

## TEMA 9.- GEOMORFOLOGÍA APLICADA

TEMA 9.- GEOMORFOLOGÍA APLICADA.....	1
9.1.- INTRODUCCIÓN.....	2
9.2.- FACTORES DESENCADENTANTES DE LOS PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS.....	5
9.3.- PROCESOS MORFOGENÉTICOS: EROSIÓN, TRANSPORTE Y SEDIMENTACIÓN.....	6
9.3.1.- LA EROSIÓN.....	6
9.3.2.- EL TRANSPORTE.....	7
9.3.3.- LA SEDIMENTACIÓN.....	10
9.4.- SISTEMA FLUVIAL.....	11
9.4.1.- EL TRABAJO GEOLÓGICO DE LOS RÍOS.....	16
9.4.2.- FORMAS DE RELIEVE FLUVIAL.....	20
9.4.3.- EVOLUCIÓN.....	34
9.4.4.- ABANICOS ALUVIALES.....	38
9.5.- SISTEMAS DE VERTIENTES.....	40
9.5.1.- PROCESOS DE ARROYADA DIFUSA.....	40
9.5.2.- PROCESOS GRAVITACIONALES.....	44
9.6.- SISTEMA GLACIAR.....	57
9.6.1.- EL HIELO GLACIAR Y EL AGUA.....	57
9.6.2.- TIPOS DE GLACIARES.....	60
9.6.3.- DINÁMICA GLACIAR.....	62
9.7.- SISTEMA PERIGLACIAR.....	68
9.7.1.- ESTRUCTURA DEL SUELO PERIGLACIAR.....	68
9.7.2.- PROCESOS PERIGLACIARES.....	70
9.7.3.- DEPÓSITOS Y FORMAS.....	71
9.8.- SISTEMA LITORAL.....	78
9.8.1.- DINÁMICA LITORAL DE LAS AGUAS.....	79
9.8.2.- MORFOLOGÍA COSTERA.....	81
9.9.- SISTEMA KÁRSTICO.....	92
9.9.1.- KARSTIFICACIÓN.....	92
9.9.2.- FORMAS DE RELIEVE.....	93
9.10.- SISTEMA EÓLICO.....	103
9.10.1.- EROSIÓN EÓLICA Y FORMAS EROSIVAS.....	103
9.10.2.- TRANSPORTE EÓLICO.....	108
9.10.2.- SEDIMENTACIÓN EÓLICA.....	109
9.11.- CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA.....	114

## 9.1.- INTRODUCCIÓN

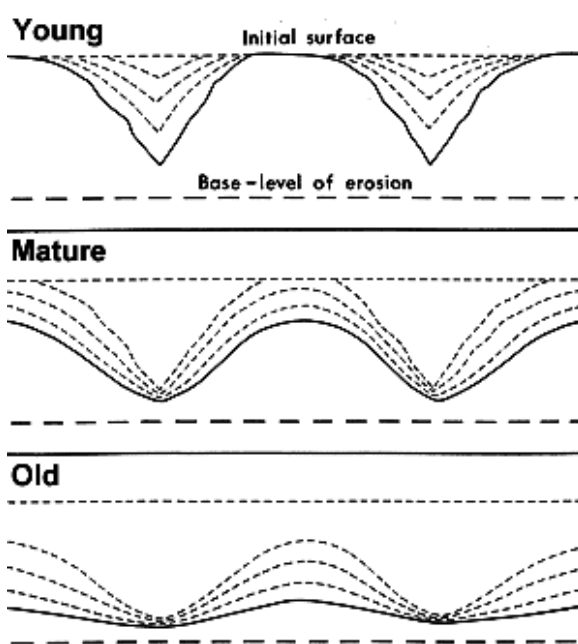
La **geomorfología** es la rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que las generan.

El término geomorfología proviene del griego: γῆ, *ge*, es decir, geos (Tierra), μορφή o morfeé (forma) y λόγος, logos (estudio, conocimiento).

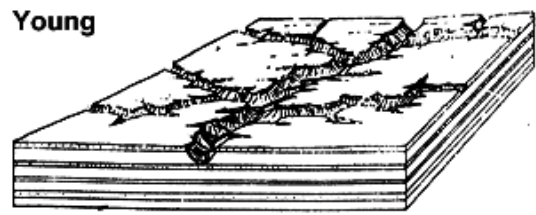
La geomorfología está muy relacionada tanto con la geografía física como con la geografía humana (en lo que se refiere a los riesgos naturales y la relación del hombre con el medio).

En un comienzo inseparable de la geografía, la geomorfología toma forma a finales del siglo XIX de manos del geógrafo americano William Morris Davis, En su época la idea predominante sobre la creación del relieve se explicaba a través de procesos catastróficos. **Davis**, dentro del marco del uniformismo, desarrolló una teoría de la creación y destrucción del paisaje, a la que llamó **ciclo geográfico o ciclo de denudación**. Explica que las formas de la superficie terrestre es el resultado de un balance dinámico —que evoluciona en el tiempo— entre procesos constructivos y destructivos.

El ciclo de denudación tiene su inicio en el momento en que la corteza continental es rápidamente levantada por fuerzas del interior de la tierra. Con anterioridad a este proceso, el fragmento de corteza levantado debía ser un mar o una plataforma continental poco profundos. Una vez levantado por encima del nivel del mar, los agentes fluviales inician su ataque. En el periodo de **juventud**, lo afluentes excavan las tierras elevadas, produciendo gran cantidad de relieves erosionales, con valles poco definidos, divisorias profundas, pendientes condicionadas por la tectónica y en general gran energía potencial. Cuando el paisaje adquiere un aspecto accidentado, montañoso, con formas de moldeado más nítidas, se considera que ha entrado en el periodo de **madurez**. Con el paso del tiempo, los relieves disminuyen de altura, y las pendientes se hacen más suaves. Progresivamente las laderas se cubren de un horizonte de alteración (regolito) y los relieves adquieren un aspecto ondulado. Al final, en la etapa de **senectud**, el relieve



disminuye hasta un punto en el que sólo queda una superficie rebajada casi plana, denominada penillanura.



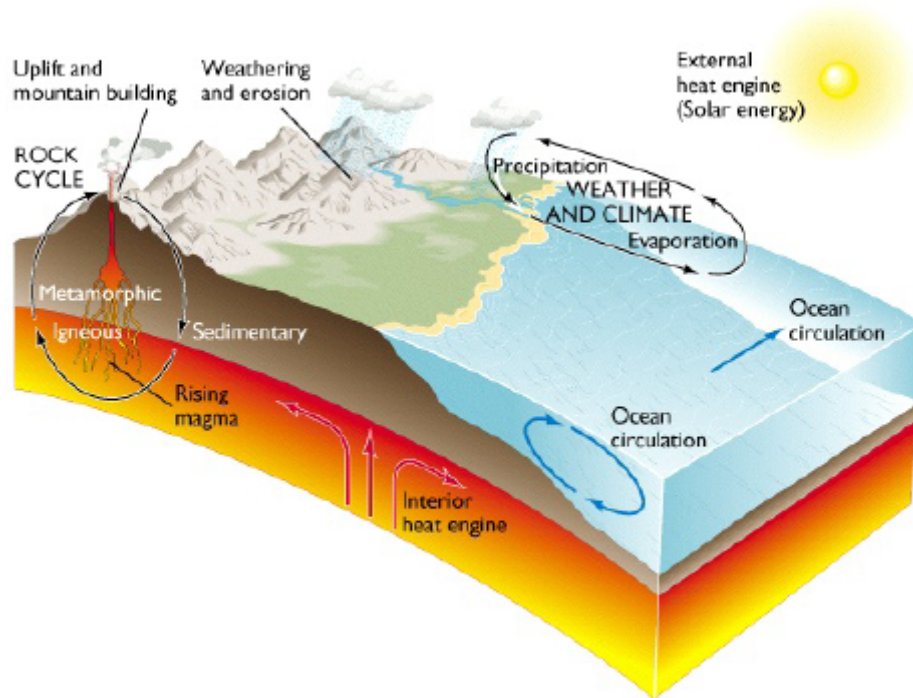
Si la penillanura, por alguna causa geológica, sufriera una nueva elevación, el ciclo comenzaría de nuevo (rejuvenecimiento del relieve).



Otra aportación fundamental a la geomorfología fue la de la **escuela europea**, francesa, y es la denominada **Geomorfología climática**: estudia la influencia del clima en el desarrollo del relieve. La presión atmosférica y la temperatura interactúan con el clima y son los responsables de los vientos, las escorrentías y del continuo modelado del ciclo geográfico. La diversidad de climas representa distintas de velocidades en la evolución del ciclo, como es el caso de los climas áridos con ritmo evolutivo más lentos y de los climas muy húmedos con ritmos evolutivos más altos, como también el clima representa el tipo de modelado predominante; glacial, eólico, fluvial, etc. Este conocimiento se sintetiza en lo que se denomina «**dominios morfoclimáticos**»: *templados, intertropicales, áridos, subáridos, glaciares o árticos y periglaciares o subárticos*. Por otra parte la litología permite igualmente caracterizar los rasgos geomorfológicos de los diferentes tipos de rocas: relieves volcánicos, relieves graníticos, relieves cársticos, etc.).

Desde la última mitad del siglo XX, se ha enfocado particularmente en encontrar relaciones entre procesos y formas. Este enfoque, conocido como **geomorfología dinámica**, se ha visto beneficiado enormemente con el avance tecnológico paralelo y reducción de costos de equipos de medición e incremento exponencial de la capacidad de procesamiento de los ordenadores. La geomorfología dinámica trata de procesos elementales de erosión, de los agentes de transporte, del ciclo geográfico y de la naturaleza de la erosión. Aunque el modelo de Davis no es aceptado en su concepción general, su esquema conceptual sigue siendo una buena base para entender el comportamiento y evolución del paisaje. El equilibrio entre los ascensos tectónicos y la reducción del relieve por meteorización y erosión se plantea en la actualidad de acuerdo con un modelo

denominado de EQUILIBRIO DINÁMICO. Este modelo considera que el relieve representa un compromiso entre los agentes endógenos (generadores de relieve) y los exógenos (desmanteladores). El paisaje evidencia una adaptación dinámica a la estructura de las rocas, al clima, al relieve local y la altura. El equilibrio dinámico se manifiesta a través de una tendencia en el tiempo. Sin embargo, algunos episodios endógenos (por ejemplo terremotos y erupciones) y exógenos (por ejemplo precipitaciones intensas o incendios forestales), son capaces de proporcionar significativas variaciones del relieve, condicionando la evolución del paisaje.



El éxito de la **capacidad predictiva** de algunos modelos y potenciales aplicaciones en los campos de planificación urbana, ingeniería civil, estrategias militares, desarrollo costero, entre otros, da inicio en las últimas décadas a la **geomorfología aplicada**, muy destacada en la geografía francesa, en especial gracias al instituto de Geografía Aplicada, fundado por Jean Tricart. Esta aplicación se centra básicamente en la interacción entre acciones humanas y las formas de la tierra, en particular enfocándose en el manejo de **riesgos** causados por cambios en la superficie de la tierra (naturales o inducidos) conocidos como georriesgos. Estudios de este tipo incluyen movimientos en masa, erosión de playas, mitigación de inundaciones, tsunamis entre otros.

## **9.2.- FACTORES DESENCADENTANTES DE LOS PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS**

El relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúa como equilibradora de los desniveles; es decir, hace que las zonas elevadas tiendan a caer y colmar las zonas deprimidas. Estos procesos hacen que el relieve transite por diferentes etapas. Los **factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos** pueden categorizarse en cuatro grandes grupos:

- **Factores geográficos:** entre los que se consideran los factores abióticos de origen exógeno, tales como el relieve, el suelo, el clima (presión, temperatura y vientos) y los cuerpos de agua (agua superficial, con la acción de la escorrentía, la acción fluvial y marina, o los hielos en el modelado glacial).
- **Factores bióticos:** El efecto de los factores bióticos sobre el relieve suele oponerse a los procesos del modelado, especialmente considerando la vegetación, sin embargo, existen no pocos animales que colaboran con el proceso erosivo
- **Factores geológicos:** tales como la tectónica, el diastrofismo, la orogénesis y el vulcanismo, son procesos constructivos y de origen endógeno que se oponen al modelado e interrumpen el ciclo geográfico.
- **Factores antrópicos:** La acción del hombre sobre el relieve es muy variable, dependiendo de la actividad que se realice, en este sentido es muy difícil generalizar, pudiendo incidir a favor o en contra de los procesos erosivos.

Aunque los distintos factores que influyen en la superficie terrestre se ven incluidos en la dinámica del ciclo geográfico, sólo los factores geográficos contribuyen siempre en dirección al desarrollo del ciclo y a su fin último; la penillanura. Mientras que el resto de los factores (biológicos, geológicos y antrópicos) interrumpen o perturban el normal desarrollo del ciclo.

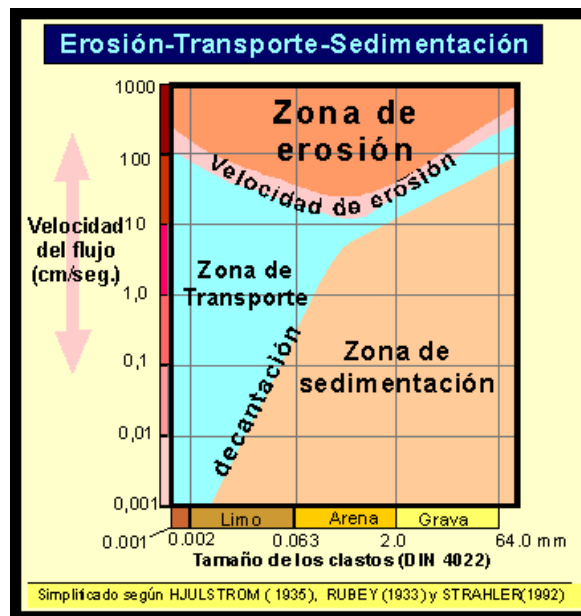
Se consideran los siguientes dominios morfogenéticos:

- Edáficos o de formación de suelos, incluyendo la meteorización, que se han estudiado en un tema anterior
- Fluviales
- Glaciares
- Periglaciares
- Litorales
- kársticos
- eólicos
- Gravitacionales

### 9.3.- PROCESOS MORFOGENÉTICOS: EROSIÓN, TRANSPORTE Y SEDIMENTACIÓN

De la interacción de los factores anteriormente citados, resultan los procesos morfo genéticos sucesivos, a saber, la erosión, el transporte y la sedimentación.

La existencia de erosión, transporte o sedimentación en un momento dado para un agente de transporte depende de la velocidad del flujo y del tamaño del clasto, según se presenta en el diagrama de Hjulström.



#### 9.3.1.- LA EROSIÓN

La erosión es el proceso de arranque de materiales por los procesos geológicos. Es el mecanismo geológico de denudación de los continentes. Se ve favorecida por la meteorización, alteración y disgregación previa de las rocas.

Se mide en masa de material rocoso arrancada por año por unidad de superficie (por ejemplo, en  $T/Km^2$  año), o como una disminución de nivel por año (por ejemplo, en cm/año).

**El tipo dominante e intensidad de la erosión están condicionados por distintos tipos de factores:**

- Climáticos:
  - o Relacionados con el ciclo hidrológico, comenzando por el impacto sobre el suelo de las gotas de lluvia, y continuando por la fuerza de arrastre del agua de escorrentía en vertientes o en los canales de la red de drenaje
  - o Relacionados con las variaciones en la temperatura

- Relacionados con el impacto o arrastre del viento
- Topográficos:
  - Orientación del terreno, que controla la eficacia de los agentes climáticos
  - Inclinação y longitud de la pendiente, que condiciona el carácter de la escorrentía
- Factores propios del suelo:
  - Textura y granulometría, estratificación, porosidad, permeabilidad, humedad, composición de las partículas minerales, tipo de cobertura vegetal...
  - Grado de meteorización
- Actividad antrópica

### 9.3.2.- EL TRANSPORTE

El transporte es la movilización de los fragmentos de roca meteorizados se realiza mediante un agente de transporte, un fluido.

La energía de transporte varía de unos sistemas a otros, y de unas condiciones morfoclimáticas a otras, reflejándose en el material transportado y en las estructuras impresas en los sedimentos. Así el estudio de los caracteres texturales y estructurales de los sedimentos nos informa sobre el agente de transporte (dirección, distancia recorrida, duración del proceso...).

**El detrito a transportar está sujeto a tres tipos de fuerzas:**

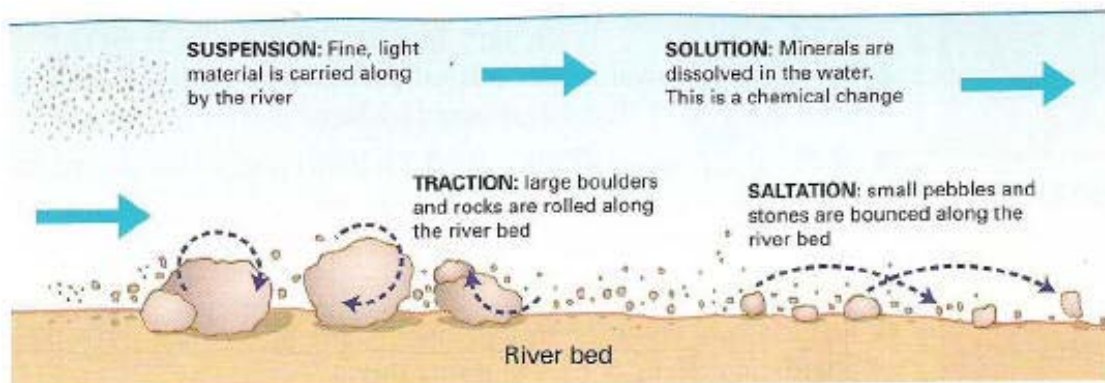
- Fuerzas de empuje: fuerza ejercida por el flujo sobre el clasto, y por tanto, de sentido contrario a las de resistencia del sólido al flujo. Se ven incrementadas por el choque entre partículas
- Fuerzas de sustentación: tienden a elevar el detrito y mantenerlo en suspensión por efecto de la turbulencia. Cuanto mayor sea el clasto, mayor tendrá que ser la fuerza de sustentación.
- Fuerzas de fijación, definidas por el peso, rozamiento por deslizamiento, rozamiento por rodadura, rozamiento por pivotación y por las fuerzas de atracción entre las partículas.

Para que se inicie el movimiento se tiene que cumplir:

Fuerza de empuje > fuerza de sustentación > fuerza de fijación

En función de las relaciones existentes entre estas tres fuerzas, **el transporte de los materiales puede realizarse de distintas formas** (las tres primeras con el clasto en contacto con el lecho - tracción):

- **Deslizamiento.** Se produce cuando al aumentar la velocidad, las fuerzas de sustentación equilibran a las de fijación, y el detrito comienza a desplazarse deslizándose por el lecho en la dirección del flujo. Es el tipo de transporte que menor energía requiere.
- **Rodadura.** Al aumentar la velocidad, también aumenta la fuerza de empuje y sustentación. En el momento en que las fuerzas de empuje igualan a las de fijación el clasto girará, desplazándose rodando.
- **Saltación.** Si sigue aumentando la velocidad, las fuerzas de sustentación se hacen mayores que las de fijación, y el clasto se incorpora a la corriente y viaja en suspensión inmerso en el fluido, hasta que al ascender entra en una zona de menor turbulencia, en la que las fuerzas de sustentación disminuyen, predominando las de fijación, y el clasto cae. El avance se produce a modo de saltos.
- **Suspensión.** Cuando las fuerzas de sustentación son suficientemente grandes como para mantenerse superiores a las de fijación, el detrito viaja suspendido en el seno del fluido de forma continua
- **Transporte químico.** Este es independiente de los anteriores. Cuando el fluido tiene capacidad de disolución (agua) y pasa a través de materiales solubles, se produce el transporte de los iones procedentes de la roca, en disolución. Esta forma de transporte no está condicionada por la cinética del agente transportador.



**Efecto del transporte.** Los efectos del transporte se reflejan tanto en el cauce por donde se transporta el material, como en el propio clasto desplazado.

En el caso del cauce, se producirá una erosión sobre el fondo que puede ser física o química.

En el clasto transportado se producirá un desgaste caracterizado por dos factores: intensidad del impacto sobre el cauce y características intrínsecas del grano (naturaleza, composición,



estructura, etc.). El proceso puede ser físico (choque, trituración y picoteado del grano) o químico (disolución, hidratación o hidrólisis).

SOBRE EL FONDO (EROSIÓN)	FÍSICOS	HIELO	Efecto del fluido sobre el cauce.	Efecto del clasto sobre el cauce.
			ABRASIÓN POR DETRACCIÓN.	ABRASIÓN POR DETERSIÓN: Arañazos sobre el cauce, arranque de piedras y escamas.
		AGUA/HIELO	ABRASIÓN POR DEFLACIÓN.	ABRASIÓN POR CORROSIÓN: choque de clastos contra otros que los pone en movimiento. Arranque de otros clastos que se incorporan al material transportado.
	QUÍMICOS	CORROSIÓN: disolución, hidrólisis, hidratación.		
SOBRE EL MATERIAL TRANSPORTADO (DESGASTE).	FÍSICO	Clasto contra suelo	Clasto contra clasto.	
		ATRICCIÓN: fricción del clasto contra el suelo cuando viaje por deslizamiento o rólido.	ATRICCIÓN: fricción entre clastos cuando viajan por suspensión.	
			CHOQUE: entre clastos de tamaños equivalentes. Se desprenden pequeños fragmentos.	TRITURACIÓN: entre clastos de distinto tamaño, tanto en movimiento o uno quieto.
		DESPULIDO: golpeteo de clastos pequeños sobre uno mayor.		
QUÍMICOS	DISOLUCIÓN, HIDRATACIÓN, etc.: estos procesos son mayores cuanto menor sea el grano. Suelen quedar superficies pulidas o capas alteradas cuando la disolución ha sido muy intensa.			

El transporte de materiales puede hacerse a través de los ríos (transporte fluvial), por corrientes marinas y de turbidez, mediante oleaje, transporte glaciar, eólico y gravitacional (deslizamiento, caída de bloques o desplazamientos).

### **9.3.3.- LA SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación es la acumulación de los materiales transportados por un agente geológico. La deposición se produce en unas condiciones ambientales de las que queda una impronta en el registro sedimentario. Para poder reconstruir el ambiente deposicional se ha recurrido al concepto de facies sedimentaria, que es una definición de una secuencia completa de sedimentos de cada tipo de ambiente, diferenciándose de otras facies por la composición, la edad y las características estructurales y texturales.

La sedimentación puede producirse por dos procesos:

- decantación: caída o precipitación de los clastos al fondo. Ocurre cuando la corriente que los transportaba se detiene, o cuando las partículas se han formado en el mismo fluido que permanece en reposo, como los esqueletos calcáreos de los organismos microscópicos del plancton.
- acreción cinética: se produce cuando los clastos que están siendo transportados tropiezan con un obstáculo que los detiene y se acumulan unos sobre otros.

En cualquier caso la acumulación se produce en zonas deprimidas, por pérdida de energía y efecto de la gravedad.

Al estudiar los depósitos sedimentarios pueden observarse una serie de caracteres resultado de sus condiciones de formación:

- Procedencia de los materiales: mediante el estudio de la composición de los clastos puede determinarse el área de origen, o al menos el tipo de roca erosionada, así como las condiciones existentes durante la erosión
- Agente de transporte. Cada agente determina unas estructuras sedimentarias características. Por ejemplo, el transporte por medio acuoso o eólico selecciona los tamaños, mientras que en el transporte por hielo no se produce selección, dado que éste engloba fragmentos de muy distintos tamaños.
- Duración del transporte, que determina el grado de redondeamiento de los clastos, que depende así mismo de la naturaleza del material y del tamaño del clasto.
- Factores ambientales del lugar de la sedimentación, particularmente importantes en el caso de sedimentación en cuencas endorreicas por precipitación química de materiales disueltos.

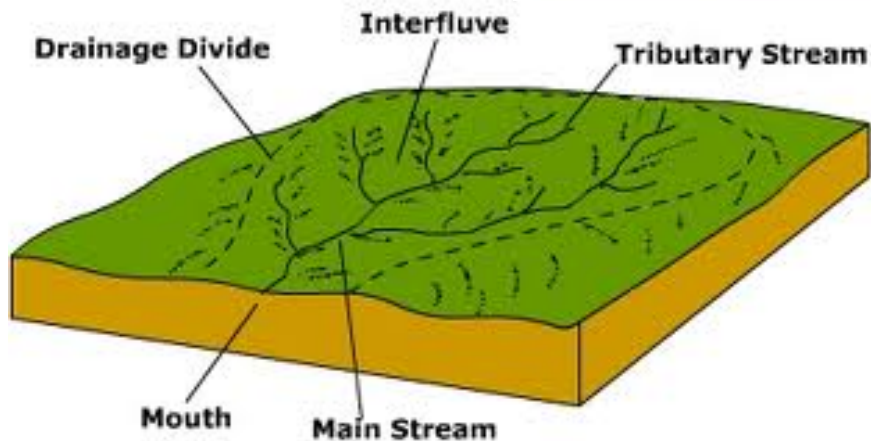
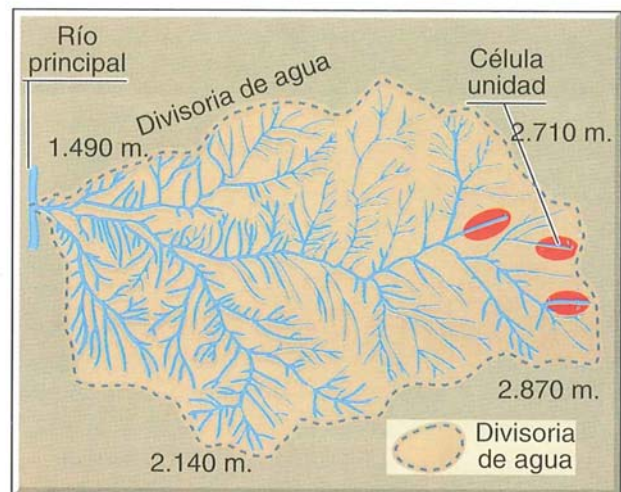
La sedimentación puede ocurrir después de un recorrido realizado por un agente de transporte, en cuyo caso se habla de sedimentación alóctona, o puede ocurrir en el mismo sitio en que se formó el material, en cuyo caso se habla de sedimentación autóctona.

## 9.4.- SISTEMA FLUVIAL

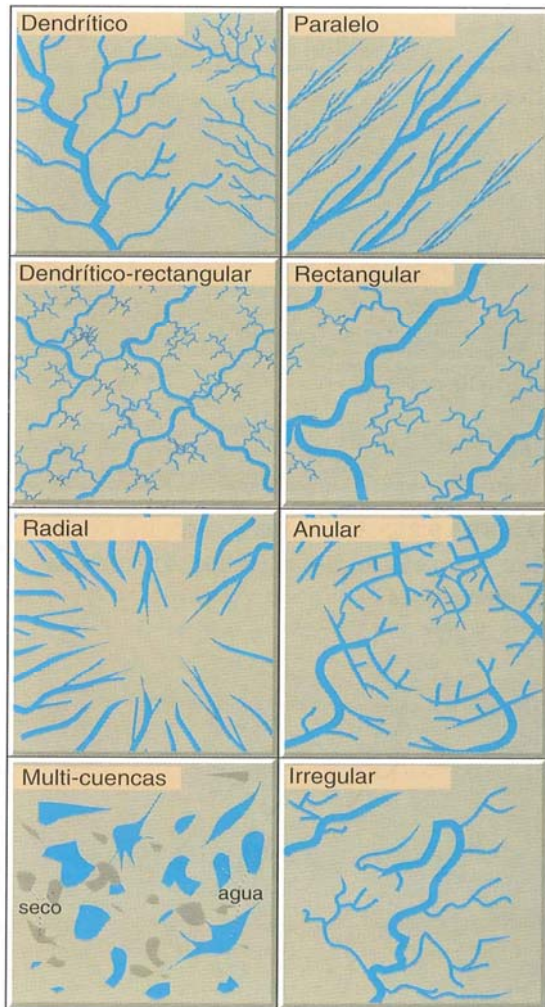
El agua es el agente geológico más importante en la erosión, transporte y depósito de sedimentos. Casi cualquier paisaje terrestre muestra los resultados del trabajo geológico de las corrientes de agua. Los relieves modelados por la acción de las aguas corrientes se denominan relieves fluviales, para distinguirlos de los originados por los otros agentes modeladores (hielo, olas, viento). En el momento actual, los relieves y procesos fluviales son los elementos dominantes en las superficies continentales.

El flujo superficial, hipodérmico y subterráneo tributan, con el tiempo, a un torrente o curso fluvial, una forma de escorrentía más rápida y que concentra una mayor cantidad de agua. Definimos **corriente** como una estrecha y larga depresión o canal por donde el agua se desplaza pendiente abajo bajo la influencia de la gravedad. Las corrientes fluviales abarcan desde un pequeño arroyo a un gran río.

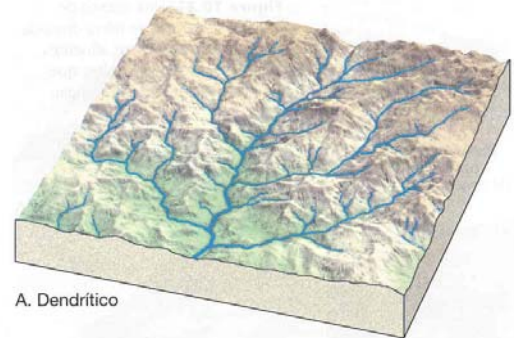
El conjunto de cursos de agua que circulan vertiente abajo desde el punto donde empezaron a fluir sobre la superficie terrestre se conoce como sistema de drenaje. Este se compone de una red ramificada de canales fluviales que recogen el agua superficial y de las vertientes que tributan en ellos. Todo el sistema está delimitado por la divisoria de aguas que contornea la **cuenca hidrográfica**.



La **red de drenaje** puede tener distintas **morfologías**, dependiendo de distintos factores como la litología, la pendiente, el tipo de suelo, el clima....



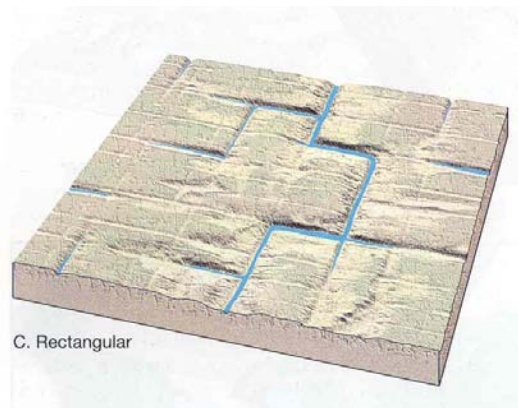
- Dendrítica, con arroyos organizados “jerárquicamente”. Su disposición puede compararse a las ramas de un árbol. Se da en zonas con estratos horizontales, en arcosas, granitos alterados...



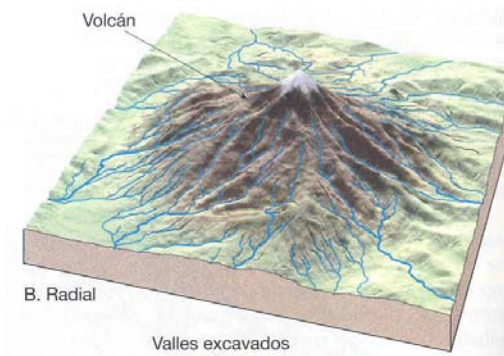
- Paralela: los arroyos y la corriente principal circulan paralelos. Es típica en cuarcitas plegadas

- Dendrítico-rectangular, con una dirección de flujo predominante, correspondiente a las corrientes principales, y los arroyos perpendiculares. Se da en zonas de esquistos plegados.

- Rectangular: los arroyos confluyen a la corriente principal perpendicularmente. Típica en granitos fracturados.

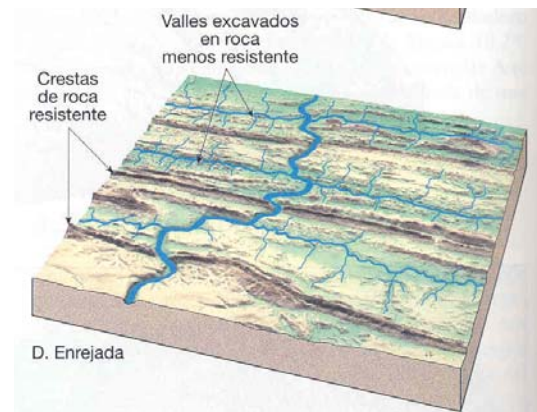


- Anular, típica en domos y diapiros fuertemente erosionados

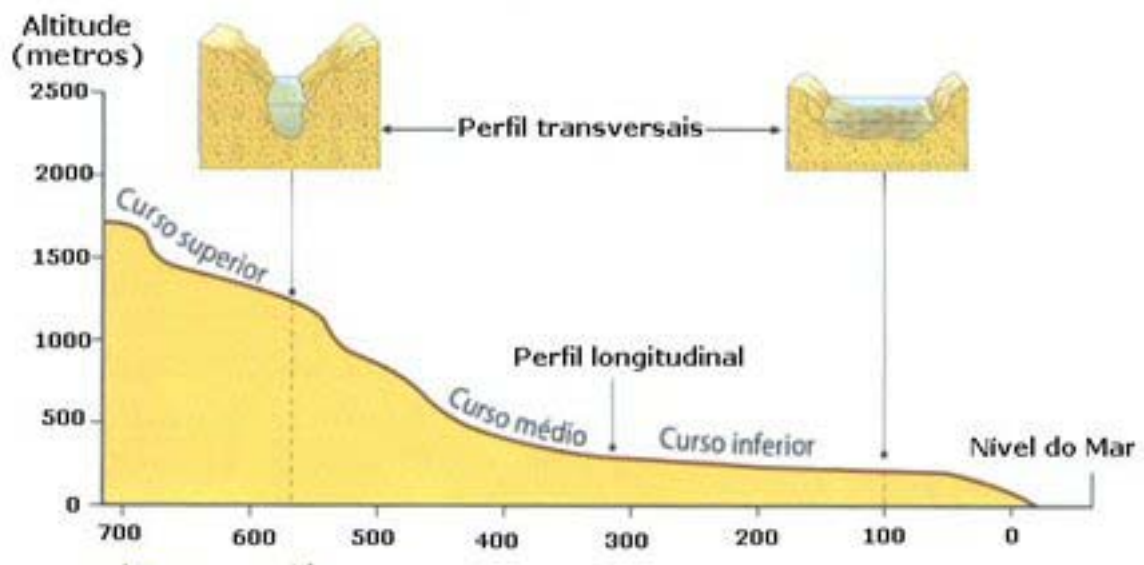


- Radial: los ríos circulan en todas direcciones a partir de un punto elevado, por ejemplo, un cono volcánico.
- Multicuencas, en zonas de depósitos de Hill
- Irregular, sin morfología bien definida.

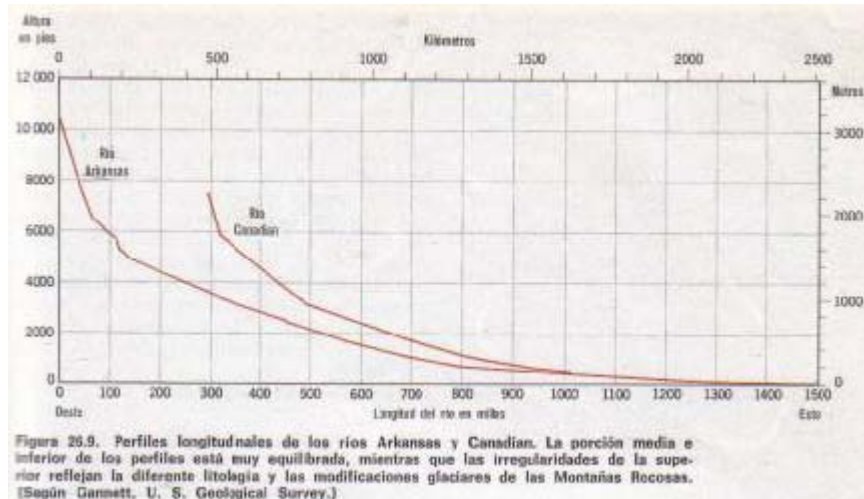
- Enrejada: las corrientes principales, que siguen la vertiente principal forman ángulos casi rectos con las secundarias, que se adaptan a zonas más fácilmente erosionables. Esto sucede en llanuras costeras recientemente emergidas, o en zonas con pliegues en que los ríos se encajan a favor de las rocas menos resistentes.



El perfil longitudinal de un río o corriente comienza en la zona montañosa de fuerte pendiente, fluyendo a través de una llanura suave hasta el mar. La cabecera es la zona más alta, cerca de las montañas. La desembocadura es el punto en que el río afluye al mar, a un lago, o a un río mayor.



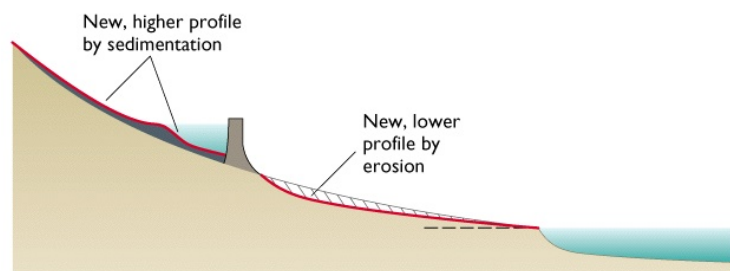
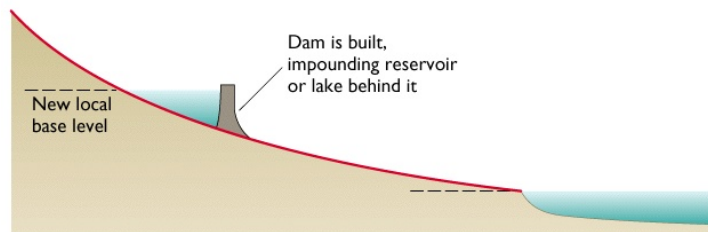
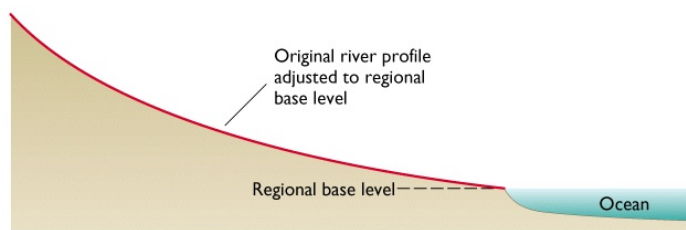
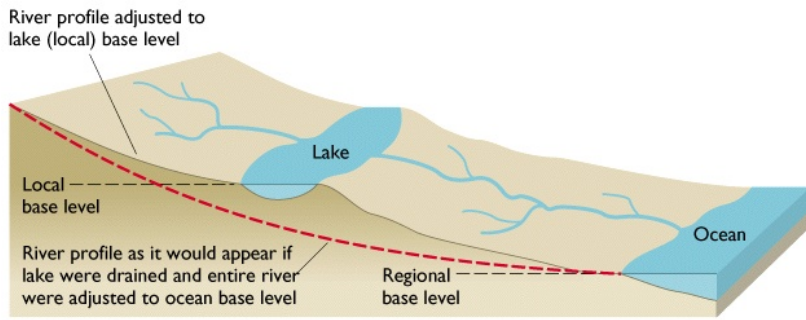
Un río completamente desarrollado ha experimentado un largo periodo de ajuste de su geometría, de forma que puede descargar no sólo el exceso de agua, sino también la carga sólida transportada. Un sistema hidráulico puro podría funcionar sin una pendiente, debido a que el exceso de agua acumulada puede generar su propia vertiente de descenso y es capaz de fluir en una superficie horizontal. El transporte de la carga del lecho exige la existencia de una pendiente, y es en respuesta a esta necesidad que el cauce del río ha ido ajustando su pendiente y ha alcanzado un estado constante de operación, a lo largo de su evolución. En esta condición, se dice que el río ha alcanzado su **estado de equilibrio**.

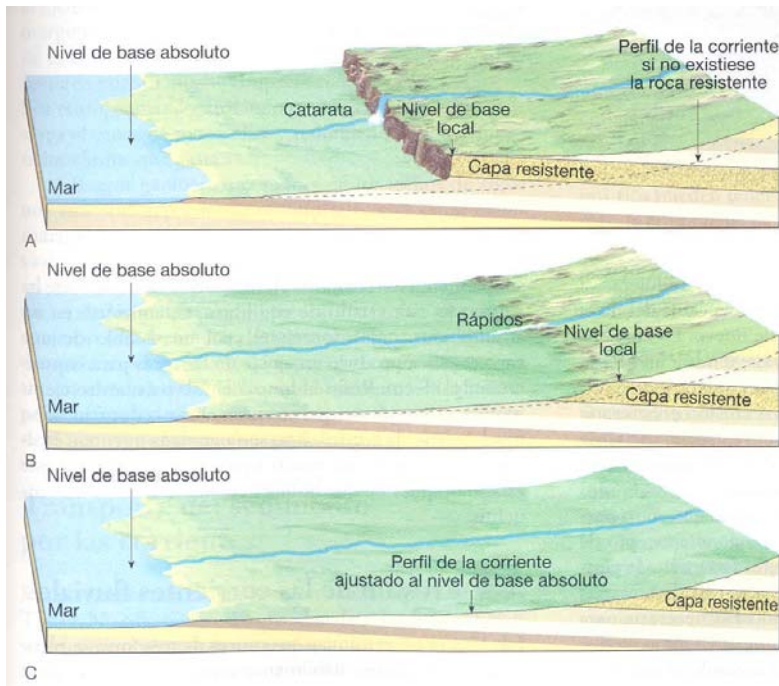


Una corriente raramente está en equilibrio en un momento dado. El concepto de equilibrio se refiere a un periodo de años.

La pendiente del cauce de un río en estado de equilibrio disminuye corriente abajo. Una causa importante de esto es que como aumenta la descarga y la sección transversal del cauce se hace mayor, la corriente es más eficiente en su actuación. La resistencia de fricción es desproporcionalmente menor para un cauce grande, de manera que el mismo trabajo puede ser realizado con una pendiente menor.

Se denomina **nivel de base de un río** aquel por debajo del cual la corriente fluvial no erosiona su cauce. Normalmente corresponde al nivel de la desembocadura del río en un océano, un lago, otro río... Se considera un nivel de base general, que corresponde al nivel del mar, y un nivel de base local o temporal. Cualquier cambio en el nivel de base provocará un reajuste en las actividades de la corriente para ajustar un nuevo perfil de equilibrio; un aumento en el nivel de base causará la deposición de material, y una reducción del nivel de base causará erosión.





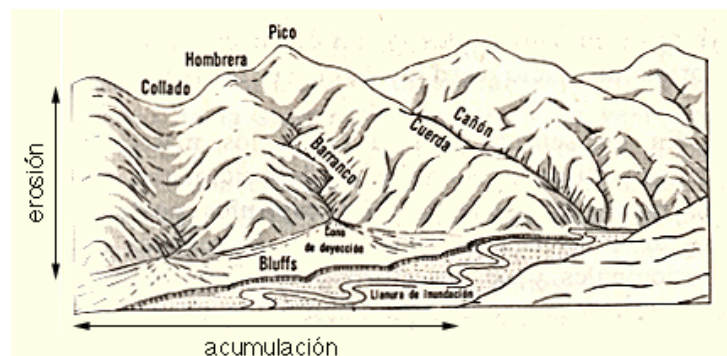
**Figura 10.6** Una capa resistente de roca puede actuar como un nivel de base local (temporal). Porque la capa más duradera se erosiona más despacio, limita la cantidad de erosión en la vertical corriente arriba.

### 9.4.1.- EL TRABAJO GEOLÓGICO DE LOS RÍOS.

El trabajo geológico de los ríos consiste en tres actividades interrelacionadas, que son tres fases de una misma actividad: erosión, transporte y sedimentación. La erosión originada por la corriente es la progresiva remoción del material mineral del fondo y las orillas del cauce, ya sea excavado éste en material de alteración, sedimento, o en la roca madre. El transporte consiste en el movimiento de las partículas erosionadas mediante su arrastre por el fondo, suspensión en la masa de agua o disolución. La sedimentación es la acumulación progresiva de las partículas transportadas sobre el lecho del río, sobre el lecho de inundación o en el fondo de una masa de agua no corriente en la que desemboca un curso de agua.

Se consideran dos grandes grupos de relieves fluviales:

- relieves erosionales, formados por denudación progresiva del sustrato. Se trata de los valles, cañones, barrancos...
- relieves deposicionales, formados por acumulación de los materiales erosionados y transportados por acción fluvial, como son la propia llanura de inundación, los conos aluviales, deltas...





## Erosión fluvial

Las corrientes fluviales erosionan de varias maneras, dependiendo de la naturaleza del cauce y de los materiales que arrastre la corriente

- 1) **Acción hidráulica.** Por sí sola, la fuerza del agua en movimiento, chocando con el fondo y ejerciendo sobre él una acción de arrastre, puede erosionar los materiales aluviales mal consolidados, tales como grava, arena y arcilla.

La excavación de las orillas origina grandes cantidades de aluviones que caen al río, donde las partículas se separan y pasan a formar parte de la carga de la corriente, constituyendo así una importante fuente de sedimentos en los periodos de crecida.



Este proceso es capaz de excavar enormes cantidades de materiales no consolidados en un corto periodo de tiempo, y producir arrastres, socavación de cimentaciones y pilas de puentes, carreteras...



- 2) **Abrasión.** Es el desgaste mecánico producido por choque y rozamiento de los propios fragmentos de roca transportados por la corriente sobre el lecho del río. Este proceso es el principal medio de erosión de un lecho rocoso demasiado resistente a la acción hidráulica.

Una forma de erosión debida a este proceso es el pilancón o marmita de gigante. Se trata de una oquedad cilíndrica excavada en el lecho rocoso por una corriente rápida. En el

fondo de las mismas suelen encontrarse piedras esféricas, que son las que con su rotación perforan gradualmente la roca. La abrasión crea otras muchas formas, tales como cascadas, cavidades en la base de éstas, etc.



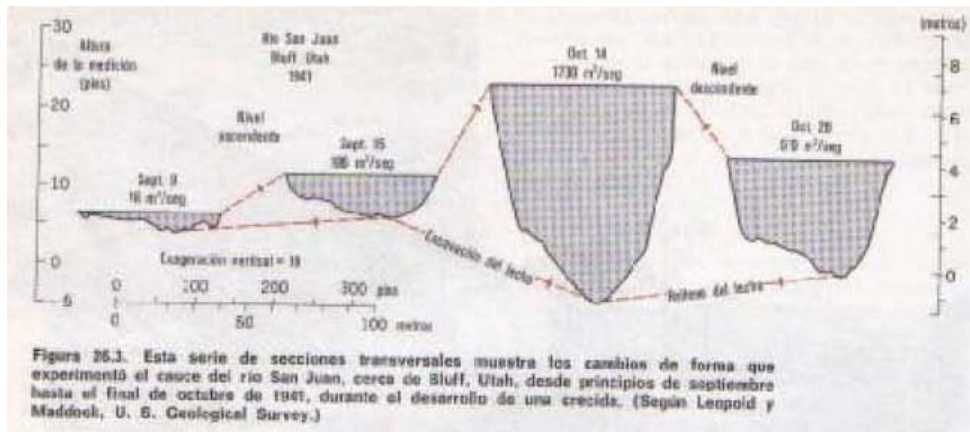
- 3) **Corrosión / disolución.** Los procesos químicos de meteorización son efectivos en la remoción de la roca del cauce del río, especialmente en terrenos calizos, en los que desarrolla formas redondeadas.

### Transporte fluvial

La materia sólida transportada por una corriente se denomina carga del río. Esta carga puede ser transportada en disolución, en suspensión, o como carga de fondo (por rodadura, deslizamiento o saltación).

Se llama capacidad de carga a la carga máxima que puede transportar un río en un punto de su perfil en un momento dado (incluyendo la carga en suspensión y la de fondo). La capacidad de carga aumenta considerablemente con la velocidad de la corriente, ya que cuanto más rápida es ésta, más intensa es la turbulencia y mayor es la fuerza de arrastre sobre el fondo. La capacidad para mover la carga de fondo equivale a la velocidad del agua elevada aproximadamente a la tercera o cuarta potencia. Así, si la velocidad del agua se dobla durante la crecida, la capacidad de carga de fondo se incrementa de ocho a dieciséis veces. Por tanto, la mayor parte de los cambios importantes se producen en el periodo de crecida. La carga en suspensión también aumenta rápidamente cuando se produce la crecida, como consecuencia del aumento de turbulencia. Esta carga puede proceder de la erosión producida por las aguas de escorrentía o de la excavación de las orillas.

Los cambios en el momento de crecida son menos importantes en el caso de lechos excavados en roca. Cuando el río discurre sobre un lecho de material suelto, la creciente capacidad de carga del río se ve satisfecha por una rápida remoción de los materiales del fondo, que cambia así sustancialmente su morfología durante los periodos de avenida.



## Sedimentación fluvial

El sedimento depositado por un río se denomina en general aluvión.

En el momento en que se produzca un aumento de la carga, o descienda la velocidad de transporte por un descenso en la velocidad de la corriente, se producirá un exceso de carga, de forma que se depositarán los sedimentos más gruesos en primer lugar, gravas y guijarros, seguidos de arenas, que producirán la elevación progresiva del lecho del río. Este proceso se denomina agradación. Esto incrementará la pendiente en esta zona, conduciendo los materiales corriente abajo, alcanzando una distancia cada vez mayor.

El material depositado por una corriente de agua es en general bien seleccionado.

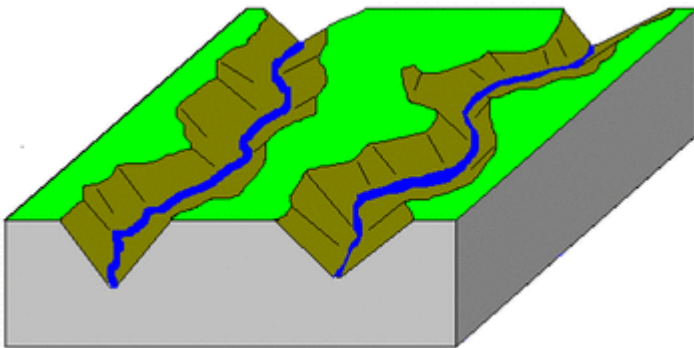
Se producen depósitos dentro del propio canal, en general más groseros, en forma de barras, y depósitos de la llanura de inundación, correspondientes a los que se producen en esta zona más extensa ocupada sólo en momentos de avenida. Los materiales depositados en barras y llanura de inundación pueden removilizarse esporádicamente en repetidos ciclos de erosión y deposición.

En la zona de desembocadura pueden formarse depósitos más permanentes, en forma de delta o abanico aluvial.

## 9.4.2.- FORMAS DE RELIEVE FLUVIAL

FORMAS DE RELIEVE EROSIONAL. Se producen fundamentalmente en el curso alto del río, donde la energía es mayor.

- **Valles en V.** Los valles con un perfil transversal en forma de v son típicos en los cursos altos de los ríos. Las dos vertientes laterales presentan fuertes pendientes, y el río erosiona verticalmente.

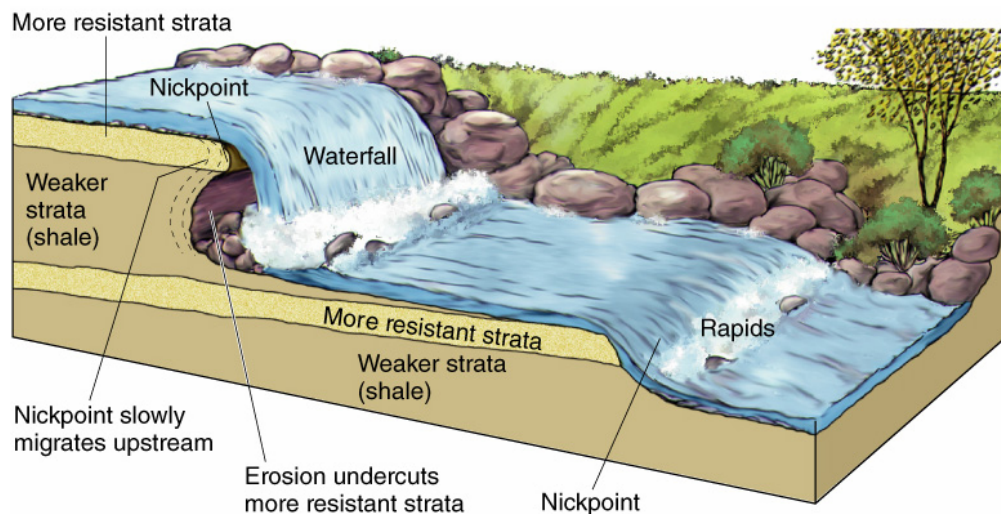


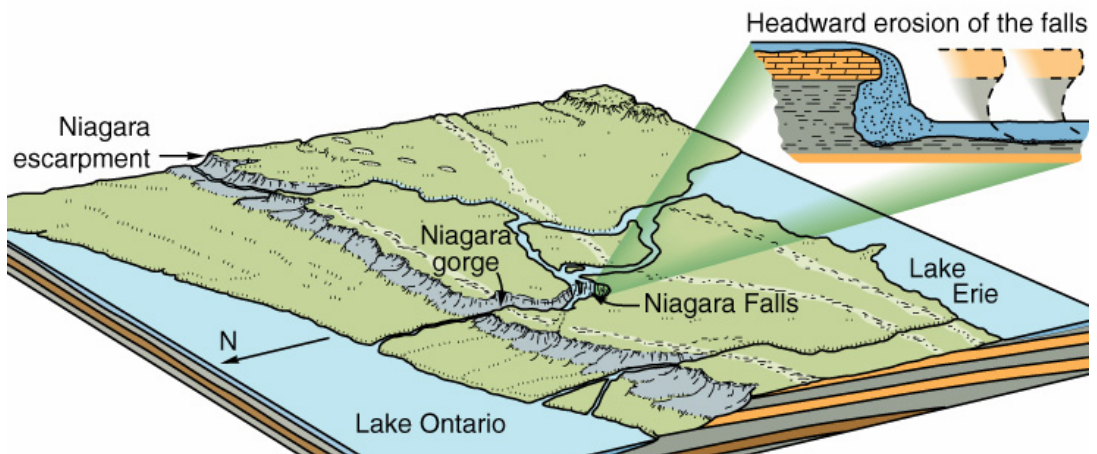
- **Cascadas.** Se trata de un sector de un curso fluvial donde, por causa de un fuerte desnivel del lecho por donde este fluye, el agua que transporta cae verticalmente por efecto de la gravedad.

Las caídas de agua son sistemas dinámicos que varían con las estaciones y con los años, aunque esto último sólo se hace perceptible a escala geológica. Presentan distintas formas (por ejemplo, si su caída es vertical o si sigue una pronunciada pendiente, etc.), determinadas por el volumen de agua, la altura de la caída, la anchura del lecho y la conformación de las paredes entre las cuales corre el líquido, dependiendo del tipo de roca y de las distintas capas en las que se disponen.

Las cascadas pueden tener diversos orígenes. En la mayor parte de los casos, se deben a la desigual resistencia que oponen las rocas a las corrientes de agua. Cuando un río desgasta profundamente su lecho y encuentra resistencia en una masa rocosa, el ahondamiento se produce más lentamente. De este modo, el nivel del obstáculo constituirá, temporalmente, el nivel de base, ajustándose a él el perfil de equilibrio aguas arriba. Pero aguas abajo, más allá de esta masa rocosa que resiste, el ahondamiento prosigue más rápido. A medida que el curso de agua aumenta su velocidad en el borde de la caída, logra arrancar material del lecho del río. Los remolinos creados en la turbulencia, así como la arena y piedras transportadas por la corriente de agua, aumentan la capacidad de erosión.

Si bajo el nivel resistente la roca infrayacente presenta menor dureza, se producen desmoronamientos de los estratos superiores al quedar privados de soporte. Es así como las cascadas retroceden y se desplazan en dirección a la fuente del río, como fue el caso de las cataratas del Niágara entre 1842 y 1927. En la mayoría de los casos, el retroceso depende de la erosión directa en el punto de caída, independientemente de los lechos rocosos, pues es precisamente en ese lugar donde las aguas adquieren su mayor velocidad.





Cataratas del Niágara (frontera EEUU- Canadá)



Cataratas de Iguazú compuestas por 275 cascadas de diferentes alturas localizadas entre Argentina y Brasil



Cataratas Victoria, entre Zambia y Zimbawe.



Salto Ángel, en Venezuela

También las cascadas se pueden producir asociadas al retroceso glacial, como es el caso de los grandes saltos en el valle de Yosemite.



Catarata en el Parque Nacional de Yosemite.

- **Rápidos.** Se trata de áreas de flujo turbulento debidas a la presencia de rocas resistentes en el sustrato o a un incremento en el gradiente.



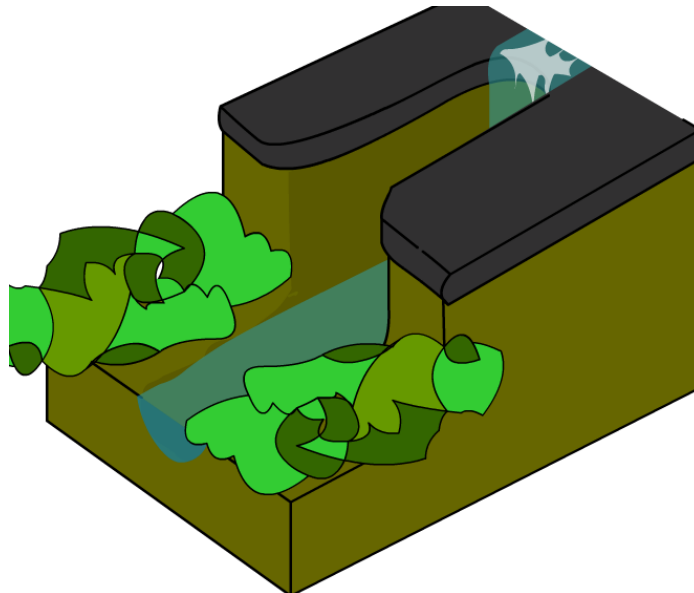
Rápidos debidos por un incremento en el gradiente y capas de roca resistente



En esta fotografía puede apreciarse la existencia de una pendiente en escalones.



- **Cañones, barrancos, desfiladeros, gargantas...** Estas incisiones fluviales de paredes verticales pueden formarse por distintos procesos:
  - Cuando una cascada retrocede, excavando un nivel de roca resistente creando un valle de paredes verticales
  - Por acción hidráulica
  - Por una elevación del terreno que hace que un río previamente encajado se encaje aún más, como es el caso del Gran Cañón del Colorado.



Garganta causada por retroceso de una cascada. Kolugil Waterfall, Islandia.

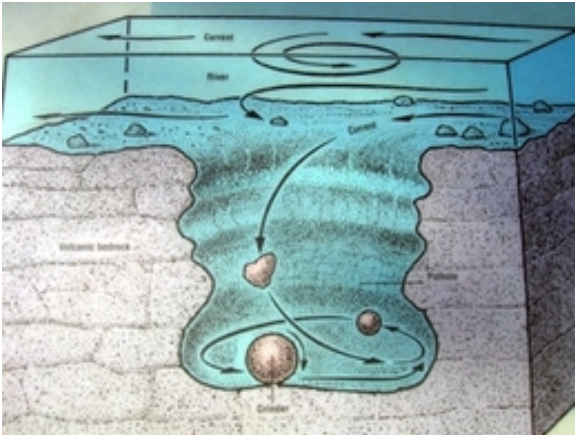


Garganta formada por acción hidráulica en calizas. Garganta El Chorro, Andalucía



Gran Cañón, Arizona. Causado por una elevación del sustrato que obligó al río Colorado a encajarse aún más en el mismo.

- **Pilancones o marmitas de gigante.** Su formación se ha expuesto con anterioridad. Se trata de oquedades redondeadas en el lecho rocoso del cauce. Están causadas por las turbulencias en el interior de una depresión previa, en la que el agua cargada de guijarros y fragmentos de roca produce mediante abrasión la perforación del sustrato rocoso.



FORMAS DE RELIEVE DEPOSICIONAL. Se producen fundamentalmente en el curso bajo del río, donde la energía es menor.

- **Corrientes braided.** Consisten en una red de corrientes entrelazadas, separadas por numerosas barras.

Una barra es un depósito alargado de material aluvial, normalmente arenoso o de gravas, depositado en mitad del canal o en sus márgenes. Se forman por sedimentación cuando decrece la velocidad de la corriente. Durante una avenida el río puede movilizar sedimentos de cualquier tamaño, desde arcillas y limos a grandes bloques, ya que el creciente volumen de agua se mueve rápidamente. En el momento en que la avenida cede, el nivel de agua cae, y la velocidad decrece. Los grandes bloques caen sobre el lecho, ralentizando el flujo aún más. Las gravas más finas y arenas se depositan entre los bloques y aguas abajo de los mismos. La deposición construye una barra de arenas y /o gravas, que quedará expuesta en el momento en que las aguas bajen totalmente. En la siguiente avenida el flujo puede erosionar esta barra, y depositar una nueva aproximadamente en el mismo sitio.

Una corriente tiende a entrelazarse (braided) cuando lleva gran cantidad de carga, y tiene bancos fácilmente erosionables.

Este modelo se desarrolla en zonas desérticas en el momento en que una corriente con fuerte carga de sedimentos pierde agua por evaporación o percolación en el subsuelo.

También en las corrientes de deshielo provenientes de glaciares tienden a desarrollarse corrientes entrelazadas – braided, cuando la descarga desde el deshielo es baja en relación a la gran carga de sedimento que la corriente ha de transportar.



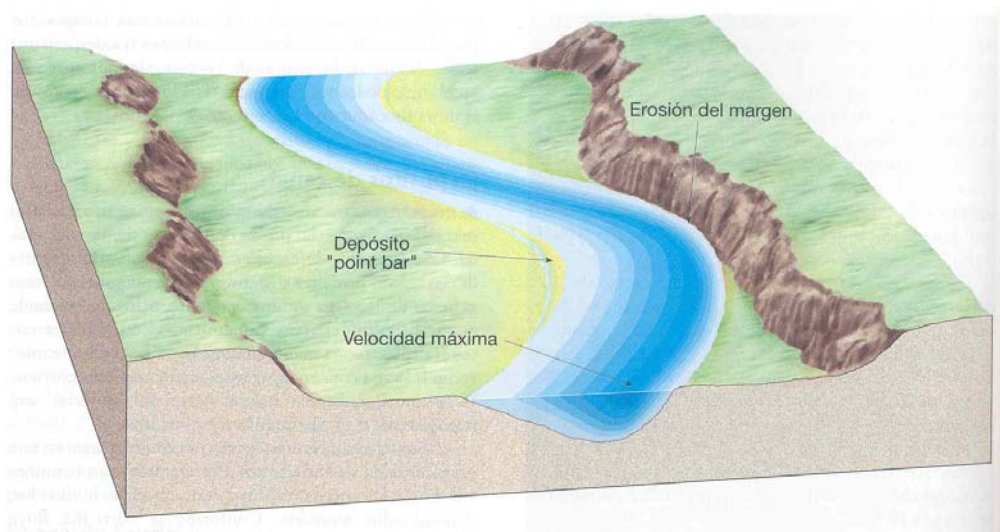
- **Sistemas meandriformes.** Los ríos que transportan material fino (arenas finas, limos y arcillas), tienden a ser estrechos y profundos, y a desarrollar pronunciados meandros.

En el momento en que el río rebaja la pendiente del cauce, al alcanzar el estado de equilibrio, el río continúa excavando sus orillas. Esta erosión lateral no altera de forma apreciable la pendiente, y por tanto no afecta materialmente al equilibrio.

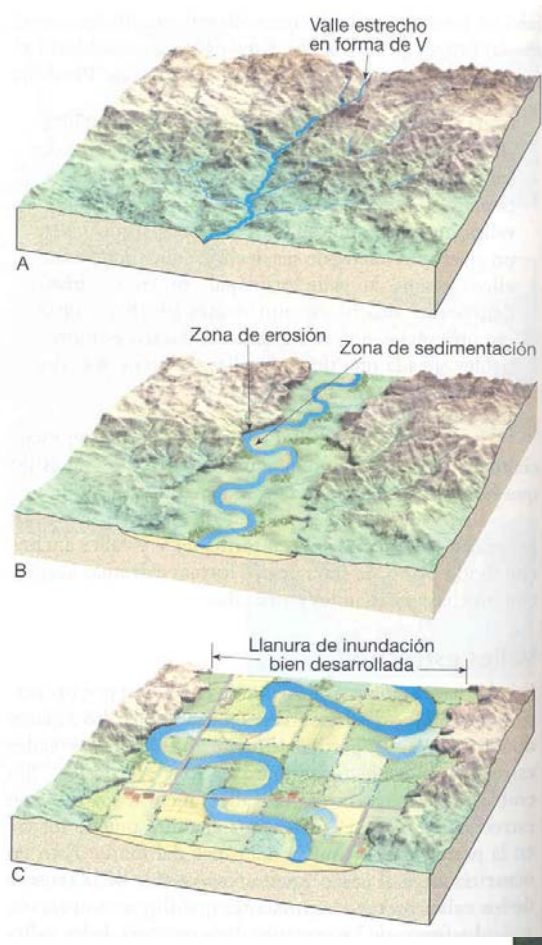
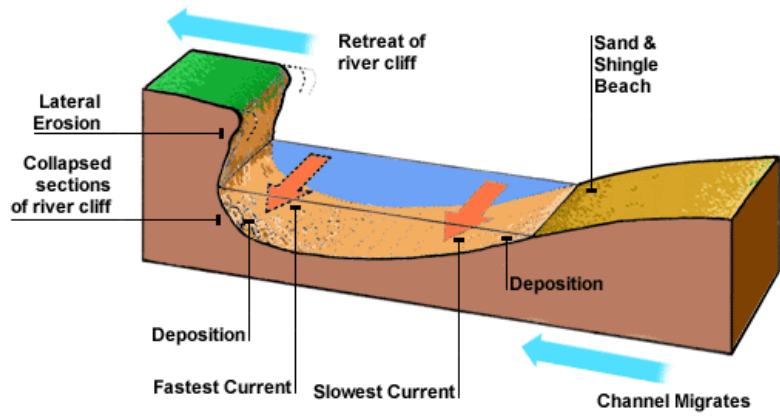
En la parte exterior de una curva el cauce erosiona lateralmente, excavando la pared del valle. En la parte interna de la curva se acumulan los aluviones, iniciándose el crecimiento de una ribera aluvial, que constituye la base para el desarrollo del lecho de inundación. Al proseguir la erosión lateral, las primeras franjas del lecho de inundación se ensanchan, y la corriente desarrolla una sucesión de curvas denominadas meandros aluviales. El lecho de inundación se va ensanchando progresivamente hasta formar una zona de tierra llana entre las paredes del valle, que suelen quedar como una abrupta vertiente denominada escarpe.



La velocidad en un río es mayor en la parte exterior de la curva que en la interior, lo que causa una erosión en la orilla externa y depósito de una barra en la orilla interna. Esta barra se denomina barra de meandro o point bar.



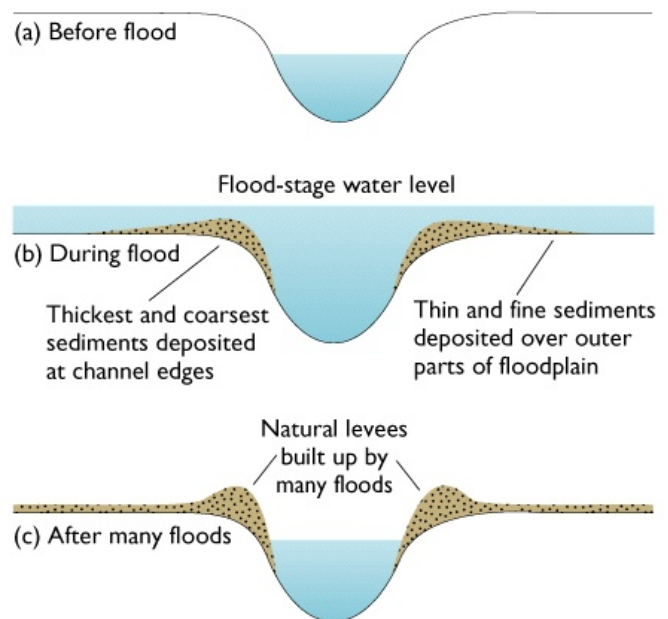
La erosión y simultánea deposición puede ir transformando una suave curva en una mucho más pronunciada, como una horquilla de pelo. El meandro no solo crece lateralmente, sino que también se va desplazando valle abajo. Los meandros raramente tienen una posición fija, sino que migran a lo largo de la llanura aluvial, dejando escarpes y barras de meandro arqueadas que marcan sus sucesivas posiciones. El efecto combinado del crecimiento lateral y el desplazamiento valle abajo proporciona a las riberas aluviales una forma arqueada, que consiste en una sucesión de barras y depresiones.



Las curvas de los meandros se van acentuando cada vez más y más, hasta que los recodos se intercomunican por tangencia, acortando el curso del río y dejando un meandro abandonado. Este fenómeno se denomina estrangulamiento, y es seguido por la deposición de arena y limo en los límites del cauce abandonado, produciéndose un lago en forma de herradura, denominado oxbow. Estos lagos se colmatan gradualmente con sedimentos finos durante las inundaciones y por materia orgánica producida por las plantas acuáticas. En ocasiones se convierten en ciénagas.



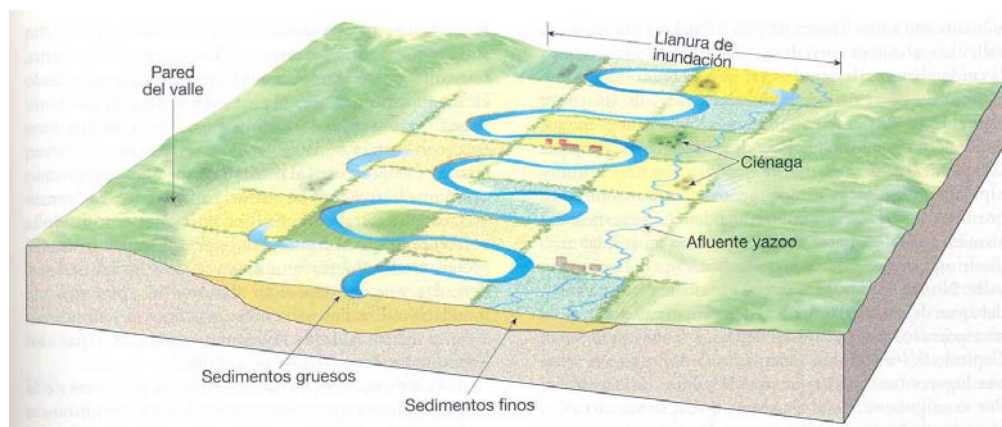
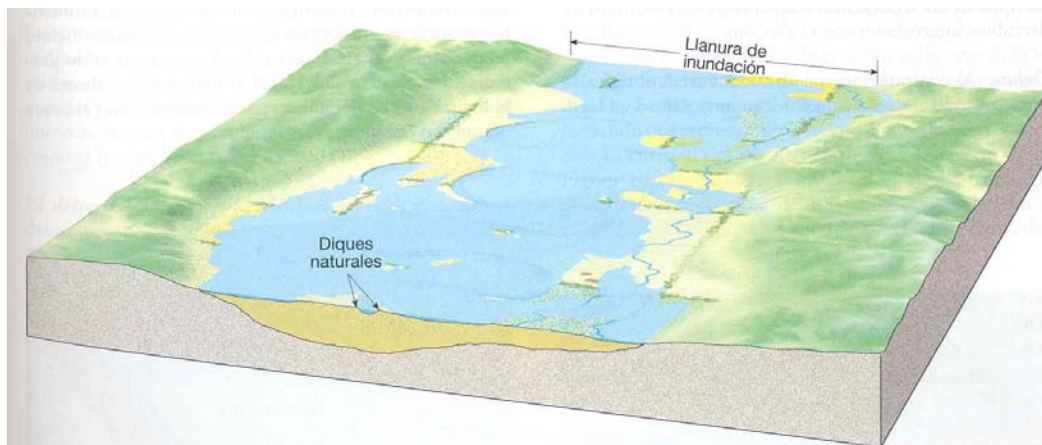
Durante los periodos de crecida, cuando todo el lecho de inundación está bajo el agua, ésta se extiende desde el cauce hasta los depósitos adyacentes. En el momento de producirse el desbordamiento el agua pierde velocidad, produciéndose el depósito de los materiales más groseros en la zona inmediata al cauce. La acumulación de estos materiales da lugar a la formación de muros de contención naturales o levees, sobreelevados respecto a la llanura de inundación, y generándose una suave pendiente desde el río hacia las porciones inferiores del lecho de inundación, extendiéndose las depresiones interiores desde el muro de contención y el escarpe.



Si en un momento dado se produce una rotura de los diques de contención, se produce un depósito de derrame o crevasse splay.



Una vez ha terminado la crecida, el agua discurre por las depresiones interiores paralela al río principal valle abajo, formando una corriente secundaria o corriente yazoo, que en algún punto pendiente abajo termina uniéndose a la principal.





- **Deltas.** Los depósitos de barro, limo, arena o grava originados por un río cuando desemboca en una masa tranquila de agua se conocen con el nombre de delta. La deposición está causada por la rápida reducción de velocidad que experimenta la corriente al penetrar en la masa de agua. Generalmente el cauce del río se divide y subdivide en cauces más pequeños llamados canales de distribución. Las partículas gruesas se depositan primero, mientras que las arcillas y otros materiales finos siguen en suspensión hasta que se depositan en aguas más profundas.

Los deltas muestran gran variedad de formas, debido tanto a la configuración de la línea de costa como a la acción de las olas:

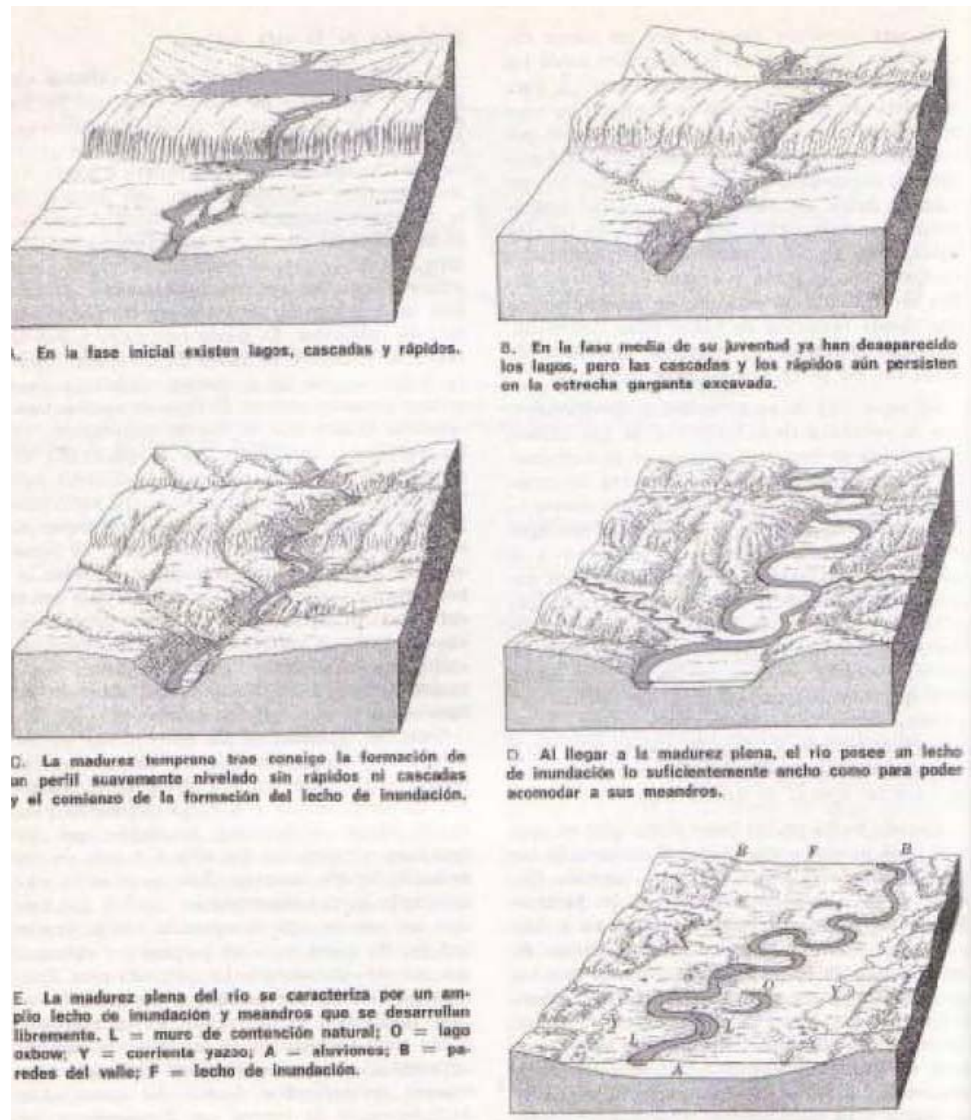
- arqueado, como el del Nilo
- digitado, como el del Mississippi
- triangular o en cúspide, como el del Tíber
- en estuario



### 9.4.3.- EVOLUCIÓN

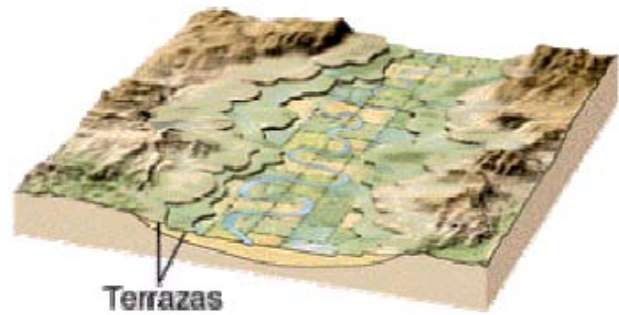
- **Evolución de un sistema aluvial.** Podemos considerar un perfil inicial de un río dominado por los relieves originados por una reciente actividad de la corteza. El agua de escorrentía es recogida en pequeñas depresiones y fluye desde los niveles más altos hacia los bajos. Así, se forma un cauce que comienza a conducir el agua de escorrentía hacia el mar.

En los desniveles del cauce, las cascadas y rápidos contribuyen, mediante el encajamiento, a rebajar la pendiente. Al mismo tiempo, los brazos de río se extienden, excavando una cuenca hidrográfica y transformando el relieve original en un relieve fluvial. Aunque al comienzo los aluviones son muy escasos, conforme la abrasión progresa, la carga del río aumenta, y éste comienza a producir erosión lateral, desarrollándose una llanura de inundación y ampliándose progresivamente el valle.



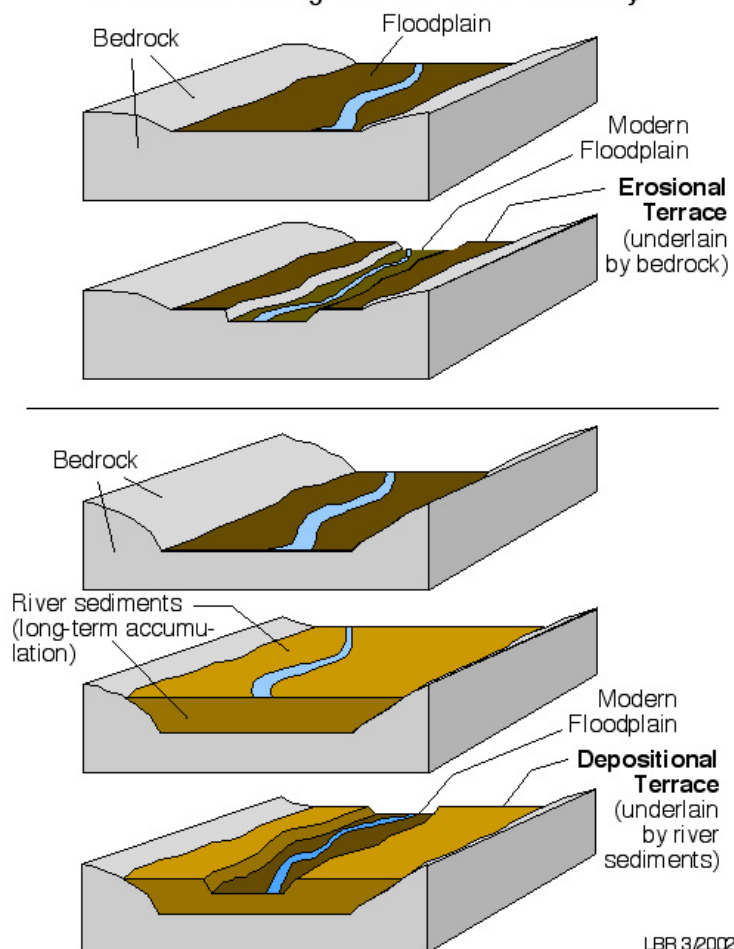
- **Formación de terrazas aluviales.** Una terraza fluvial es una superficie plana inactiva, una antigua llanura de inundación, ubicada sobre el curso actual de un río.

Existen 2 tipos de terrazas: aquellas construidas debido al relleno del cauce, llamadas **terrazas agradacionales**, y aquellas formadas por la erosión del río en el basamento rocoso, llamadas **terrazas degradacionales** (strath terraces).



Ante diversas perturbaciones (alzamiento tectónico, cambios hidrológicos), el río tenderá a su perfil de equilibrio, lo que generará que el río corte antiguas llanuras de inundación, dando lugar a la formación de terrazas agradacionales.

Terraces: abandoned floodplains that formed when a river flowed at a higher level than it does today.



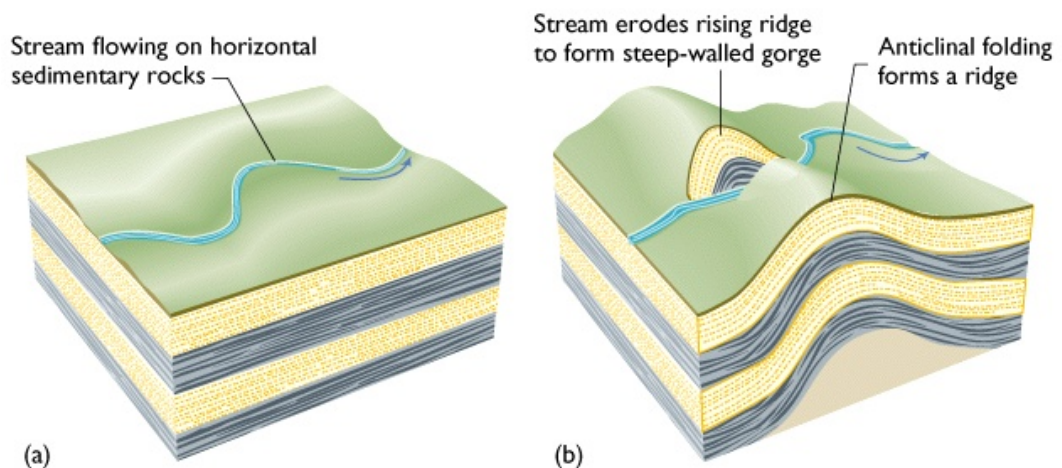
- **Fenómeno de antecedencia y superposición fluvial.**

Se dice que hay **adaptación** del trazado hidrológico cuando los cursos de agua se orientan de la misma manera que las deformaciones de la corteza terrestre, adaptación tectónica, o bien si recorren los materiales más blandos y menos coherentes, adaptación litológica.

Se dice que hay **inadaptación** del trazado hidrográfico cuando este se orienta con independencia de las deformaciones de la corteza terrestre o la naturaleza de sus materiales. Se distinguen dos modelos de inadaptación la **antecedencia** y la **sobreimposición**.

Es fácil imaginar porqué en una determinada región la red hidrográfica se adapta a las estructuras, pero es más difícil explicar cómo y porqué no se adaptan a ellas, porqué hay inadaptación. Normalmente se explican por la existencia, en el momento de su formación, de algún elemento que eliminen los obstáculos del relieve o la naturaleza de las rocas. Esto explica que, normalmente, los fenómenos de inadaptación sólo afecten a las arterias principales.

La **antecedencia** se interpreta por la existencia previa de trazados hidrográficos con respecto a las estructuras tectónicas presentes. La formación de esas estructuras sería tan lenta que permiten la labor erosiva del río, cortándolas. Los cursos de agua deben tener, también, el suficiente poder erosivo como para anular las deformaciones tectónicas. Este fenómeno sólo explica los fenómenos de inadaptación sobre orogénesis recientes, ya que implica la existencia previa de una red hidrográfica que aún persiste. Por regla general, se encuentra en los bordes de las cadenas alpinas o en los macizos antiguos rejuvenecidos recientemente.

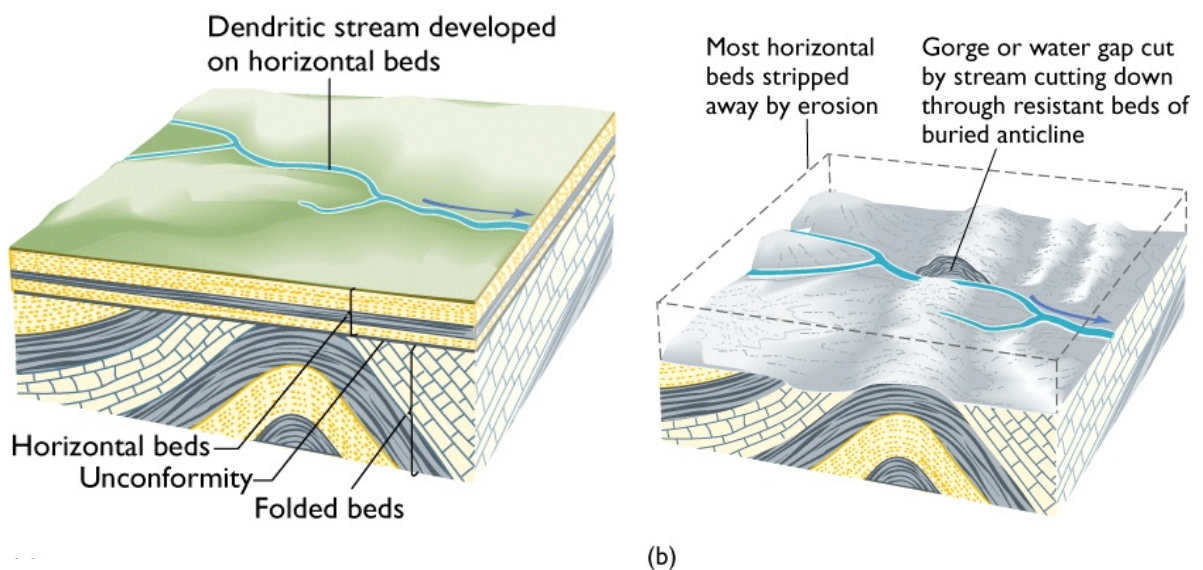


En la **sobreimposición** intervienen una cobertera sedimentaria que fosiliza la estructura, y una superficie de erosión. Sobre estos sedimentos comenzaría a correr un río que iría erosionándolos, y con ellos las estructuras.

La excavación posterior, generalmente, ha respetado numerosos testigos de los depósitos fosilizantes, de manera que aparecen colgados por encima del curso fluvial y enmarcando las bóvedas anticlinales exhumadas.

No obstante, durante la exhumación de las estructuras subyacentes, la erosión diferencial puede permitir que la estructura tectónica se manifieste de nuevo. Aparecen, entonces cursos fluviales que alternan la adaptación y la inadaptación, presentando ésta profundos tajos y gargantas encajados en las estructuras.

La sobreimposición es típica del relieve apalachense. Antecedencia y sobreimposición son mecanismos que no se excluyen necesariamente.



- **Meandros encajados.** Un meandro encajado es un meandro que ha socavado la roca subyacente a la llanura aluvial, encajándose en la misma. Su origen se debe al levantamiento del relieve en una zona plana donde el río formó meandros originalmente o a la disminución del nivel de base del río, por lo que la erosión regresiva va adentrándose en el relieve, profundizando los meandros como es el caso del río Júcar aguas



abajo de Jorquera.

#### 9.4.4.- ABANICOS ALUVIALES

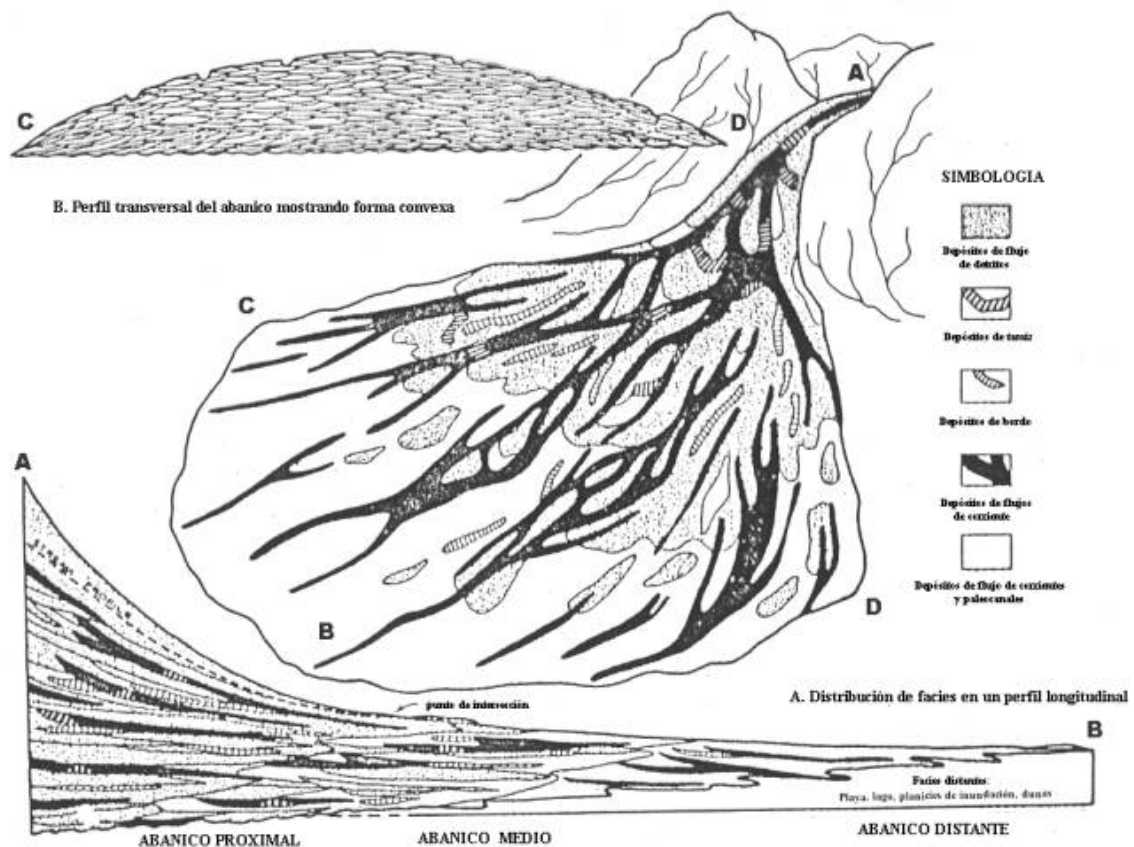
Un **abanico aluvial** es una forma del terreno formado cuando una corriente de agua que fluye rápidamente entra en una zona más tendida y su velocidad disminuye, extendiéndose su cauce en abanico, en general a la salida de un cañón en una llanura plana.

Su vista en planta presenta el aspecto de un abanico y se origina a partir de la sedimentación de la carga sólida transportada por una corriente fluvial allí donde ésta pierde súbitamente fuerza debido a la brusca disminución del gradiente topográfico que se produce cuando un río que corre por entre las montañas alcanza la llanura del pie de monte o por otra causa parecida desde el punto de vista hidrodinámico, como cuando una corriente tributaria alcanza un valle de menor gradiente. De esta forma, la acumulación ocurre por desconfinamiento y pérdida súbita de capacidad y competencia de los procesos sedimentarios intervinientes, flujos fluidales y flujos de gravedad.



El perfil longitudinal del abanico aluvial es cóncavo, mientras que perfil transversal es marcadamente convexo. Generalmente los sedimentos más gruesos, se hallan localizados en las zonas proximales, mientras que los más finos se hallan hacia las zonas distales del abanico.

En la descripción de abanicos aluviales se utiliza la siguiente subdivisión: **zona de cabecera**, correspondiente a la parte más cercana al ápice asociada normalmente a conglomerados y clastos de tamaño grueso (poco redondeados), **zona de cuerpo**, presentando normalmente alternancia de conglomerados con areniscas y la **zona de pie** del abanico correspondiente a zonas distales que puede interdigitarse con otros ambientes sedimentarios, que puede ser caracterizada a la alternancia de areniscas con estratificación cruzada. La pendiente general varía entre 5° y 10° en la zona de la cabecera y de 1° a 2° en el pie, existiendo una correlación positiva entre pendiente del abanico y calibre del sedimento.



Con respecto a las diferencias entre abanicos aluviales y los ríos se puede decir que los primeros tienen mayor pendiente que ríos “normales”. Es posible decir que existe una relación correlación positiva entre área del abanico y área de la cuenca de drenaje, como también una tendencia que correlaciona negativamente la pendiente del abanico y el área de la cuenca de drenaje

Se dan en todo tipo de climas, aunque son más frecuentes en climas desérticos.