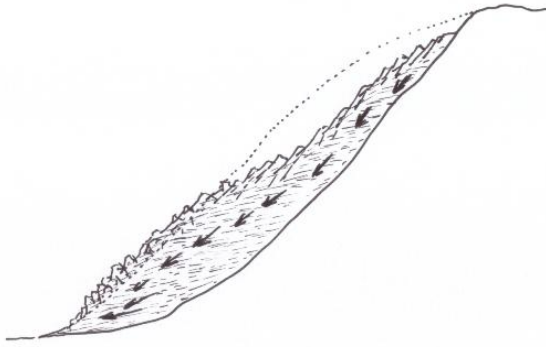
En los **deslizamientos traslacionales**, la rotura tiene lugar a favor de superficies planas de debilidad preexistentes (superficies de estratificación, contacto entre diferentes tipos de materiales, etc.); en ocasiones, el plano de rotura es una fina capa de material arcilloso entre estratos de mayor competencia. No suelen ser muy profundos, pero sí muy extensos y alcanzar grandes distancias.



En los **deslizamientos rotacionales**, la rotura, superficial o profunda tiene lugar a favor de superficies curvas o en "forma de cuchara". Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiéndose dividir en varios bloques que se deslizan entre sí y dan lugar a "escalones".

Sus dimensiones más frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos (el límite puede establecerse en torno a los 10 metros).

La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito. Dependiendo del tipo de suelos y del contenido en agua, se pueden generar flujos.



F_g = Fuerza de la gravedad (G)
 F_c = " " " cizallamiento (Z)
 F_r = " " " rozamiento (R)
 F_n = " normal a la superficie

Desprendimientos y avalancha de derrubios

Los desprendimientos son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, etc).

Son frecuentes en las laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y, en general, en paredes rocosas.

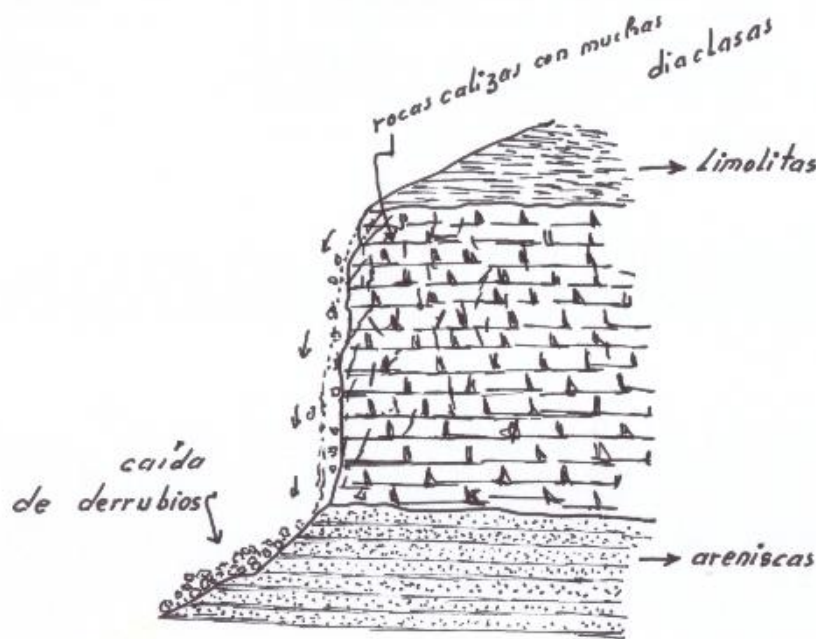
Los factores que los provocan son:

- La erosión y pérdida de apoyo o descalce de los bloques previamente independizados o sueltos.
- El agua en las discontinuidades y grietas.
- Las sacudidas sísmicas
- Etc.,

Aunque los bloques desprendidos pueden ser de poco volumen, al ser procesos repentinos suponen un riesgo importante en vías de comunicación y edificaciones en zonas de montaña y al pie de acantilados.

Las **avalanchas de derrubios (canchales)** están formadas por material rocoso muy heterométrico, pudiendo incluir grandes bloques y otros muy finos; los depósitos glaciares constituyen un material propenso para estos procesos, así como acumulaciones de materiales procedentes de erupciones volcánicas. Consisten en la caída de bloques individuales de rocas de un escarpe o un talud. Las causas pueden ser la erosión de la base del talud, con la consiguiente caída de la parte superior, o bien la existencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc., que favorecen estas caídas. La acción de las heladas puede acelerar el proceso, al ensanchar las discontinuidades.

Los desprendimientos pueden afectar a viviendas o instalaciones situadas al pie de escarpes, y a las vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles)



AREAS DE RIESGO EN ESPAÑA Y EN ANDALUCÍA.

Movimientos de ladera.

La lluvia es el principal factor desencadenante de los movimientos de ladera. Los períodos lluviosos en España vienen acompañados de un incremento importante en los fenómenos de inestabilidad de laderas, sobre todo flujos y deslizamientos de tipo superficial.

Los movimientos de ladera afectan fundamentalmente, aunque no exclusivamente, a las **zonas montañosas** del Norte y del Sur de la península, donde los procesos aparecen asociados al fuerte relieve existente, como es el caso de los Pirineos, cordillera Cantábrica y cordilleras Béticas.

También se dan en las grandes **cuencas terciarias** de los ríos Guadalquivir, Tajo, Duero y Ebro, donde el factor más influyente es el carácter arcilloso y arenoso de los materiales.

Merecen también ser citados los procesos de **erosión costera** por la abundancia de costas rocosas y escarpadas en el litoral español, que dan lugar a desprendimientos con el consiguiente retroceso de los acantilados, sobre todo en las costas del mar Cantábrico, en Canarias y en Baleares.

En España existen ciudades y pueblos construidos sobre farallones y paredes rocosas que sufren desprendimientos que afectan a edificaciones. Ej., en Arcos de la Frontera (Cádiz) construido sobre un gran resalte rocoso.

En las **Cordilleras Béticas**, la complejidad de la estructura y la diversidad litológica, unidas al carácter abrupto del relieve, inciden de una forma determinada en la aparición de inestabilidades de laderas. En la depresión de Granada se encuentran numerosos ejemplos de grandes deslizamientos en materiales blandos. Ej., en el valle donde se encuentra asentada la población de Monachil (Granada) y en los alrededores de Güevejar (Granada).

Otros ejemplos que podemos citar en Andalucía, son el deslizamiento ocurrido en 1986 en Olivares (Granada), y el ocurrido en Benamejil (Córdoba) en 1989 en que un deslizamiento antiguo se reactivó afectando a calles y casas de un barrio que ya había sido afectado en 1963 por el mismo deslizamiento, dejando entonces más de 90 casas destruidas o dañadas.

CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LAS LADERAS.

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno. Los podemos dividir en dos grupos:

- A) Factores **condicionantes** (o "pasivos"), que dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno.
- B) Factores **desencadenantes** (o "activos") que pueden ser considerados como externos y que provocan o desencadenan las inestabilidades.

A) Factores condicionantes.

- Relieve (pendiente, geometría)
- Litología (Composición, textura)
- Estructura geológica
- Comportamiento hidrogeológico de los materiales.
- Meteorización

B) Factores Desencadenantes

- Precipitaciones y aportes de agua
- Terremotos.
- Vulcanismo.
- Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)

- Acciones antrópicas: excavaciones, y por tanto, cambios en la distribución del peso de los materiales, construcción de presas y embalses, terraplenes, escombreras sobre laderas, voladuras en zonas cercanas etc.

Factores de riesgo y medidas correctoras.

Los movimientos de ladera son movimientos hacia abajo de los materiales que forman una ladera bajo la influencia de la gravedad, acompañada a veces por otras fuerzas naturales como las sísmicas o las volcánicas.

La importancia de estudio de estos fenómenos se basa en que los movimientos de ladera son el tercer riesgo natural de víctimas tras los terremotos y las inundaciones, aunque en menor magnitud.

Como ejemplos de grandes catástrofes podemos citar el flujo de derrubios del volcán Casitas en Nicaragua, a consecuencia del huracán Mitch, que en 1998 enterró a unas 2.500 personas. Ya hemos citado el lahar del volcán Nevado del Ruiz, que arrasó la población de Armero en Colombia en 1985, enterrando a unas 24.000 personas.

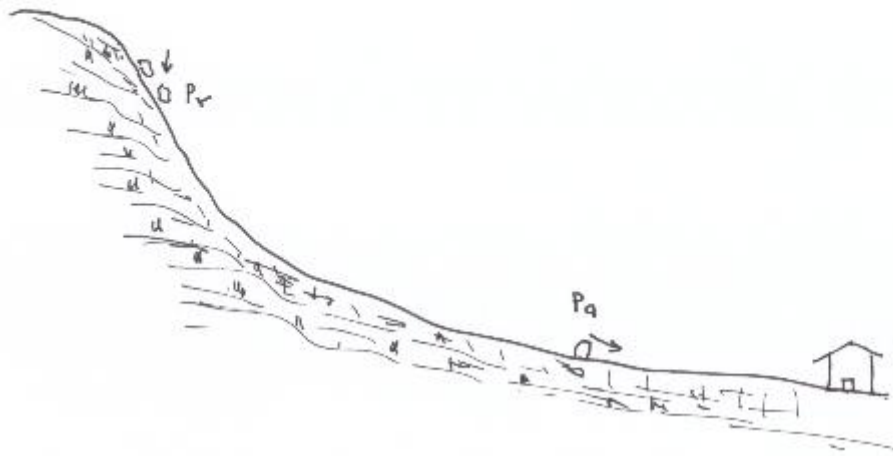
El problema de la **predicción** de la rotura de una ladera tiene un gran interés práctico en aquellos casos donde hay fenómenos precursores, como la aparición de grietas o movimientos perceptibles de prerruptura.

Interesa conocer no solo la **probabilidad** de que se desencadene el movimiento de ladera (probabilidad de rotura P_r), sino también la probabilidad de que alcance a las personas y bienes **expuestos** (probabilidad de alcance P_a).

Por tanto, la probabilidad **P** a considerar en el cálculo de riesgo vendrá dado por el producto:

$$P = P_r \cdot P_a$$

P_r = Probabilidad de rotura
 P_a = Probabilidad de alcance



La **vulnerabilidad** humana tiene causas diferentes. Ante todo, depende de si los movimientos avisan o no, es decir, si vienen precedidos de precursores, tales como agrietamientos.

Medidas correctoras.

Las medidas de corrección o estabilización de laderas están encaminadas a prevenir los deslizamientos y a mitigar los daños. Pueden realizarse antes (en casos de laderas potencialmente inestables) o durante el movimiento, siempre que su velocidad lo permita.

Las actuaciones a realizar dependerán de:

- El volumen de masa inestable.
- La velocidad de la masa inestable.
- La pendiente y altura de la ladera.
- El tipo de materiales presentes.

En el caso de los deslizamientos son recomendables:

- A) Obras de drenaje.
- B) Modificación de la geometría.

A).-Obras de drenaje.

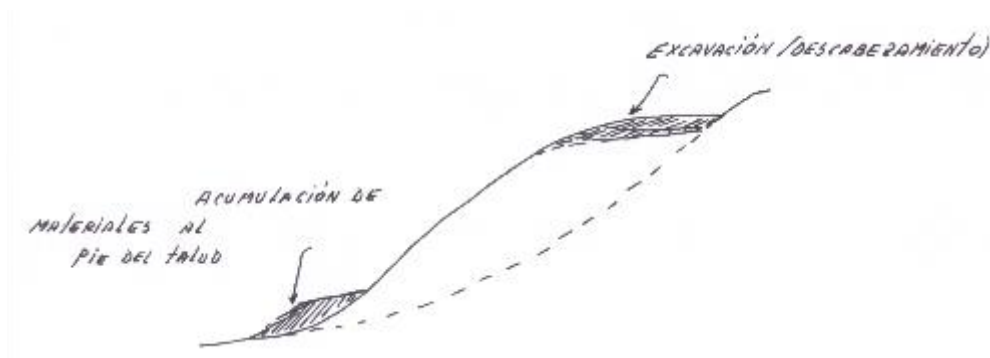
Las obras de drenaje y las medidas para evitar la entrada de agua siempre son beneficiosas para la estabilidad de las laderas.

B.- Modificación de la geometría.

Con la modificación de la geometría de una ladera se pretende aumentar las fuerzas de fricción que se oponen a su rotura.

Para conseguir el efecto deseado se elimina material de la parte superior de la ladera y se acumula terreno en su base. Con la primera acción (descabezamiento), disminuye el peso en la parte superior de la ladera y en consecuencia disminuyen las fuerzas que favorecen su rotura.

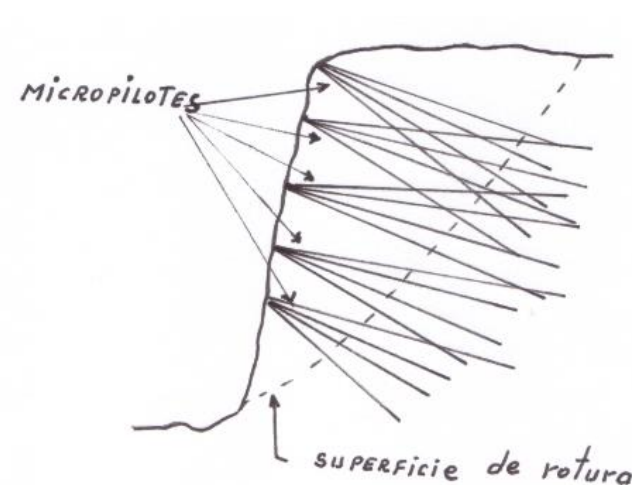
Al acumular material en el pie del talud se crea un tacón de tierra o escollera cuyo peso hace que las tensiones normales aumenten, y como consecuencia de ellas aumenta la resistencia de la ladera



Otras medidas.

Otras medidas serían:

- Introducción de pilotes o micropilotes: Son elementos que mejoran la resistencia de la roca en la superficie de rotura.



Instalación de anclajes:

Los anclajes son elementos formados por cables o barras de acero que se anclan a zonas estables de la roca, y proporcionan una fuerza contraria al movimiento.

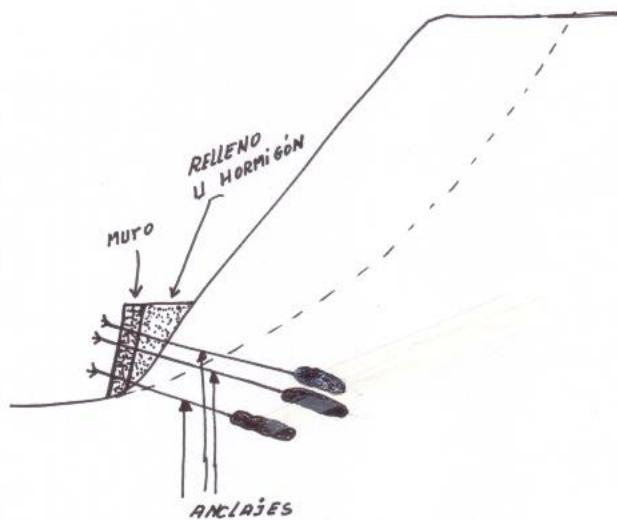
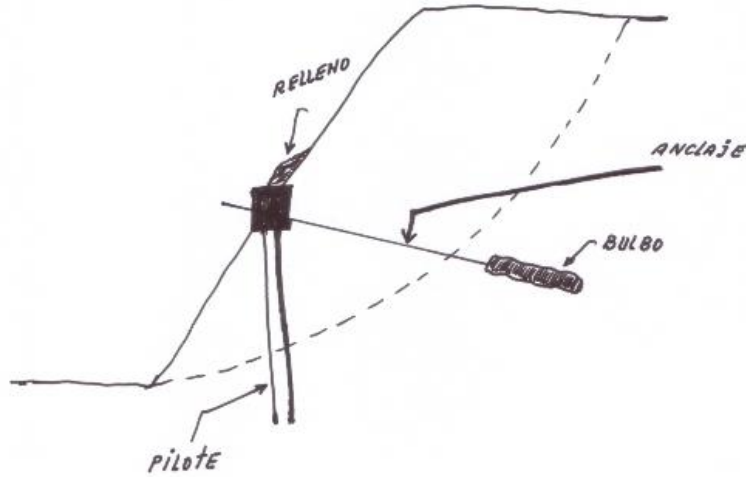
Los anclajes se emplean frecuentemente en taludes rocosos fracturados como medida muy efectiva para estabilizar masas o bloques deslizantes.

En la parte final del anclaje se efectúan inyecciones de cemento o de resinas que se adhieren a la roca. El material que recubre a la roca (cemento, mortero (mezcla de cemento agua y áridos) o resinas y que la sujeta fuertemente al terreno que la rodea se denomina bulbo de anclaje.

En las ocasiones que se precise, los anclajes van unidos a unos pilotes, que son un tipo de cimentación consistente en unas barras que se apoyan no sobre la zona

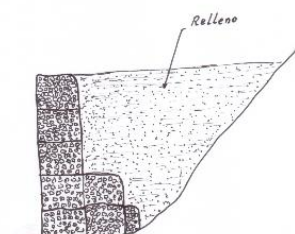
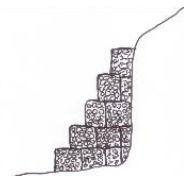
deslizada o susceptible de deslizamiento, sino sobre zonas más profundas ya estables.

En el caso de suelos o de macizos rocosos de baja resistencia afectados por una inestabilidad general, se suele ejecutar un muro de hormigón armado en el talud, en el que se colocan las cabezas de los anclajes.



- Muros de Contención.

Se construyen para reforzar la zona al pie de los taludes. Un ejemplo de los diferentes tipos de muros de contención que hay son los muros de gaviones, que consisten en fragmentos rocosos contenidos en una malla de acero, y que pueden ser construidos escalonadamente hacia el interior o el exterior del talud.



Podemos citar también **medidas de protección superficial**, cuyos objetivos son:

- Eliminar problemas de caída de rocas.
- Evitar o reducir la erosión y la meteorización en el frente del talud.
- Evitar la entrada de agua de escorrentía.

Algunas de estas medidas de protección superficial son:

- Instalación de mallas metálicas.
- Recubrimiento del talud con gunita o con hormigón proyectado. La **gunita** es una mezcla de cemento, agua y áridos de hasta 8 milímetros. Este material se proyecta mediante presión neumática a través de una manguera. Normalmente se proyectan varias capas sobre el talud, con un espesor total de 5 a 8 centímetros.
Cuando se mezclan áridos de un tamaño superior a 8 milímetros el material resultante se denomina **hormigón proyectado**.
La gunita puede reforzarse mediante la fijación de una malla metálica al talud sobre la que se proyecta la mezcla.
- Siembra de especies vegetales que contribuyen a reforzar el terreno superficial en taludes excavados en suelos.

3.3. El sistema fluvial y sus riesgos. Perfil de equilibrio. Terrazas fluviales. Nivel de base de un río. Deltas y estuarios. Riesgos ligados a los sistemas fluviales: inundaciones. Predicción y prevención.

Los ríos son los principales responsables del modelado del relieve al menos en las latitudes templadas. Al encontrarse su nacimiento en zonas elevadas con respecto al nivel del mar, presentan una energía potencial que se va transformando en energía cinética conforme las aguas del río avanzan hacia zonas más bajas, produciendo en su descenso una erosión del cauce. Junto con esta erosión del cauce fluvial también se presentan fenómenos de transporte de materiales y en otras zonas, cuando el río no posee suficiente energía como para erosionar o transportar, se produce un depósito de los materiales que éste arrastra.

El **caudal** de una corriente de agua es la cantidad de agua que atraviesa una determinada superficie en una unidad de tiempo concreta. Se suele medir en litros/segundo o en m³/segundo.

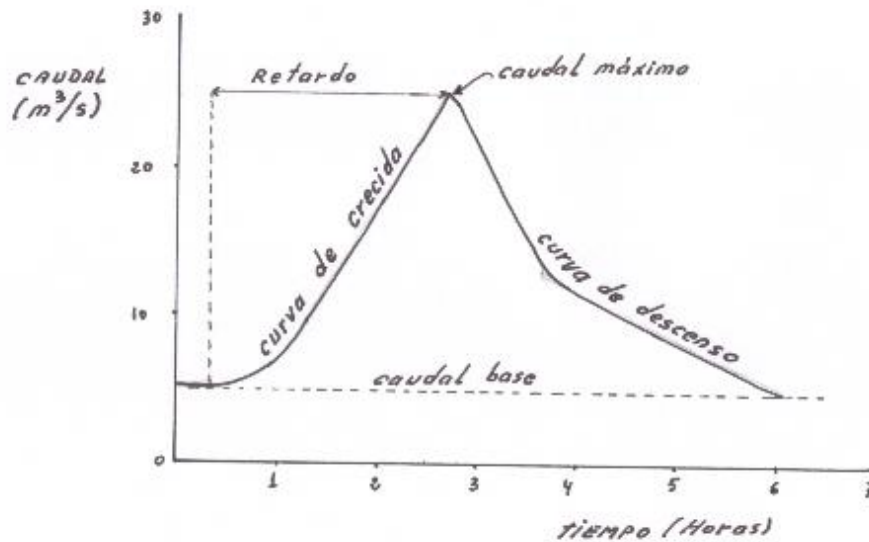
El caudal se determina multiplicando el área transversal de una corriente por su velocidad:

$$\text{Caudal} = \text{anchura del cauce} \times \text{profundidad de cauce} \times \text{velocidad.}$$

Los caudales de la mayoría de los ríos no son constantes, pues dependen de las precipitaciones y del deshielo en aquellos casos que la alimentación de sus aguas sea de esta manera.

La variación en el tiempo del caudal del un cauce se representa mediante los gráficos denominados hidrogramas:

Cuando hay un deshielo, período de lluvias o tormenta, el caudal del río aumenta al recoger el agua añadida hasta alcanzar un máximo, y luego va decreciendo progresivamente hasta alcanzar el caudal inicial: es lo que se conoce en el hidrograma como curva de crecida y curva de descenso. La diferencia de tiempo entre el inicio de máxima intensidad de aumento de agua (lluvia, deshielo) y el pico del hidrograma que nos indica el caudal máximo se denomina retardo.



Caudal Punta.

Es el caudal máximo que transporta una corriente fluvial.

Época de crecida

Zonas del año en que el caudal de un río aumenta considerablemente (Ej.: épocas de deshielo o épocas de un aumento de las precipitaciones)

Época de estiaje.

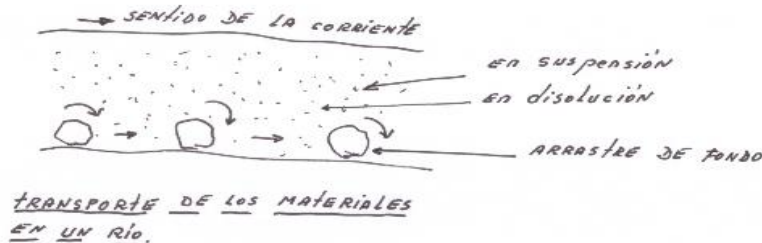
Zonas del año en que disminuye considerablemente el caudal de un río. (Ej. En el verano)

Carga

Las corrientes fluviales son el agente erosivo más importante de la Tierra. No solamente tienen la capacidad de modelar sus cauces, sino que también pueden transportar enormes cantidades de materiales (carga de la corriente).

Las corrientes transportan su carga de sedimentos de tres maneras:

- En disolución: **carga disuelta.**
- En suspensión: **carga suspendida.**
- Por arrastre de fondo: **carga de fondo.**

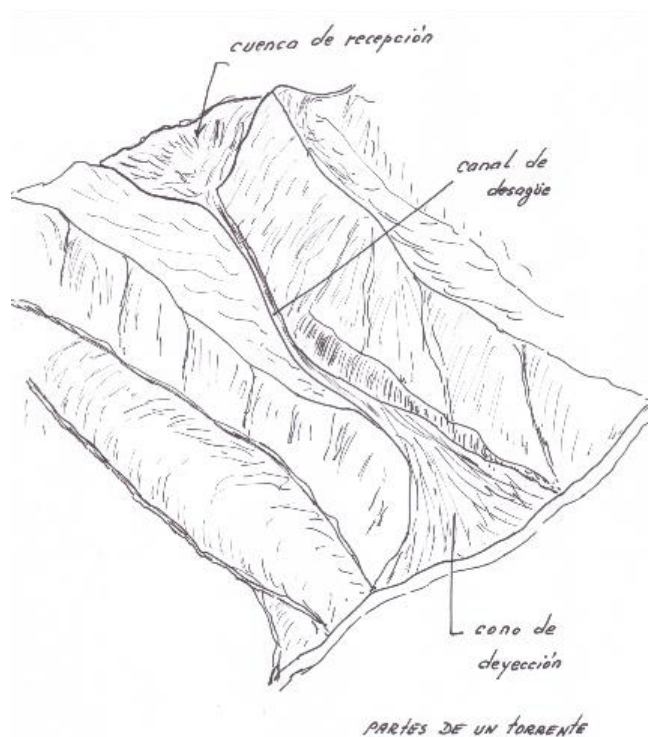


Torrentes

Un **torrente** es un curso de agua ocasional originado por lluvias torrenciales o por deshielo. Tienen un gran poder erosivo, pues debido a la fuerte pendiente, tienen una gran velocidad.

En un torrente se pueden diferenciar tres partes:

- **Cuenca de recepción:** zona que recoge las aguas de arroyada.
- **Canal de desagüe:** lugar o conducto por donde circula el agua.
- **Cono de deyección o abanico aluvial:** lugar en el que acaba el torrente cuando pierde bruscamente su velocidad al disminuir la pendiente. En esta zona se depositan los materiales arrastrados de las zonas más altas.

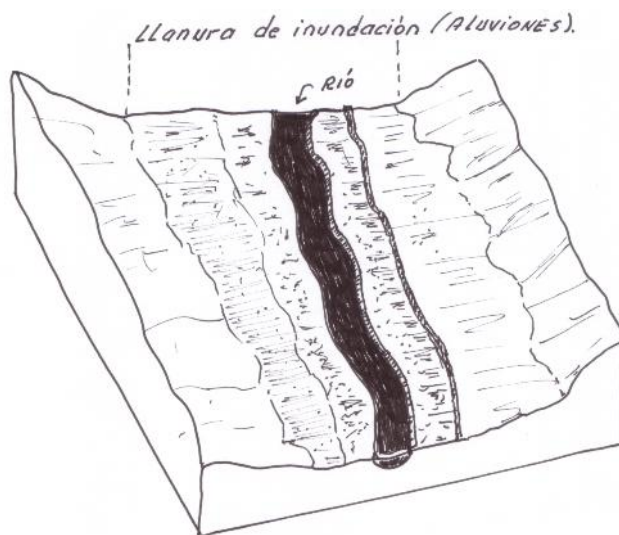


Los ríos presentan una parte alta, de mayor pendiente, donde predominan los procesos de erosión; una parte media, de pendiente más suave, donde predomina el transporte y una parte baja, de pendiente casi nula, donde predomina la sedimentación.

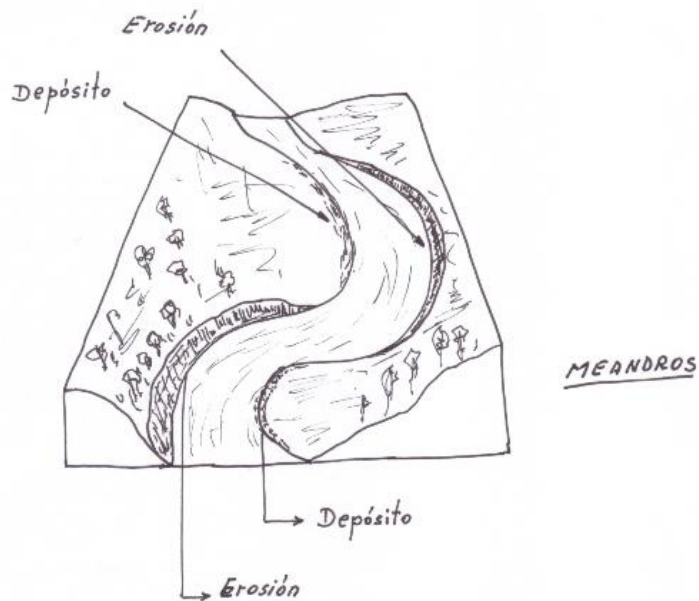
No obstante como en la capacidad de erosión, transporte y sedimentación de un río influye: el caudal, la carga, la pendiente, el cauce por el que discurre y la litología del cauce; y algunos de estos factores pueden cambiar a lo largo del tiempo, también cambiarán los procesos que se desarrollan en las diferentes partes del río.

En las partes altas de los ríos se llevan a cabo procesos de erosión (y transporte de los materiales erosionados) abriéndose profundos barrancos característicos de estas zonas.

En el curso medio de los ríos se ha perdido en gran parte el poder erosivo, y lo que predomina es el transporte y la sedimentación. En esta zona se forman grandes **llanuras de inundación** donde se depositan los sedimentos del río (aluviones), que son amplios valles de fondos planos denominados **vegas (llanuras aluviales)**. Cada cierto número de años se producen inundaciones y estas llanuras son ocupadas por las aguas.



El lecho del río presenta frecuentemente dos tipos de trazado sobre las llanuras de inundación: a veces presenta bifurcaciones y otras veces presenta una trayectoria sinuosa dando lugar a la formación de **meandros**, gracias a los cuales el río puede seguir desarrollando su poder de desgaste, pues se produce erosión en su parte cóncava y sedimentación en la convexa; como la erosión es mayor a la salida de las curvas, se provoca un desplazamiento del meandro aguas abajo. En algunos casos se estrangula uno de ellos, dando lugar a un **meandro abandonado**



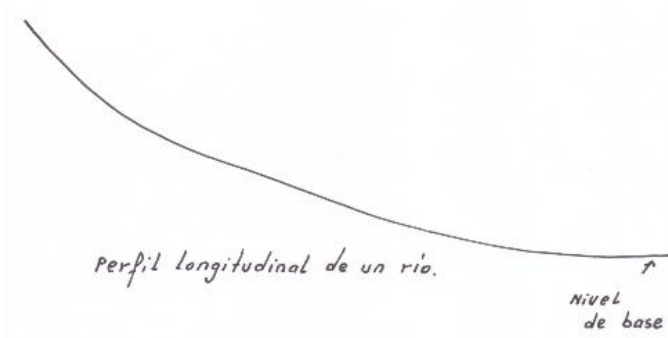
La
evol
ució

n del sistema fluvial: el perfil de equilibrio y las terrazas fluviales.

El nivel topográficamente más bajo de un río se denomina nivel de base. En el caso de los ríos que desembocan en el mar, el nivel de base será el nivel del mar. En el caso de desembocar en un lago, el nivel de base será el de la cota a que se encuentre dicho lago, y para aquellos ríos que desembocan en otros, la cota a que se encuentre la zona de unión de los dos ríos será su nivel de base.

Los ríos, desde que nacen hasta que llegan a su nivel de base presentan un perfil longitudinal que va modificándose continuamente porque tienen tendencia a alcanzar un perfil denominado **perfil de equilibrio**, que sería aquel en que el río no gasta energía en erosionar ni en depositar, sino que solamente transporta materiales.

La forma de este perfil de equilibrio correspondería a una línea cóncava hacia arriba, con mayor pendiente en las zonas altas y una progresiva disminución conforme nos vamos acercando al nivel de base.



El concepto de nivel de equilibrio es más bien un concepto teórico que real, pues los ríos tienen tendencia a alcanzarlo pero los movimientos de origen tectónico, o bien los cambios en el nivel de base, o unas condiciones climáticas distintas modificarán las condiciones hidráulicas del río (velocidad de las aguas etc.) y por tanto el río se tendrá que adaptar a las nuevas condiciones.

Terrazas fluviales.

Son estructuras fluviales resultantes de la acción erosiva de un río sobre sus propios sedimentos (aluviales). Sobre la zona erosionada del río se depositan ahora nuevos aluviales, sin que lleguen a la altura topográfica de los anteriores, y el resultado es un escalón en el valle fluvial. Si esta situación de erosión del valle y nuevo depósito de aluviones se repite más de una vez tendremos varios escalones, y por tanto varias terrazas fluviales.

Tipos de terrazas fluviales:

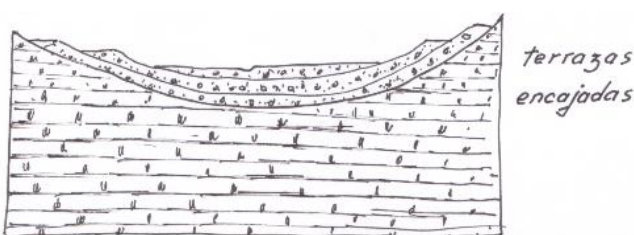
a) Terrazas escalonadas.

Son aquellos con fuertes períodos de erosión anteriores al nuevo depósito, y como consecuencia de ello el río excava en profundidad todos sus anteriores aluviones y llega hasta el sustrato rocoso, quedando únicamente a los lados restos de los anteriores aluviones.



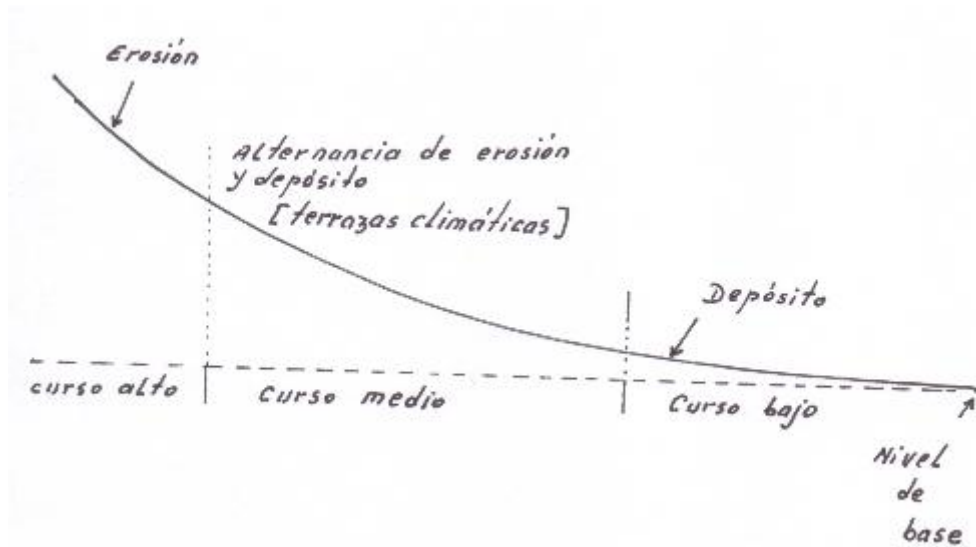
b) Terrazas encajadas.

Los períodos de erosión no son tan fuertes como para excavar totalmente todos los antiguos aluviones del río, quedando los nuevos aluviones sobre los anteriores, pero en niveles más bajos.



Atendiendo a su génesis, las terrazas se pueden clasificar en tres tipos:

1.- Terrazas climáticas.



En aquellos ríos que sufren períodos de pocas precipitaciones (estiaje) y otros períodos de aumento de las precipitaciones, se darán en el curso medio de los ríos una alternancia de mayor sedimentación (en épocas de precipitaciones) y de erosión en épocas de estiaje.

Durante el Cuaternario, desde hace unos 1,7 millones de años ha habido cuatro períodos glaciares que han alternado con otros cuatro interglaciares. Durante los períodos glaciares hubo un enfriamiento general y al menos en nuestras latitudes un aumento de las precipitaciones. En estos períodos glaciares se dio por tanto grandes crecidas existiendo un mayor tramo del río sometido a depósito.

En los períodos interglaciares las condiciones climáticas más secas harían que predominara la erosión sobre el depósito.

La consecuencia de todo esto fue la formación de terrazas climáticas en el curso medio de los ríos

2.- Terrazas eustáticas.

Durante los períodos interglaciares, en que el clima es más cálido, y a causa de la fusión del hielo sube el nivel del mar; lo contrario ocurre en los períodos glaciares.

Durante los períodos interglaciares por tanto el nivel de base de los ríos aumenta, y estos tienden a adaptarse al nuevo nivel de base para alcanzar el perfil de equilibrio; pero en el río hay un predominio de la sedimentación en su tramo bajo.

En los períodos glaciares, el nivel de base desciende, y para tender a alcanzar su perfil de equilibrio hay un predominio de la erosión en el tramo bajo de los ríos.

Por tanto, hay una alternancia de sedimentación y de erosión, consecuencia de la cual se forman las terrazas fluviales.

Pero a diferencia de las terrazas climáticas, que se formaban en el tramo medio de los ríos en nuestras latitudes, siendo los períodos glaciares épocas de sedimentación y los interglaciares de erosión, las terrazas eustáticas se forman en el tramo bajo de los ríos, correspondiendo la etapa los períodos glaciares a etapas de erosión en el tramo bajo (desciende el nivel de base) y los interglaciares a etapas de sedimentación en el tramo bajo (sube el nivel de base).

3.- Terrazas tectónicas.

Debido a ascensos y descensos del terreno (por ejemplo, por movimientos isostáticos), se producen predominio de la erosión en los ríos (a causa de movimientos de ascenso: baja el nivel de base) y de sedimentación (en el caso de movimientos de descenso: sube el nivel de base)

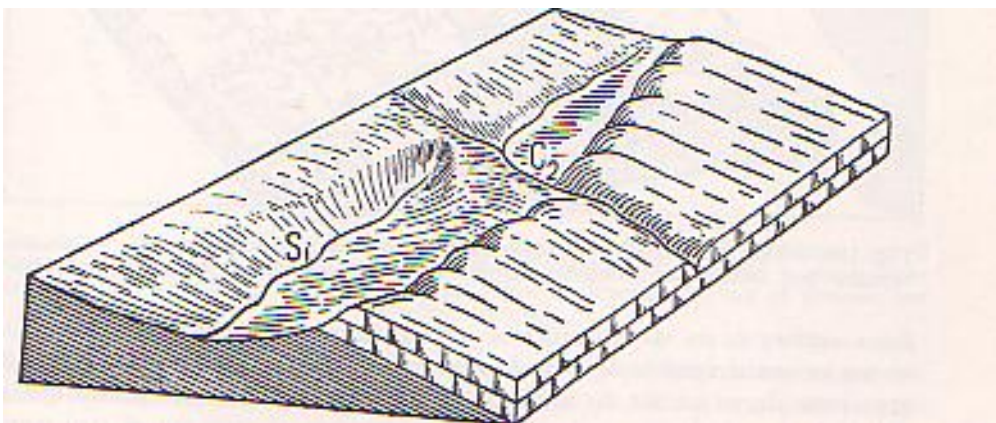
Por supuesto que en estos movimientos tectónicos, que como la gran mayoría de los fenómenos en Geología son lentos, los cambios climáticos interferirán en estos procesos.

Erosión remontante.

Cuando la carga de los río es igual a la capacidad de carga, el río utiliza toda su energía en vencer el rozamiento y en transportar partículas, es decir que el río ni erosiona ni sedimenta. En este caso decimos que el río alcanza su perfil de equilibrio (aunque esto es un concepto más bien teórico que real, pues antes de alcanzar totalmente su perfil de equilibrio el río ha podido modificar su nivel de base, y entonces tendrá que adaptarse a su nuevo nivel de base)

Para alcanzar este equilibrio, los ríos tienden a disminuir su altura para alcanzar este perfil de equilibrio que está adaptado a su nivel de base.

El proceso erosivo por el cual un río excava en las partes más altas para adaptarse a este nivel de base se denomina **erosión remontante**.



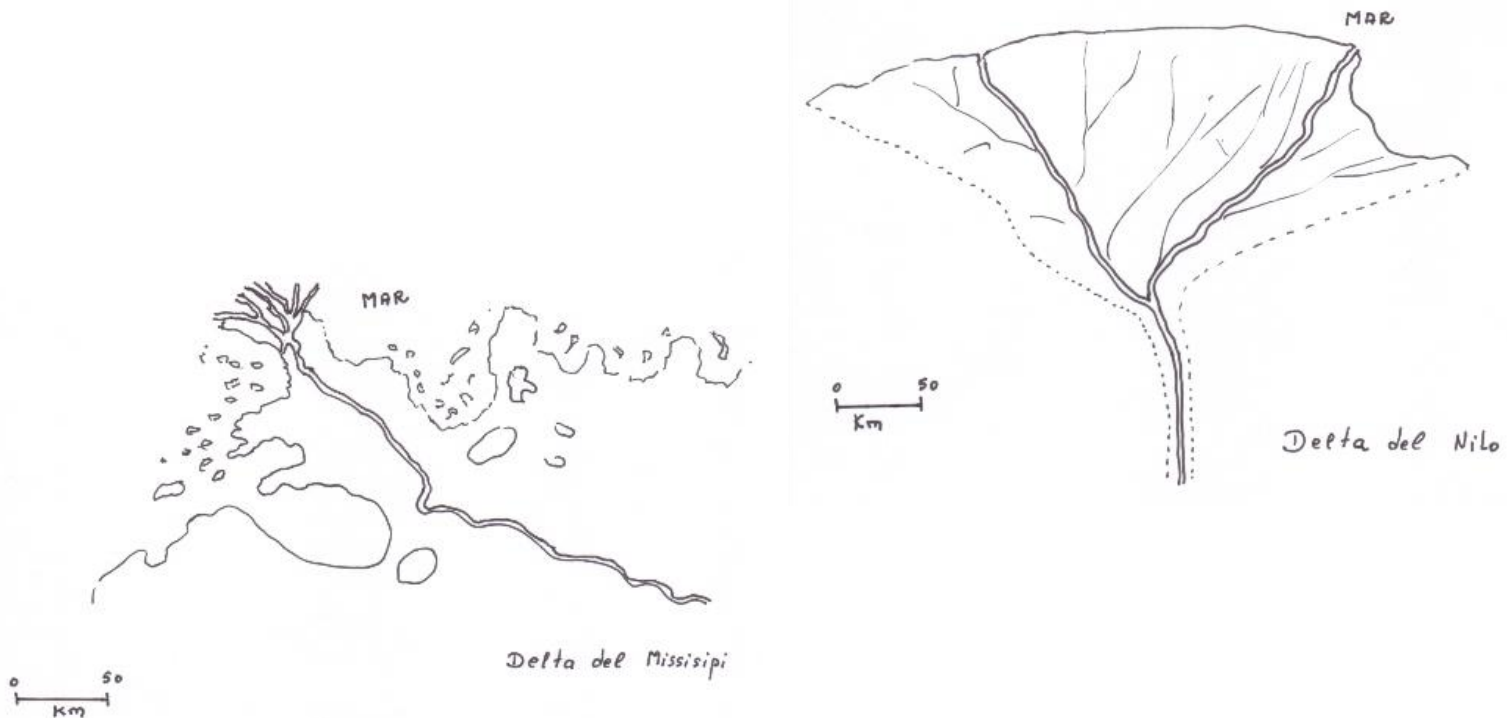
(S_1 = Río que está efectuando **erosión remonte** en su cabecera, y podría llegar un momento en que capturara las aguas del río C_2 , que se encuentra a un nivel más alto que el S_1)

A este proceso por el cual un río captura las aguas de otro se denomina **Captura fluvial**.

Geodiámica en la desembocadura: deltas y estuarios.

Un **delta** se forma cuando una corriente fluvial entra en un lago o en un océano; a medida que la corriente de agua va perdiendo velocidad, se van depositando los materiales que transporta.

Conforme el delta va creciendo, la velocidad de la corriente de agua disminuye. Esta circunstancia acaba produciendo el cierre del cauce por acumulo de sedimentos procedentes del agua con un movimiento lento. Como consecuencia, el cauce principal se subdivide en varios cauces más pequeños, pudiendo llegar a alcanzar la forma triangular de la letra griega delta, a la cual deben su nombre. Sin embargo, hay muchos deltas que no exhiben esta forma, pues dependiendo de la configuración de la línea de costa y la fuerza del oleaje, adquieren formas diferentes. El ejemplo más típico de delta con su forma característica es el delta del Nilo, con forma triangular. Como ejemplo de un delta importante con forma diferente está el delta de Missisipi, con una forma denominada “pata de gallo”.



En la actualidad, las intervenciones del hombre en los países industrializados han contribuido a modificar la dinámica y la evolución de los deltas: caso de los deltas del Llobregat, Ebro, Rhin, Po, etc...

En las zonas de confluencia del mar y de un río se forman **estuarios**, zonas de sedimentación de materiales tanto marinos como fluviales y en las cuales

se produce una mezcla de las aguas, pues al mar entra agua dulce y al río agua salada. Se origina así una zona de aguas salobres.

Los estuarios caracterizan a los ríos que llevan poca carga de material detrítico grueso y aquellos otros que desembocan en zonas de amplias mareas.

La corriente del río y las corrientes litorales y de marea transporta los materiales y son las causantes principales de su modelado.

Las dimensiones de los estuarios son muy variables, y están en relación con las dimensiones del río. Como ejemplo de un enorme estuario tenemos el del río Amazonas, con una anchura de unos 100 kilómetros en su desembocadura en el Atlántico. Un ejemplo de estuario cercano a nosotros es el estuario del río Tago en Lisboa.

En las zonas de desembocadura de los ríos, al mezclarse el agua dulce y salada se produce la floculación de las arcillas, formando una serie de sedimentos que acaban colmatando la bahía. Son **llanuras de fango**, con gran cantidad de materia orgánica. Con el paso del tiempo se instala sobre la llanura de fango una vegetación salobre que retiene los sedimentos, transformando la llanura en una **marisma**.

Riesgos asociados al sistema fluvial: las inundaciones. Medidas preventivas.

Las inundaciones, avenidas o crecidas son consecuencia de cualquier flujo de las aguas superficiales mayor de lo habitual, de tal manera que cubren una porción de tierra que por lo general permanece seca.

Las causas de su formación pueden ser:

- Lluvias torrenciales Ej. Formación de la "gota fría").
- Fusión rápida de la nieve, debido a aumentos bruscos de temperatura, o a la acción combinada de este efecto con el agua de lluvia.
- Deshielo de ríos caudalosos.
- Obstrucciones en los cauces producidos por deslizamientos con formación de presas naturales, que pueden ser desbordadas por las aguas.
- Tifones, ciclones, huracanes.
- Roturas de presas (aunque las presas artificiales son mecanismos ideados por los hombres).

Las inundaciones provocan daños materiales, perturban la vida económica y social, crean riesgos de epidemias y dañan en medio ambiente al erosionar y contaminar los suelos.

La frecuencia y la importancia de las inundaciones pueden variar debido a las acciones humanas que incidan en la cuenca de drenaje. Algunas formas de ganadería, la deforestación, las actividades agrícolas o las construcciones y urbanizaciones pueden elevar la magnitud y frecuencia de las inundaciones al facilitar el aumento de la escorrentía superficial.

España es un país con importante riesgo de inundaciones, como indica el registro histórico a lo largo y ancho del territorio peninsular e insular. En un informe de 1984 (elaborado en 1984 por la Comisión Técnica de inundaciones de la Comisión Nacional de Protección Civil), se detectaron 1.400 **puntos negros** en la red fluvial española, repartidos por todas las grandes cuencas hidrográficas peninsulares.

Una de las catástrofes más recientes en el tiempo (1996) fue la de Biescas, en el Pirineo Aragonés, donde 87 personas perdieron la vida en un camping ubicado en el abanico aluvial situado en la desembocadura del río Arás, canalizado hacía años. No existe ninguna cuenca hidrográfica española totalmente a salvo de las inundaciones, aunque sí pueden establecerse niveles de riesgo muy diferentes. La mayor parte de las inundaciones en España son del tipo de inundaciones relámpago, transitorias, momentáneas o discontinuas. Responden a precipitaciones muy intensas, cortas en el tiempo (en general, pocas horas. Ej. "gota fría"), pero muy potentes. Son típicas de la zona mediterránea, donde las ramblas están secas la mayor parte del año. Ej., inundación de La Rábida (Granada) por desbordamiento de la Rambla de Albuñol, en 1973.

Las zonas urbanas no están exentas del riesgo de inundaciones. Ej., en 1997 en Alicante, a principios de otoño hubo inundaciones que se cobraron 5 víctimas mortales, dos de ellas fueron literalmente engullidas en la red de alcantarillado.

Una de las labores más eficientes de la lucha contra las inundaciones en España es la realización de mapas de riesgo, a diversas escalas. Estos mapas contienen una zonificación del territorio en función del riesgo potencial frente a las inundaciones, y permite una ordenación de las actividades y de los usos del territorio más congruente con la dinámica natural.

Medidas preventivas.

La actuación contra el riesgo de inundaciones pasa por el conocimiento profundo de las cuencas fluviales y los procesos que generan las avenidas, a la vez de tener los medios adecuados para un sistema de previsión y alarma que funcionen en tiempo real y en colaboración con los servicios de Protección Civil. Junto con esto es necesario una planificación y ordenación del territorio que nos indiquen un uso adecuado de las zonas sometidas a riesgo.

Las actuaciones están muy relacionadas con el grado de desarrollo y con el nivel tecnológico de las sociedades. Podemos considerar dos tipos de medidas: estructurales y no estructurales.

Medidas estructurales.

- Embalses. Son las estructuras de mayor envergadura. Nos permiten retardar, reducir e incluso impedir la llegada de la avenida.
- Encauzamientos de los ríos. Fundamentales para proteger las zonas urbanas.
- Desvíos del cauce. Podemos poner por ejemplo el río Turia, que fue desviado para no pasar por la ciudad de Valencia, después de las inundaciones catastróficas de 1957.
- Diques de contención.
- trasvases.
- Etc.,

Medidas no estructurales.

Este tipo de medidas se basan, fundamentalmente, en una correcta planificación y ordenación del territorio y en adecuados sistemas de previsión, alerta y vigilancia en tiempo adecuado para una posible evacuación.

. Algunos ejemplos puntuales de estas actuaciones son:

- Reforestación de las cabeceras de las cuencas (para disminuir la escorrentía superficial y la erosión).

- La regeneración y protección de los bosques de ribera.
- La limpieza periódica de los cauces, para mantener la capacidad de transporte de aluviones sin que haya una inundación.

Estas medidas son importantes, pero a nivel global las más eficaces están relacionadas con la ordenación del territorio susceptible de inundación:

- Se necesita una cartografía de riesgo lo más detallada posible.
- Hay que hacer una planificación de los usos del territorio en función del riesgo de inundación.
- En cuanto a los sistemas de previsión y alarma, ya desde 1982, en que en la ribera del río Júcar hubo una inundación desastrosa, en el Instituto Nacional de Meteorología (INM) de nuestro país crea la red **SAIH** (Sistema automático de información Hidrológica) y se diseñan planes de previsión (Previmet) y planes de actuación en caso de emergencia, coordinados por Protección Civil.

Así pues, desde 1982 el INM cuenta con una red de estaciones automáticas, no completa en todo el territorio nacional, pero cada vez más extensa, que proporciona datos en tiempo real y cada 10 minutos. Se cuenta con imágenes de satélite (fundamentalmente de Meteosat) para las tareas de predicción y vigilancia meteorológicas, y se desarrollan modelos matemáticos que facilitan la integración de toda la información.

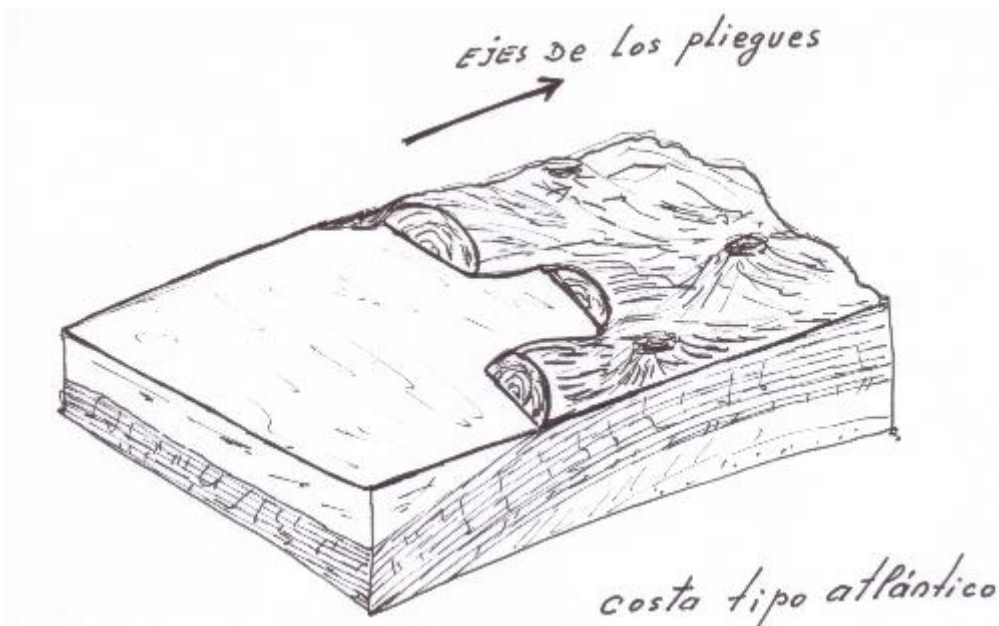
- Hay que señalar también como fundamental el papel que desempeña el Servicio de Protección civil, que se encarga del estudio y prevención de situaciones de riesgo, planificación y actuación en emergencias, y actividades de información, divulgación y concienciación de la población.

3.4. Sistema litoral y sus riesgos. Tipos de costas. Agentes físicos que actúan sobre el litoral. Morfología costera: formas de erosión y formas de acumulación. Riesgos asociados al sistema litoral: tempestades, destrucción de playas, retroceso de los acantilados. Impactos derivados de la acción antrópica.

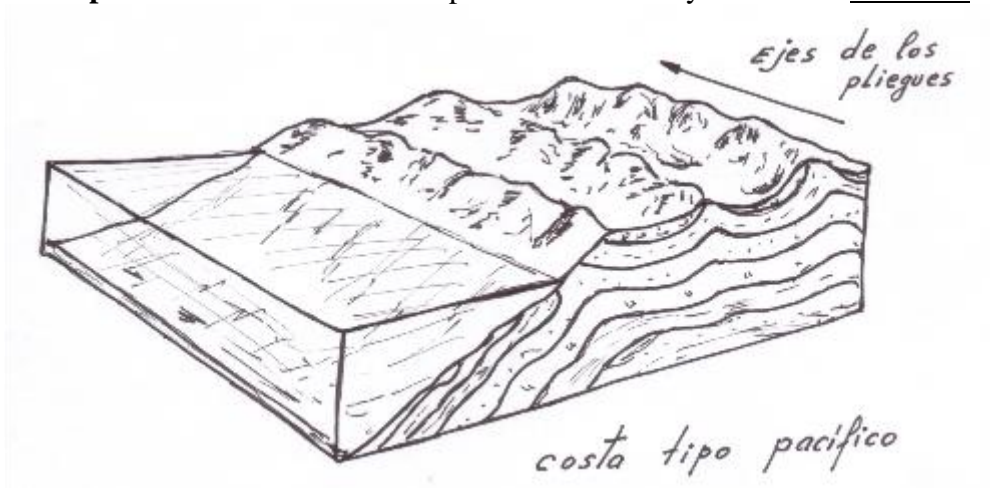
Tipos de costas.

- 1).- Por su relación con la dirección de las cordilleras del continente, se distinguen dos tipos de costas, que toman su nombre de los océanos en los que son frecuentes:

Costa atlántica. Los pliegues de las cordilleras son perpendiculares al litoral y se producen multitud de entrantes y salientes, dando una costa recortada.



Costa pacífica. Las montañas son paralelas al litoral y la costa es rectilínea.



Las **variaciones del nivel del mar** influyen también, decisivamente, sobre la morfología general y la evolución, en el tiempo, del modelado costero. Se diferencian dos casos:

Costas de emersión.

Son aquellas en que el continente está, o ha estado recientemente sujeto a un movimiento de **elevación**. Son costas en la que con frecuencia existen acantilados, playas y otras formas situadas hoy fuera del alcance del mar, como consecuencia del levantamiento.

Costas de inmersión.

Son debidas a un **hundimiento** del continente y, sobre todo, a la reciente elevación del nivel del mar por la fusión de los hielos al término de la última glaciación. Tipos de costa de inmersión son las **rías**, que corresponden a valles fluviales inundados en su tramo bajo por el mar, formándose largos entrantes; es el caso de las rías gallegas. Otro caso de

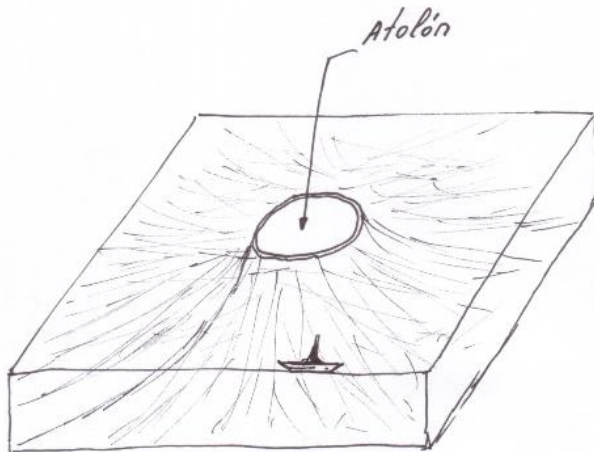
costas de inmersión son los **fiordos**, que corresponden al mismo proceso que en caso anterior, pero en valles glaciares.

En las **costas tropicales**, son frecuentes los **arrecifes coralinos** construidos por el crecimiento de colonias de corales, con esqueleto de carbonato cálcico; contribuyen también otros seres vivos como las algas calcáreas. Se distinguen tres tipos de arrecifes:

Arrecife costero, estrecho y a poca distancia de la costa.

Arrecife barrera, de gran anchura y alejado del litoral.

Atolones, arrecifes circulares que dejan en el centro una laguna.

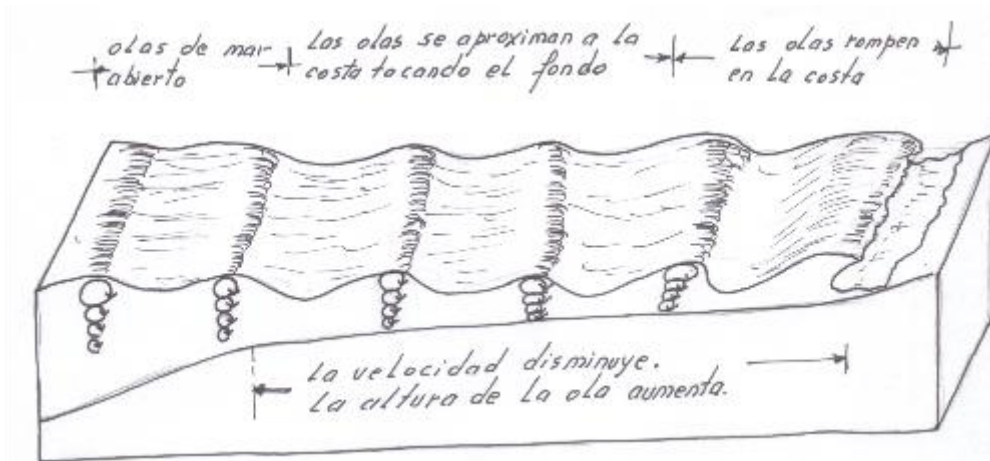


Agentes físicos que actúan sobre el litoral.

Olas:

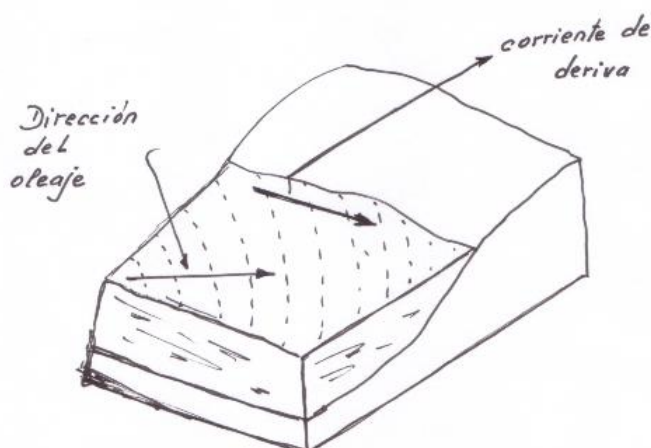
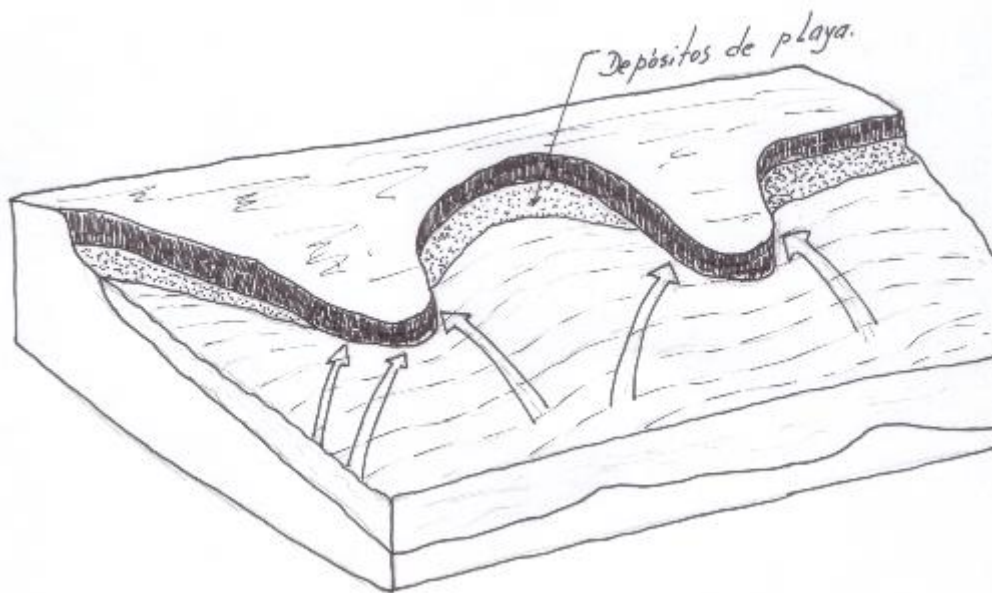
Las olas pueden generarse por muy diversos mecanismos: movimientos sísmicos, derrumbamientos, actividad volcánica submarina etc., pero normalmente resultan de la interacción entre el aire y el agua. Si bien no está del todo claro el mecanismo mediante el cual se forman, dicha acción se traduce en un movimiento ondulatorio de las partículas de agua más superficiales, en que cada una describe un círculo sin que exista prácticamente movimiento en la horizontal.

La parte del frente de olas que se aproxime a la costa, al estar sobre una zona menos profunda, tenderá a frenarse con respecto al resto.



El resultado de la acción de las olas es una fuerte presión sobre la costa por la acción que hemos dicho del movimiento del agua que un principio es oscilatorio, y se transforma sobre aquélla en un movimiento de traslación; a esta acción se añade el efecto de desgaste que producen las partículas sólidas arrancadas y proyectadas contra la costa por la fuerza de las olas.

Como en los cabos (entrantes del continente en el mar) los frentes de onda convergen, las olas rompen con mayor energía, al contrario que en las bahías (entrantes del mar en el continente) donde las olas divergen, y por tanto las olas en esos lugares rompen con menor energía.



Corrientes.

Vamos a distinguir entre las corrientes de deriva y las corrientes de marea.

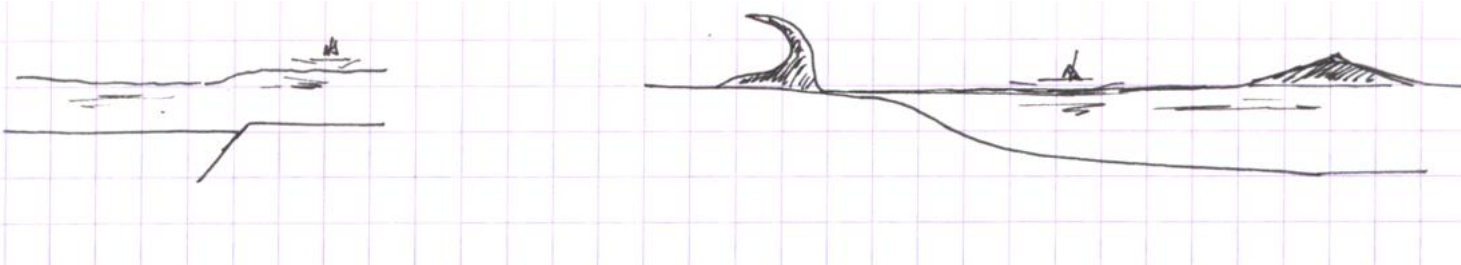
a).- Corrientes de deriva.

Las corrientes de deriva litoral resultan del efecto de las olas al chocar oblicuamente contra la playa y gracias a las cuales la arena se deposita paralelamente a la costa en una trayectoria en zig-zag.

b).- Corrientes de marea.

Son movimientos del agua del mar debidos a la atracción sobre la Tierra de otros cuerpos planetarios, sobre todo la Luna y el Sol, aunque este en mucha menor medida.

Al girar la Luna respecto a la Tierra, los movimientos debido a la marea van girando con ella, alternándose, en cada punto de la costa, los momentos de marea alta (pleamar) con los de marea baja (bajamar). Como por efecto de la rotación terrestre, cada punto de nuestro planeta se alinea con la Luna dos veces al día, habrá dos pleamares y dos bajamares diarias. Sin embargo, el período preciso de las mareas varía para cada zona costera, porque depende de la configuración del fondo, que va frenando la marea.



Tsunamis. (Olas de puerto en japonés), son olas que se forman a causa de una perturbación, no en la superficie, sino en el fondo marino; A su vez, esta perturbación puede haber sido originada por un deslizamiento submarino, pero más comúnmente por un terremoto. Los tsunamis se propagan en forma de enormes ondulaciones; son imperceptibles en mar abierto, pero catastróficos en la costa. La razón es que al principio, la ondulación puede ser pequeña, porque sólo refleja el cambio de relieve submarino (la mayoría de las fallas tienen pocos metros de salto), pero el volumen de agua puesto en movimiento es muy grande. Al llegar a fondos someros, la enorme cresta se acumula sobre la línea de costa llegando a crecer decenas de metros.

Morfología costera: Formas de erosión y de acumulación.

Formas de erosión.

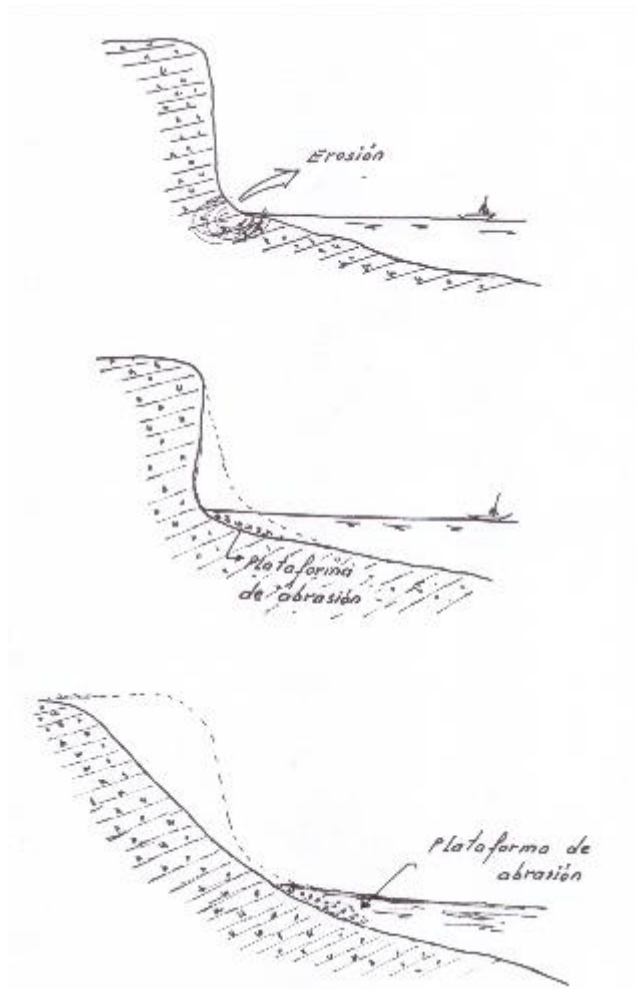
En las costas erosivas predominan los procesos erosivos sobre los de depósito. Son propias de zonas litorales afectadas por gran fuerza del oleaje; también se pueden dar en aquellas zonas que aunque no haya gran oleaje, pero tampoco hay un gran aporte de materiales como para formar un depósito.

Podemos distinguir dos formas de erosión: acantilados y plataformas costeras.

Acantilados.

Son escarpes más o menos pronunciados que terminan en el mar y que están sometidos a la acción del oleaje. Se pueden considerar como laderas, y que por tanto están sometidos a todos los procesos del modelado de ellas, añadiéndoles la acción del oleaje.

Las olas chocan contra el acantilado por la base, produciendo su erosión y originando un socavón o cavidad que cada vez será mayor, lo que provocará, con el tiempo, la caída de los materiales que se encuentran sobre él al pie del acantilado; de esta forma estos materiales serán a su vez erosionados y transportados mar adentro. Este proceso provoca el retroceso de los acantilados tierra adentro. La superficie ganada por el mar como resultado de este retroceso se denomina **plataforma de abrasión** y se encuentra entre los niveles de bajamar y pleamar.



La morfología de los acantilados no solo depende la acción mayor o menor del oleaje, sino también está controlada por:

- La estructura de los materiales:

La inclinación en dirección al mar, o en sentido contrario, o bien horizontal, influirá en que el acantilado se erosione más fácilmente (caso de inclinación hacia el mar) o con mayor dificultad (caso de inclinación horizontal o en sentido contrario al mar).

- La litología de los materiales:
En rocas duras resistentes a la erosión, el acantilado tardará más en erosionarse que en el caso de rocas blandas.
- La estructura general de la región.
La estructura general de la región influye en el tipo de costas. Por ejemplo, la diferencia en costas atlánticas y pacíficas vistas anteriormente.

Formas de acumulación.

En la zona litoral existen varios tipos de formas de acumulación, aunque las más características son las playas.

Las **playas** son zonas litorales de acumulación de sedimentos sueltos, sin consolidar. Puede formarse esta acumulación de sedimentos en las bahías, en donde la acción del oleaje se frena por ser los frentes de onda divergentes y por tanto se depositan allí gran cantidad de sedimentos formados por partículas sueltas.

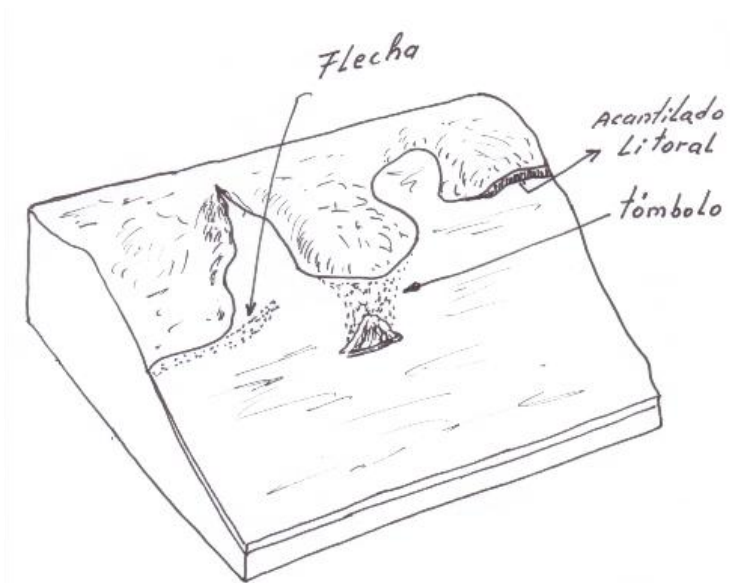
En otros casos, las partículas son movidas por las corrientes de deriva, hasta que se acumulen en algún lugar en donde el movimiento es menor.

Los materiales que se encuentran en las playas pueden tener una procedencia diversa, y de esta manera, distinguimos:

- Material aportado por los ríos.
En la desembocadura de los ríos se acumula una gran cantidad de sedimentos en la zona litoral; generalmente son de tamaño fino (limo y arcilla), pero en épocas de lluvias copiosas pueden arrastrar hasta las playas gran cantidad de materiales de diversos tamaños.
- Material erosionado en las zonas entrantes del continente al mar (cabos). Estos materiales se pueden depositar en las zonas cercanas donde haya por ejemplo bahías.
- Material procedente de las zonas situadas por debajo de las playas.
En épocas de grandes tormentas el material puede llegar hasta las playas y acumularse en ellas.
- Material procedente de otras playas.
Debido a las corrientes de deriva, material de una playa se puede transportar a otras zonas cercanas.

Otras zonas en donde se acumulan sedimentos en la zona litoral son:

- En los entrantes de la costa se produce la sedimentación de los materiales más finos, pudiendo dar lugar a la formación de lo que se denominan **flechas**.
- Si estas encierran la bahía se denominan **cordón litoral** dando origen a una **albufera**. Si enlaza con una isla se forma un **tómbolo**.



- En las zonas de desembocadura de los ríos, al mezclarse el agua dulce y salada se produce la floculación de las arcillas, formando depósitos que acaban colmatando la bahía. Son **llanuras de fango**, con gran cantidad de materia orgánica. Con el paso del tiempo se instala aquí una vegetación salobre que retiene los sedimentos, transformando la llanura en una **marisma**.

Dunas costeras:

Son acumulaciones de arena que se encuentran entre la playa y el continente. Se forman por acción del viento sobre las arenas de la playa.

En su formación, intervienen varios factores:

- Que haya una zona amplia entre la pleamar y bajamar, de tal manera que en la marea baja puedan secarse las arenas y así más fácilmente ser arrastradas hacia tierra firme.
- Que soplen vientos fuertes y dominantes desde mar a tierra.
- Que la playa esté formada por materiales tamaño arena.
- Que en la zona continental próxima haya vegetación para que ésta pueda servir de freno a la arena y pueda acumularse formando la duna.
- Si en la zona costera con dunas hay vegetación, ésta favorece el que las dunas se estabilicen.

Riesgos asociados al sistema litoral: tempestades, destrucción de playas y retroceso de acantilados.

En la actualidad, las zonas costeras presentan una enorme aglomeración humana. Por desgracia las personas tratan la línea de costa como si fuera una plataforma estable, sobre la cual pueden edificarse estructuras con total seguridad.

Esta actitud significa un riesgo tanto para las personas como para la línea de costa. En realidad, la línea de costa es un lugar dinámico que puede cambiar rápidamente en respuesta a las fuerzas naturales, por ejemplo, tormentas excepcionales son

capaces de erosionar las playas y los acantilados a velocidades que exceden con mucho la media a largo plazo.

Las **tormentas** tienden a transportar hacia el mar los sedimentos acumulados en las playas.

Como consecuencia de los fuertes vientos se produce un **oleaje** que en general tiene un gran efecto erosivo sobre los materiales sueltos de las **playas** y sobre los acantilados.

Además, la corriente de retorno del oleaje introduce hacia el interior del mar los materiales erosionados.

Como consecuencia de este fuerte oleaje en las tormentas, se inducen corrientes que transportan y remodelan sedimentos en la costa. Esta redistribución de sedimentos puede originar el relleno de zonas portuarias o erosionar playas, y así afectar a las construcciones y a la industria turística.

Aunque los mismos procesos producen cambios a lo largo de todas las costas, no todas responden de la misma manera. Hay una serie de factores locales que influyen en la acción que ejercen las tormentas sobre las costas. Como ejemplos podemos poner:- Proximidad a la costa de ríos cargados de sedimentos.

- Topografía y composición del terreno.

- Vientos y condiciones meteorológicas predominantes.

Las **costas con acantilados** están sujetas a procesos desestabilizadores intensos :

- Los principales agentes son las mareas y el oleaje.

- Las mareas intensas producen infiltraciones de agua en las laderas y favorecen la meteorización por efecto del agua salada.

- El oleaje produce, además de los mismos efectos de las mareas, el efecto del golpe del agua contra la base del acantilado.

- Cuando tiene lugar una tormenta, se intensifican los efectos anteriormente citados.

Impactos derivados de la acción antrópica.

Algunos de los riesgos de la dinámica costera están muy relacionados con las actividades humanas; algunos ejemplos son:

- El aumento de los aportes al litoral debido al incremento de la erosión de los continentes.

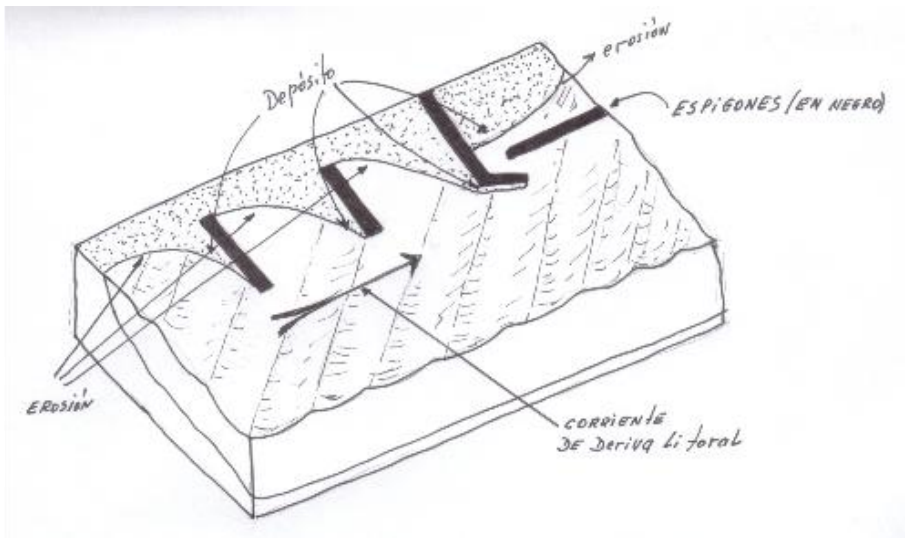
- La reducción del aporte de sedimentos por los ríos a causa de la construcción de embalses, obras de regulación de los cauces, extracción de áridos y repoblación forestal.

- Las alteraciones en la dinámica de las playas debido a la extracción de arena.

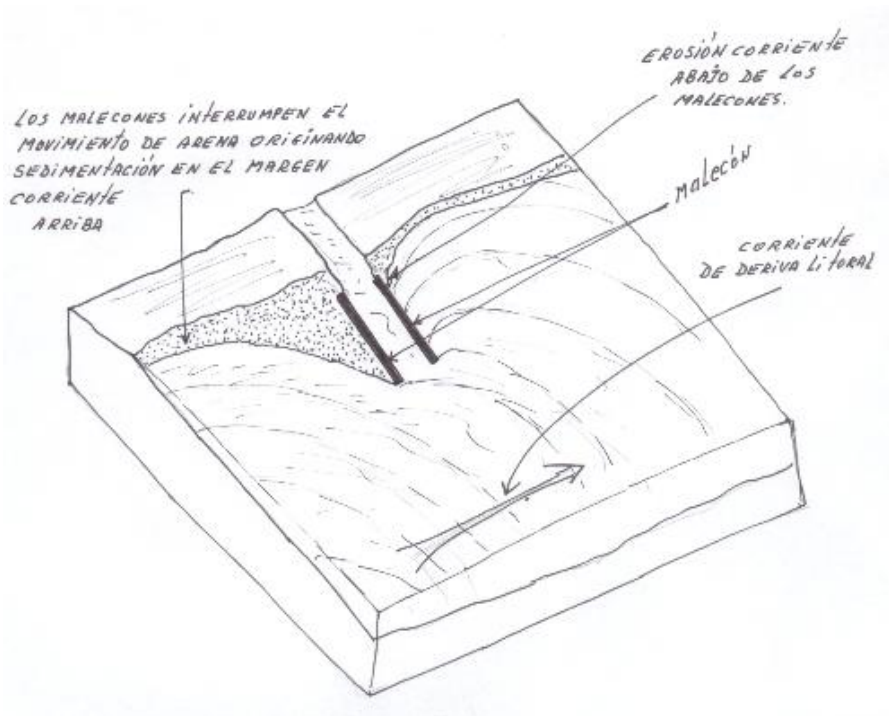
Para regenerar de arena algunas playas se construyen **espigones**, que pueden ser perpendiculares, oblicuos o paralelos a la costa, y cuya acción está relacionada con las corrientes de deriva.

Los espigones actúan de la misma manera que si la línea de costa sufriese un cambio de orientación, y por tanto las corrientes de deriva se adaptan a la forma que presente esta línea, originándose playas por acumulación de sedimentos.

Sin embargo, la construcción de espigones produce un desequilibrio en la dinámica litoral, pudiendo ocasionar una disminución mayor o menor según los casos de la superficie de las playas colindantes en el sentido de las corrientes de deriva.



Los **malecones** son unas construcciones a manera de barreras que suelen construirse en parejas en la entrada de ríos al mar o en puertos. Al obligar a que el agua circule por una zona estrecha, el flujo y reflujo de agua causados por la subida y bajada de las mareas mantienen la arena en movimiento e impiden la sedimentación en el cauce o puerto. Sin embargo, interrumpen el movimiento de arena realizado por la corriente de deriva litoral, y como consecuencia se produce erosión de la playa corriente abajo del lugar donde se encuentra la estructura.



3.5. El suelo. Composición. Procesos edáficos. Perfil de un suelo. Importancia de los suelos. Degradación y contaminación de los suelos. Erosión de los suelos: desertización.

Concepto y características generales.

El término suelo se ha manejado y se sigue manejando desde dos disciplinas diferentes: En mecánica de suelos e ingeniería se denomina suelo a todos aquellos materiales no consolidados que pueden tener que soportar determinadas estructuras técnicas (carreteras, canales, puentes, urbanizaciones...) o bien han de servir para proveer materiales de construcción.

Un segundo enfoque es el que se da en edafología (ciencia que estudia los suelos) en la que se considera el suelo como un "ente natural", resultado de la acción de cinco factores: relieve, organismos, clima, roca madre y tiempo.

Composición de los suelos:

Los constituyentes de los suelos son sustancias sólidas, líquidas y gaseosas:

1.- Sustancias sólidas:

1. a.- Inorgánicas:

- Silicatos: tanto residuales o no completamente meteorizados (micas, feldspatos, cuarzo) como productos de neoformación, resultantes de la descomposición de silicatos de la roca madre (Ej., caolinita, montmorillonita...).
- Óxidos e hidróxidos de Fe y Al.
- Otras sustancias inorgánicas: carbonatos (calcita, dolomita); sulfatos (yeso) y algunas sales como cloruros y nitratos. Su presencia y abundancia están condicionadas por el tipo de suelo y su grado de evolución.

1. b.- Orgánicas: seres vivos que habitan en el suelo, sus deyecciones, restos y productos metabólicos en distintos grados de descomposición. Estas sustancias en combinación con los minerales arcillosos del suelo forman unos compuestos denominados complejos organo-minerales.

2.- Sustancias líquidas:

Disolución de sales de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , ión bicarbonato, ión nitrato y otras sustancias, algunas de ellas orgánicas. El agua tiene gran importancia como vehículo de transporte en el suelo.

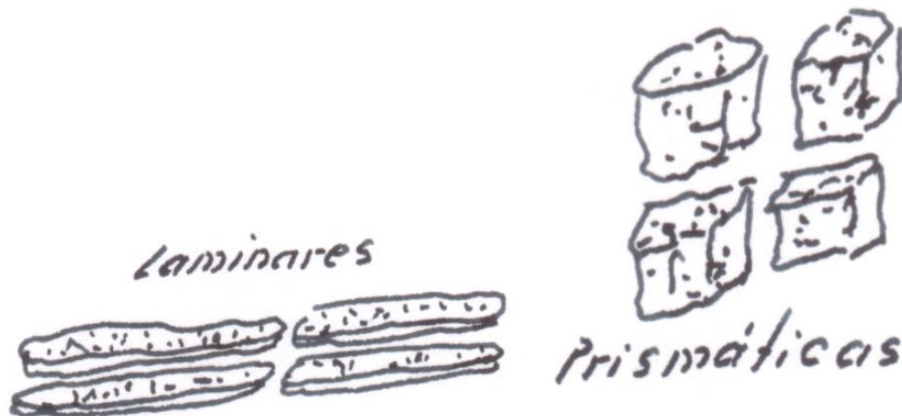
3.- Sustancias gaseosas.

Gases atmosféricos fundamentalmente.

Los constituyentes sólidos del suelo no quedan sueltos y dispersos, sino que quedan mas o menos aglutinados por el humus y los complejos organo-minerales, constituyendo los llamados agregados, que no son sino porciones en que el suelo tiende a separarse.

Al aspecto que al suelo le confieren la forma, tamaño y distribución espacial de sus agregados se le denomina **estructura** del mismo, pudiendo distinguirse

estructuras laminares, prismáticas, en bloques, etc...



La estructura influye de modo importante en la permeabilidad del suelo al aire y al agua, ya que condiciona la fisuración y macroporosidad del mismo.

Se denomina **textura** a la distribución o diferentes proporciones en que están presentes los distintos tamaños de las partículas sólidas de un suelo.

De forma general, según la fracción de tamaño de materiales que predominen, se puede hablar de suelos pedregosos, arenosos, arcillosos, llamándose equilibrados cuando no predomina ninguna de estas fracciones sobre las demás.

La textura es importante en un suelo porque determina la capacidad de retención del agua y sus propiedades en cuanto a la permeabilidad del mismo. Por ejemplo:

Suelos arcillosos..... Impermeables

Suelos arenosos..... Permeables. Tienen muy poca capacidad

de retener el agua en el suelo.

Factores y procesos que intervienen en la formación y evolución de los suelos.

En **Edafología** (ciencia que estudia los suelos) el suelo se puede definir como un "ente natural", resultado de la acción de cinco factores: relieve, organismos, clima, roca madre y tiempo.

Relieve.

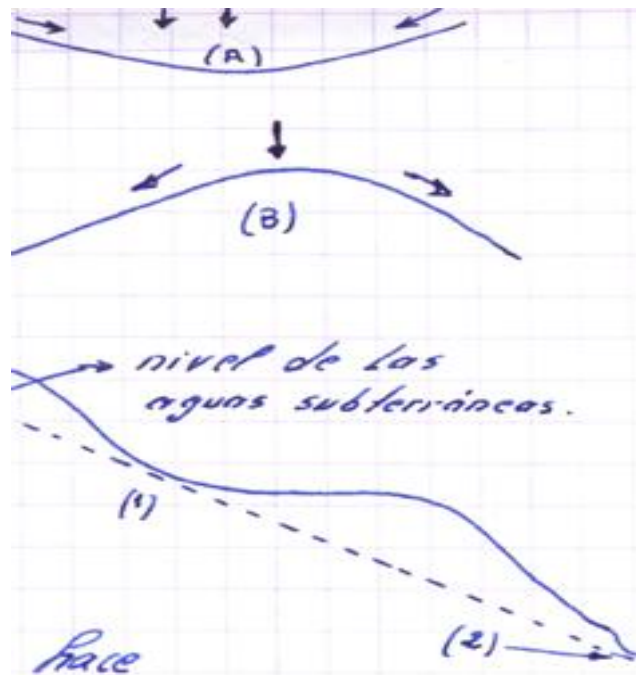
Según la topografía, los agentes teorizantes atacarán más o menos a las rocas.

Ej., el agua se acumula en A), atacando a la roca. El agua en B) está poco tiempo en contacto con la roca.

El relieve hace que el nivel de las aguas subterráneas tenga mayor ataque en los puntos 1) y 2) que en los demás.

La orientación de un relieve determinado, hace variar por completo la formación de un suelo. En orientación norte (umbría) hay más humedad y por tanto más materia

orgánica. En orientación sur (solana), hay más sol, menos humedad y menos materia orgánica.



Organismos.

La vegetación protege al suelo de la erosión. La fauna contribuye a la elaboración de la materia orgánica del suelo. Ej., lombrices de tierra que mezclan materia orgánica e inorgánica.

Los restos de seres vivos quedan en el suelo en donde la materia orgánica es transformada por acción de los microorganismos y da lugar al humus, que puede formar con la arcilla complejos humus-arcilla, de gran importancia en la estructura del suelo.

El ser humano puede actuar como degradador del suelo mediante cultivos, abonados, tala de bosques, et. Aunque también puede actuar como favorecedor.

Clima.

Los factores climáticos son de enorme importancia en la formación de un suelo. Vamos a destacar la pluviosidad y la temperatura.

La pluviosidad influye en la vegetación, y por tanto en la materia orgánica del suelo, también influye en la meteorización química de las rocas.

A medida que aumenta la temperatura, aumenta la capacidad de reacción del agua y por tanto el desarrollo de un suelo.

Roca madre.

Su importancia, aún siendo grande, no lo es tanto como se creía hace tiempo. Rocas iguales, en condiciones climáticas diferentes, pueden dar suelos distintos; mientras que rocas distintas, en ambientes similares, pueden dar suelos parecidos.

Tiempo.

El tiempo influye como factor formador, ya que habrá una serie de procesos que podrán actuar más. A partir de un suelo bruto constituido esencialmente por fragmentos gruesos y finos de roca madre, podemos obtener al cabo de cierto tiempo, un suelo clímax (suelos que han alcanzado el equilibrio con el medio ambiente).

En el proceso formador de un suelo pueden dominar unos factores sobre otros, obteniéndose suelos distintos por predominio de unos u otros factores. Así, tenemos una litosecuencia (suelos distintos por influencia exclusiva de la roca madre); climosecuencia (suelos distintos por influencia exclusiva del clima); toposecuencia (suelos distintos por influencia exclusiva de la topografía); cronosecuencia (suelos distintos por influencia exclusiva del tiempo) etc.

Perfil del suelo: principales horizontes.

A causa de los procesos de formación de un suelo se pueden originar, en sentido vertical, una serie de capas que se denominan **horizontes**.

Los horizontes se nombran con las primeras letras del abecedario en mayúsculas (horizontes A, B, C); incluso dentro de cada horizonte se pueden diferenciar partes que se nombran con subíndices de las letras que expresan los horizontes Ej., A₀, A₁ etc.,

El conjunto de los horizontes constituyen el **perfil de un suelo**.

Descripción de los horizontes del perfil de un suelo.

Horizonte A. Es el más superficial. Dentro de él podemos distinguir:

Horizonte A₀.

Formado por los restos orgánicos vegetales (hojas, tallos, et.) que aún no están lo suficientemente alterados.

Forman la capa superior del suelo de los bosques.

Horizonte A₁.

Es la zona generalmente más rica en humus, y está formado por arcilla y arena teñidas de oscuro.

El movimiento descendente del agua de lluvia hace que sean arrastradas sustancias con aluminio y hierro hacia zona mas bajas.

A este horizonte se le conoce como " eluvial " o de lavado.

Horizonte A₂.

Por arrastre de arcilla, óxidos de hierro y de aluminio hacia el horizonte inferior, este nivel queda desprovisto de ellos, lo que motiva coloraciones más claras (tonos gris-claro cuando está seco).

Horizonte B.

En este horizonte falta casi totalmente el humus y abundan las sustancias minerales que han sido arrastradas por el agua desde la zona A. En el caso de que sean hidróxidos de hierro, presentarán vivos colores rojos.

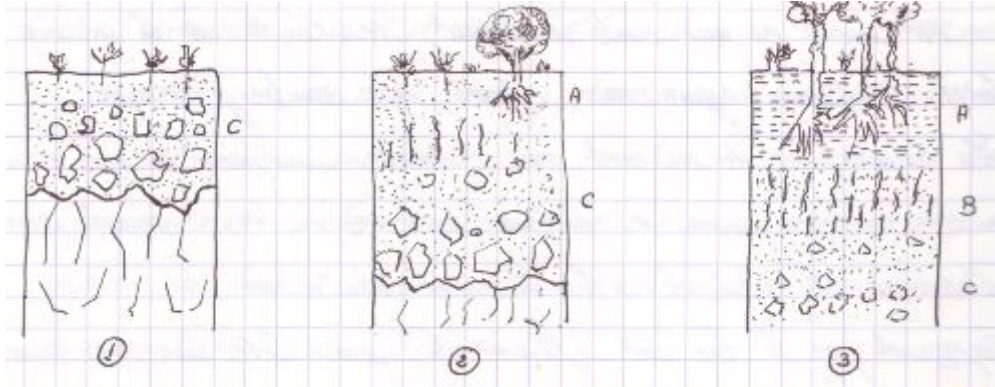
En climas poco lluviosos, el Ca CO₃ no es arrastrado a zonas mas bajas y se concentra aquí, dando lugar a la formación de costras de CaCO₃.

A este horizonte se le conoce como "iluvial" o de acumulación.

Horizonte C.

El paso del horizonte B al C es gradual, pues comienzan a aparecer cantos de la roca madre meteorizada, mezclados con la arena y arcilla formadas.

Progresivamente, al descender se va encontrando la roca madre meteorizada con menos arcilla, hasta llegar a la roca madre sin meteorizar.



(Etapas sucesivas en el desarrollo de los horizontes edáficos A, B, C)

Degradación y contaminación de los suelos.

El suelo puede sufrir un proceso de degradación natural por el cual se pierde su capacidad para sostener una vegetación, encaminándose hacia lo que se llama **desertización**.

Cuando estos factores naturales que pueden producir una disminución o pérdida de la producción biológica del suelo van acompañados por acciones humanas, que potencian esta degradación, entonces hablamos de **desertificación**.

Para ver lo que ocurre cuando se produce la desertificación, vamos a poner algunos ejemplos:

- En aquellos lugares en donde se reduce o elimina la vegetación autóctona, puede ocurrir lo siguiente:

El humus se mineraliza y se pierde la estructura del suelo.

La lluvia cae directamente sobre el suelo, descomponiendo el horizonte superior, y el sol produce una corteza delgada que impide que se infiltre más agua, con la consiguiente disminución del nivel de las aguas subterráneas.

El agua que no se infiltra queda en superficie y puede destruir la estructura del horizonte superior, en donde se encuentran la mayoría de los nutrientes para las plantas.

Asimismo al no haber o haber poca vegetación, el suelo será más vulnerable a la acción del viento, degradándose todavía más.

- En terrenos de cultivo, y en épocas de barbecho o de rastrojo final, con una falta de cobertura vegetal, el suelo está expuesto a una erosión a causa del agua y del viento. La acción de la lluvia sobre el suelo desnudo forma charcos que se resecan con el sol, reduciendo la infiltración y aumentando todavía más la escorrentía superficial.
- En tierras cultivadas de regadío, la degradación puede ser debida a la salinización y alcalinización, debido a una lixiviación inadecuada de las sales contenidas en el suelo o agregadas al agua de riego.

- En las zonas de pasto, el sobrepastoreo produce la degradación de los suelos, dejándolos desnudos de vegetación, con las consecuencias que todo esto acarrea como hemos visto anteriormente.
- En las áreas boscosas, los incendios y las talas abusivas también contribuyen a esta degradación de los suelos, al estar estos expuestos con mayor facilidad a la erosión por el agua y el viento, sobre todo en terrenos con pendientes acusadas.
- La contaminación de los suelos por metales: Este es el caso de los suelos cercanos al Coto de Doñana, que fueron contaminados por sustancias metálicas procedentes de una balsa de acumulación de residuos de las minas de Aznalcóllar (Sevilla) y que por rotura de la presa contaminó una gran extensión de terreno.
- La lluvia ácida también da lugar a un p^H en las aguas contaminando los suelos al ser esta acidez nociva para las plantas.
- La contaminación del suelo por el uso abusivo de productos químicos (herbicidas, insecticidas, abonos, fungicidas).
- El abuso en abonos minerales puede llevar a una mineralización del suelo (suelos mineralizados son aquellos que han perdido su materia orgánica).

En **resumen**, como vemos existen unos procesos de degradación de los suelos. Estos procesos de degradación y contaminación, de acuerdo con la FAO los podemos clasificar en:

- Erosión hídrica y eólica.
- Salinización, alcalinización por lixiviación de sales.
- Degradación química por toxicidad de elementos incorporados.
- Degradación biológica, principalmente por mineralización del humus.

Erosión de los suelos: la desertización.

Introducción.

La erosión es un fenómeno natural que forma parte de la dinámica de la superficie de la corteza terrestre. La erosión se convierte en un problema cuando aparece con intensidades excepcionales. Como consecuencia de ello puede dar lugar a una pérdida de suelo por arrastre de sus componentes, lo cual conlleva una disminución o pérdida de la vegetación. Además, la modificación de la cubierta vegetal repercute en los procesos formadores del suelo (edafogénesis), que quedan disminuidos o interrumpidos.

La erosión trae como consecuencia no solo la pérdida de suelo vegetal, sino que también puede tener otras graves consecuencias económicas y sociales: podemos poner como ejemplos:

- La acumulación de sedimentos en lagos y embalses, con la consiguiente menor acumulación de agua en ellos.
- Agravamiento de las inundaciones al no haber cobertura vegetal que retenga el suelo y frene en parte la velocidad de las aguas.
- Formación de arenales y graveras en vegas fértiles etc.

Las formas de erosión predominantes son la erosión hídrica y la erosión eólica

La erosión hídrica :

Es debida al agua que, al golpear y disgregar los suelos desprovistos de vegetación, arrastra partículas y componentes del suelo. La erosión hídrica es con mucho la más importante en España.

Las formas más comunes en las que se manifiesta la erosión hídrica son las siguientes:

- **Erosión laminar o en mantos.**

Ocurre cuando el agua que desciende por una pendiente remueve delgadas y uniformes capas del suelo. No resulta fácil de detectar, pero año tras año se van perdiendo sucesivas láminas superficiales del suelo.

- **Erosión en regueros o surcos.**

El agua no discurre uniformemente, sino que se concentra en pequeñas corrientes que abren surcos o regueros. Este fenómeno se puede observar fácilmente en los taludes de las carreteras.

- **Erosión en cárcavas y barrancos.**

La confluencia de regueros abre profundas incisiones en el terreno llamadas cárcavas, que van creciendo hasta transformarse en barrancos. Es frecuente en terrenos arcillosos o margosos, con fuerte pendiente y escasa vegetación.

- **Coladas de barro.**

En suelos con gran capacidad de absorción de agua, tras un período de lluvias prolongadas, se pueden producir deslizamientos de barro por efecto de la gravedad.

La erosión eólica:

Es menos importante que la de origen hídrico, aunque en determinados climas adquiere una intensidad apreciable: la acción del viento en las regiones áridas y semiáridas adquiere caracteres de gravedad en numerosas ocasiones, siendo el responsable de alteraciones en la superficie del terreno y de acciones erosivas importantes.

Sin embargo, los efectos del viento sobre la superficie del suelo se manifiestan con mayor o menor intensidad en la práctica totalidad de las zonas cultivadas del mundo.

En España la erosión por el viento (erosión eólica) es escasa a excepción de algunas zonas de las dos Castillas y de regiones puntuales con excesivo pastoreo, sin coberturas vegetales o sometidas al pisoteo continuo del ganado o de vehículos y maquinaria agrícola.

Factores que influyen en la erosión.

El ritmo de la erosión varia mucho de unas regiones a otras, dependiendo de diversos factores naturales y de la influencia humana.

1.-Factores naturales.

Climatología.

En parte influyen la distribución de las temperaturas a lo largo del año y la intensidad y régimen de los vientos dominantes, pero el factor climatológico fundamental son las precipitaciones. No sólo la precipitación total en el conjunto del año, sino, sobre todo, su distribución temporal, siendo mucho más dañinas las lluvias

torrenciales y esporádicas, como ocurre en el caso extremo de la llamada "gota fría".

Topografía.

El aumento de la pendiente facilita la erosión, de modo que en las pendientes con inclinación superior al 15%, los suelos corren el riesgo de ser eliminados.

Naturaleza del terreno.

Los suelos se erosionan mas o menos dependiendo de su textura, estructura, composición mineralógica, permeabilidad y contenido en materia orgánica.

Cubierta vegetal.

El tapiz vegetal amortigua el impacto de las gotas de lluvia y frena el deslizamiento del agua por las laderas, de modo que la densidad y la naturaleza de la vegetación que cubre un determinado territorio son determinantes a la hora de evaluar el riesgo de erosión.

2.-Influencia humana.

Deforestación.

La erosión del suelo aumenta cuando se roturan los bosques y la vegetación natural para la implantación de cultivos.

Sobrepastoreo.

El exceso de ganado en una región termina agotando las praderas naturales, compactando el suelo, dejando al descubierto la tierra y acelerando la erosión.

Prácticas agrícolas.

La erosión se incrementa notablemente al arar y remover el terreno para introducir monocultivos, muy productivos a corto plazo, pero inestables y con menor desarrollo radicular que la vegetación natural.

Minería a cielo abierto y obras publicas.

Los desmontes que se llevan a cabo para abrir canteras, minas a cielo abierto, autopistas y otras obras de ingeniería, conllevan un aumento de la erosión.

Expansión de las áreas urbanas.

Los primitivos núcleos de población se asentaban en general en zonas próximas a valles y tierras fértiles. El aumento actual de la población urbana, las necesidades de vivienda, las segundas residencias y la red de transporte han hecho que gran parte de los mejores suelos que rodeaban los iniciales asentamientos humanos hayan desaparecido para siempre.

Erosividad de un suelo.

La erosividad nos indica la capacidad erosiva del agente geológico predominante, (lluvia, viento, hielo..).

Erosionabilidad de un suelo.

Nos expresa la mayor o menor capacidad del suelo para ser movilizado.

La Erosionabilidad depende de:

- El tipo de suelo: de su estructura, y por tanto de los agregados que formen el humus y la arcilla. Cuanto más materia orgánica más posibilidad de agregados y como consecuencia una menor facilidad de erosión.
 - De la pendiente: a mayor pendiente, mayor posibilidad de erosión.
 - De la cubierta vegetal: A mayor cubierta vegetal, el suelo estará más retenido y las aguas de escorrentía tendrán menos velocidad, pudiéndose en parte infiltrar en el suelo.
- En resumen, a mayor cubierta vegetal, menos erosión.

Ecuación universal de pérdida de un suelo.

$$A = R \times k \times L \times S \times C \times P$$

A = Pérdida media anual de suelo en t/ha/año

R = Factor de erosividad de la lluvia ácida

K = Factor de Erosionabilidad del suelo

L = Factor de longitud de pendiente o distancia en metros desde la zona donde se inicia la escorrentía hasta donde aparecen los depósitos sedimentarios.

S = Factor de inclinación de la pendiente en tanto por ciento.

C = Factor de ordenación de cultivos elaborado como un cociente entre las pérdidas de suelo de un cultivo determinado respecto a las que se originarían en ese terreno en barbecho.

P = Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo (arado siguiendo las curvas de nivel, cultivo en bancales o paratas, etc.)

Con todos estos cálculos podemos determinar **solamente** la erosión laminar o en surcos, y además para una precipitación concreta y no para todo el año, y en una pequeña extensión de terreno.

Medidas correctoras de la erosión del suelo: forestales, agrícolas e hídricas.

La prevención de la erosión y el intento de conservar o recuperar los suelos, implica diversas actuaciones posibles en función de las variables concretas de una región determinada:

- Pendiente.
- Climatología.
- Naturaleza del terreno
- Tipo de ocupación del territorio.

Casi todos los métodos para controlar la erosión consisten en mantener el suelo cubierto por vegetación, pudiéndose diferenciar tres grandes tipos de medidas: unas de carácter forestal, otras de carácter agrícola y otras de carácter hídrico.

Medidas correctoras:

1. - Medidas forestales:

Repoblaciones forestales.

Ocupan un lugar destacado entre las acciones para luchar contra la desertificación. Nadie cuestiona la necesidad de repoblaciones forestales, sin embargo, los expertos no siempre se ponen de acuerdo a la hora de elegir las especies ideales para la repoblación.

En España, el Plan Nacional de Restauración Hidrológica Forestal para el Control de la Erosión, elaborado por el ICONA (Instituto para la Conservación de la Naturaleza) en 1991, preveía reconstruir, en las próximas 3 o 4 décadas, la cubierta vegetal de unos 2 millones de hectáreas.

Desde diferentes ámbitos ecologistas, universitarios y ciudadanos se pide que las repoblaciones sigan criterios conservadores y no de producción, de modo que se pase de las antiguas repoblaciones con especies no autóctonas, como eucaliptos

y algunas especies de pinos, a la recuperación del bosque autóctono (encina, robles, hayas).

Sin embargo, otros expertos opinan que dada la precariedad de los suelos que se intentan recuperar, la elección recae necesariamente en diversas especies de pinos, por su crecimiento relativamente rápido.

A menudo, cuando las repoblaciones se llevan a cabo en laderas de fuerte pendiente, se realiza previamente un aterrazamiento del terreno técnica criticada por la remoción que supone para el terreno.

Mejora del matorral.

Entre las medidas propuestas en el proyecto LUCDEME (Lucha Contra la Desertificación en el Mediterráneo Español) se incluye en el estudio de la vegetación arbustiva y herbácea local, con el fin de favorecer su desarrollo, especialmente en aquellos lugares donde las condiciones ambientales no permiten el crecimiento de los bosques.

Tratamientos selvícolas.

Otra de las medidas propuestas en el proyecto LUCDEME, consiste en diversas labores para el mantenimiento en buen estado de las masas forestales. Entre ellas destacan las podas, la limpieza del exceso de matorral (que puede favorecer los incendios), y la lucha contra las plagas.

2.- Medidas agrícolas:

Aterrazamiento de laderas.

Si el terreno cultivado presenta una fuerte pendiente, un método muy eficaz y utilizado desde hace mucho tiempo en todo el mundo para frenar la erosión, es el establecimiento de terrazas o bancales, sujetos generalmente por paredes de piedra, y dispuestos a distintos niveles según la pendiente y el tipo de cultivo. En España se utiliza sobre todo para el cultivo de árboles frutales como el cerezo, el olivo o el almendro.

Labranza conservacionista.

En los últimos años se han desarrollado diversos métodos para el cultivo con una labranza mínima o sin labranza. Por ejemplo, en la agricultura sin arado, máquinas especiales inyectan semillas, fertilizantes y herbicidas en hendiduras hechas en el suelo sin arar. Este método disminuye la erosión, la pérdida de agua y reduce los costes en combustibles y labores, mientras que la producción agrícola es igual o superior a la labranza ordinaria. Pero tiene el inconveniente de que crecen más malezas y requiere un mayor uso de herbicidas.

Labranza en contornos, en franjas o en pasillos.

Al arar y sembrar una ladera, los surcos deben hacerse en contornos o líneas horizontales, es decir, siguiendo las curvas de nivel. Así cada surco actuará como un pequeño dique disminuyendo la velocidad a la que discurre el agua de lluvia.

Un método alternativo es el cultivo en franjas, en el que alternan, siguiendo las curvas de nivel, bandas paralelas con diferentes cultivos; por ejemplo bandas sucesivas de cereales y leguminosas.

Otro método con buenos resultados es el cultivo en pasillos, en el que se cultivan corredores horizontales dispuestos entre bandas intercaladas de vegetación arbustiva o arbórea.

Restablecer la fertilidad del suelo.

Para recuperar los nutrientes del suelo perdidos por la erosión, el lavado o la siega, se puede recurrir a tres tipos de fertilizantes orgánicos: el estiércol, el abono verde (vegetación fresca y verde en crecimiento que es introducida en el suelo al arar) y el compost (rico fertilizante natural que se obtiene apilando capas de desechos vegetales o residuos orgánicos).

3.- Medidas hídricas:

Obras de ingeniería hidráulica.

En los países como España, donde el mayor agente desertizador es la erosión hídrica, es necesario controlar la circulación del agua, amortiguando mediante pequeñas presas y obras de hidrotecnia la fuerza erosiva de las avenidas, recogiendo los arrastres y regulando los recursos hídricos.

Construcción de drenajes.

En terrenos con tendencia al encharcamiento y la salinización se pueden abrir zanjas, rellenas de piedras en su parte inferior para dar salida al exceso de agua sin perjudicar los cultivos.

COMPLEMENTO

CARTA EUROPEA DEL SUELO

I

El suelo es uno de los más preciados activos de la humanidad. Permite a las plantas, a los animales y al hombre vivir en la superficie de la tierra.

II

El suelo es un recurso limitado, fácilmente destruible.

III

La sociedad industrial utiliza la tierra para la agricultura, así como para la industria y para otros fines. La política de ordenación del territorio debe concebirse en función de las propiedades del suelo y de las necesidades de hoy y de mañana.

IV

Agricultores y silvicultores deben aplicar métodos que preserven la calidad del suelo.

V

El suelo debe ser protegido contra la erosión

VI

El suelo debe ser protegido contra la contaminación.

VII

El desarrollo urbano debe ser planificado de manera que se cause el menor daño posible a las áreas limítrofes.

VIII

En los proyectos de ingeniería civil, deben ser evaluados los efectos sobre las tierras limítrofes, de manera que se puedan tener en cuenta en los costes las medidas de protección adecuadas.

IX

Es indispensable un inventario de los recursos del suelo.

X

Se requieren nuevas investigaciones y colaboración interdisciplinar para asegurar el correcto uso y la conservación del suelo.

XI

La conservación debe ser enseñada a todos los niveles y ser mantenida en sumo grado en la mente del público.

XII

Los gobiernos y todas aquellas personas con autoridad deben impulsar medidas específicas para planificar y administrar los recursos del suelo.