

PROCESOS Y SISTEMAS GEOMORFICOS. ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGIA A ESCALA LOCAL.

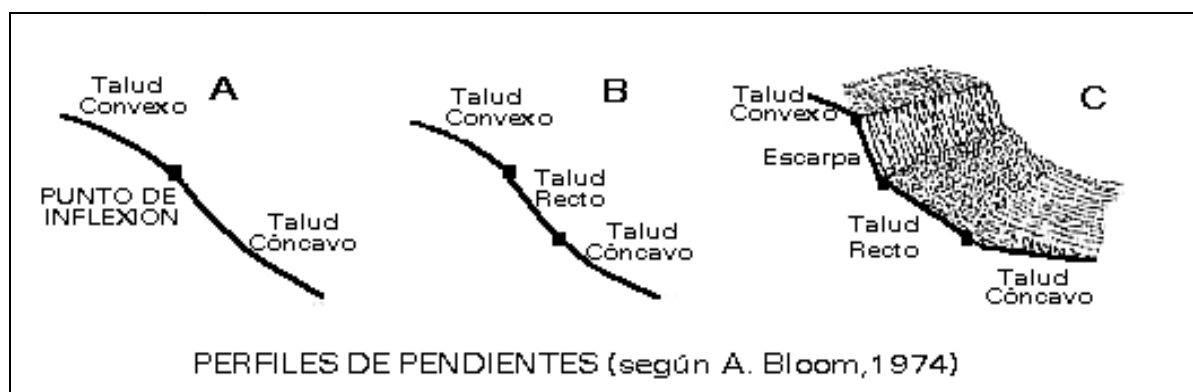
En esta escala, la Geomorfología se concreta en el estudio de **forma, material y proceso** en el campo, del que se obtiene material informativo para el análisis. Las observaciones de campo dan datos directos que apoyan aproximaciones teóricas de modelos.

FORMAS O MORFOLOGIA

La técnica de cartografía morfológica está especialmente diseñada para destacar los caracteres significativos del relieve, mientras que los **perfiles y vertientes** proporcionan una información que es esencial para estudiar las relaciones entre **morfología-material-procesos**. El método de cartografía morfológica se basa en identificar y representar **rupturas y cambios de pendiente** en el paisaje.

Las **rupturas de pendiente** son cambios abruptos de gradiente. Son convexas cuando la vertiente se hace más abrupta cuesta abajo. Son cóncavas si la ladera deviene más llano. Los **cambios de pendiente** son todas las variaciones progresivas en el gradiente de la pendiente. Se define como **acantilado** un talud de roca pelada de más de 40 grados de pendiente. La cartografía geomorfológica da buen resultado en zonas con acusados cambios de pendiente, pero es menos fácil de aplicar en áreas suavemente onduladas, donde resulta difícil establecer la posición exacta de un cambio de pendiente.

La cartografía de las rupturas y de los cambios de pendiente proporciona una base sólida para estudiar otros aspectos de la geomorfología de la cuenca. Se pueden añadir las líneas del drenaje y en algunos casos cabe relacionar la geología con la forma del modelado superficial. Los **perfiles** deben ser perpendiculares a las curvas de nivel, siguiendo la línea de máxima pendiente. Suele aplicarse una leve exageración vertical a la escala, salvo cuando la vertiente es muy abrupta.



Las secciones más características son:

- Las partes rectas, llamadas **talud constante o rectilíneo**.
- Las partes abruptas, con o sin afloramientos rocosos cuando el ángulo supera los 45°, se denomina **escarpe abrupto o cara libre**.
- Las **partes cóncavas**, que por lo general están cerca de la base.
- Las **partes convexas**, que suelen estar cerca de la pared superior del talud.

Se considera que la presencia en el talud de estos elementos diferentes indica una relación entre **forma y proceso**. La relación entre **procesos y ángulo de talud** es más compleja y varía de un lugar a otro.

MATERIALES

Otro aspecto del ambiente físico a examinar en el campo es la naturaleza del material. Este comprende tanto la roca firme como el material no consolidado que suele recubrirlo. De la roca hay que considerar su **composición y su estructura**. La cartografía de rocas en el campo es misión del geólogo, pero conviene que los geógrafos físicos sean capaces de apreciar las cualidades de diferentes rocas e identificarlas en el campo. Los geólogos acostumbran a cartografiar las rocas por su edad, pero para el geógrafo es más importante el tipo de roca.

Atendiendo al modo en que se forman, las rocas se dividen en tres grupos principales: **ígneas, sedimentarias y metamórficas**. Las rocas **ígneas** son las que se solidifican directamente a partir del magma fundido procedente del interior de la Tierra. Según su composición química y sus cristales se clasifican en:

a) **Plutónicas**, enfriadas a gran profundidad en la corteza terrestre y sólo afloran en superficie al cabo de una denudación muy prolongada. Comprende los granitos y los gabros, más densos y más oscuros. Todas las rocas plutónicas tienden a ser cristalinas de grano grueso, por la lentitud de su enfriamiento. En general son rocas compactas y sus planos de debilidad son principalmente diaclasas, algunas de las cuales son verticales; las diaclasas horizontales pueden ser el resultado de una liberación de la presión (por ejemplo, fusión de una gruesa cubierta de hielo).

b) En el otro extremo de la escala, están las rocas **volcánicas** que se enfrían rápidamente en contacto con el aire y el agua al ser expulsadas por los volcanes. Son vítreas o de grano fino, y la más difundida y común es el basalto. Forma vastas coladas casi horizontales, a menudo cortadas por diaclasas casi verticales, que a veces siguen un modelo poligonal. La roca basáltica es dura y resistente, con frecuencia forma mesas. Su equivalente ácido es una ignimbrita, en este caso el material es lanzado como ceniza incandescente, que se funde y forma material compacto resistente.

c) Las rocas **intermedias, hipoabisales o filonianas** son finamente cristalinas, por haberse enfriado a una velocidad moderada después de la inyección, formando diques casi verticales o filones-capas (sill) casi horizontales. Estas rocas hipoabisales suelen tener una dureza distinta de las rocas que atraviesan y por ello resistir en escarpes y crestas.

Otros grupos de rocas, generalmente compactas, a menudo con escaso control estructural, son las **rocas metamórficas**, que han experimentado cambios debido al calor y/o presión. Se han alterado formando esquistos, gneises y cuarcitas. Las pizarras de techar se forman a partir de limonitas o argilitas por efectos de la presión. Se endurecen y exfolian. Su homogeneidad da lugar a vertientes suaves. Los gneises y esquistos forman salientes y protuberancias.

El tercer grupo de rocas son las **sedimentarias** que se han originado a partir de la destrucción de rocas más antiguas. En su formación han intervenido meteorización, erosión, transporte y finalmente, deposición. El tamaño de las partículas sirve como primer criterio de diferenciación. El material más fino es **arcilla**, que se decanta únicamente en condiciones muy tranquilas. La mayoría de las arcillas quedan en aguas profundas y quietas. También existen algunas zonas someras donde puede acumularse arcillas (por ejemplo, en una marisma protegida de la acción del oleaje).

La propiedad principal de esta roca es su naturaleza en general, poco resistente, lo que significa que a menudo constituye tierras bajas. Además es impermeable, dificulta el drenaje. Los terrenos arcillosos suelen quedar empantanados. No constituyen cimientos estables para edificar en pendientes. Argilitas y limonitas tiene tamaño de grano más grueso, formando un material más duro, aunque también impermeable. El material de grano más grueso que forma las **areniscas** suele proceder de la meteorización del granito y consiste principalmente en granos de cuarzo, mineral constituyente del granito y del gneis. Dichos granos son resistentes a la meteorización. Los granos dejan pasar el agua enseguida (salvo que estén muy cementados) y por eso forman rocas permeables. Las áreas de areniscas suelen ser secas. Si están bien cementadas pueden formar escarpes.

Los **conglomerados** tienen el grano aún más grueso, formados por cantos rodados en una matriz. Las **brechas**, de guijarros angulosos, a veces son canchales fosilizados. Ambos tipos de rocas deben

haberse depositado en ambientes vigorosos, como un río de montañas o un canchal.

Las rocas **calcáreas** son principalmente de origen orgánico. Calizas y creta se depositaron en mares transparentes y cálidos. Son los restos consolidados o cristalizados de muchos organismos marinos minúsculos que segregan conchas de carbonato cálcico. La caliza es susceptible de meteorizarse por disolución, en especial a lo largo de los planos de estratificación y de fractura -el agua desaparece enseguida bajo tierra-, originando valles secos y formación de cuevas en el subsuelo.

La creta posee características similares y suele originar valles secos, aunque con sistemas subterráneos de drenaje menos desarrollados. La capacidad de la roca para dejar pasar el agua influye en los procesos de las vertientes y también es importante en lo que respecta a la disponibilidad de agua. Las rocas permeables forman acuíferos. El material y sus características de cementación, diaclasamiento y estratificación ejercen una importante influencia en los procesos de las vertientes, en especial, mediante su efecto sobre el paso del agua a través de la roca.

PROCESOS

El estudio del material proporciona información acerca de los **procesos** que determinaron su deposición, pero en una cuenca de drenaje pequeña también cabe estudiar el proceso directamente. Una de las dificultades estriba en que la mayoría de los procesos actúa muy lentamente. Algunos procesos que actúan en taludes funcionan de forma muy continua y lenta, mientras que otros son de escala mayor, más violentos y de funcionamiento intermitente.

La reptación y la solifluxión son ejemplos del primer tipo; mientras que los desprendimientos y los desplomes o aludes ilustran bien el segundo tipo. Al rebasarse un umbral, cuando la resistencia del material bajo el esfuerzo que le ha sido impuesto se reduce, se desencadena un gran reajuste súbito. Ello puede ocurrir cuando una lluvia excesiva reduce la resistencia de un material arcilloso hasta el punto de que este ya no puede soportar el peso del material que tiene encima. En este caso el desencadenante es la lluvia.

Los procesos geomórficos dejan su impresión distintiva sobre las formas de relieve y cada una de ellos desarrolla su propio conjunto característico de formas. Los procesos geomórficos se dividen en dos grandes grupos: a) procesos epígenos o exógenos; b) procesos hipógenos o endógenos. En el conjunto de los **procesos exógenos** se incluyen: 1) Meteorización -física y química-; 2) Remoción en masa o desplazamiento gravitatorio; 3) Erosión y transporte. Se incluye también en este conjunto a los procesos agradacionales o de acumulación.

Los **procesos endógenos** incluyen: a) al diastrafismo; b) el volcanismo. Las fuerzas responsables de ellos se originan a cierta profundidad dentro de la corteza terrestre. Ellos elevan o construyen porciones de la superficie terrestre e impiden que los procesos degradacionales puedan reducir finalmente las áreas emergidas del planeta a nivel del mar.

Los procesos **diastróficos** generalmente están clasificados en dos tipos: los **orogénicos** -formación de montañas con deformación de la corteza y **epirogénicos** -ascenso sin deformación importante-. Comúnmente se cree que los períodos de formación de montañas -orogénesis- son de concurrencia episódica, ampliamente espaciados en el tiempo geológico y de extensión mundial. También se cree que entre las orogénias hay períodos largos durante los cuales la corteza terrestre es relativamente estable o sujeta a un ascenso epirogénico lento o un hundimiento.

El **volcanismo** incluye el movimiento de roca en fusión o magma sobre o hacia la superficie terrestre. Comprende las diversas maneras por las cuales la roca fundida es extruida. Esto puede ser por conductos centralizados -volcanes- o por aberturas extensas o fisuras en forma de erupciones en masa. Los efectos topográficos de las extrusiones son directos e inmediatos. Se componen de: deformación de las rocas, con pliegues del tipo de domos, perturbación de los estratos de las rocas subyacentes; o de la intrusión de masas ígneas a rocas más antiguas, las cuales si subsecuentemente quedan expuestas por la erosión, dan lugar a formas topográficas diferentes a las de los estratos circundantes.

METEORIZACION

La **meteorización** es la desintegración o descomposición de una roca, en su lugar. Reduce masas de rocas sólidas al estado clástico. No involucra la captura ni remoción del material por un agente transportador. Por lo menos cuatro factores variables influyen sobre el tipo y grado de meteorización de las rocas:

- 1- La estructura interna de la roca, que determina si sus elementos son susceptibles o no a la meteorización.
- 2- Caracteres físicos como diaclasas, fallas y planos de estratificación.
- 3- Factores climáticos: temperatura y humedad.
- 4- Topografía que influye sobre la cantidad y tipo de precipitación, temperatura y cantidad y tipo de vegetación.

Los **procesos físicos de meteorización** conducen a la fragmentación de la roca. Estos pueden ser:

a) **EXPANSION RESULTANTE DE LA DESCARGA:** en especial en las rocas ígneas formadas a gran profundidad, conduce a fracturas en gran escala, aproximadamente concéntricas con la superficie de la topografía. Puede haber contribuido a la formación de grandes monolitos denominados **domos de exfoliación**, como los de Yosemite y Sequoia.

b) **EXPANSION RESULTANTE DEL CRECIMIENTO DE CRISTALES:** produce la **fracturación de la roca** por formación de cristales de hielo por el agua intersticial -crioclastia- y de cristales salinos en climas secos -haloclastia-, por capilaridad del agua. La formación de cristales como proceso de meteorización tiene mayor efecto cuando hay repetición de congelación y deshielo. La **escamación de superficies rocosas** por crecimiento de sales debido a la acción capilar se ha denominado exudación.

c) **EXPANSION TERMICA:** produce en las rocas **exfoliación en masa y exfoliación granular** o desintegración -termoclastia-. La escamación esferoidal probablemente se debe en gran parte a los efectos de la oxidación e hidratación de los silicatos.

d) **LOS ORGANISMOS:** son de menor importancia en la meteorización física. El crecimiento de raíces de las plantas puede ayudar al **ensanchamiento de diaclasas** y otras facturas.

e) **EXTRACCION POR ACCION DE COLOIDES:** proceso estudiado por Reiche y todavía poco conocido. Parece probable que los suelos coloidales pueden tener la facultad de aflojar o **extraer pequeños trozos de rocas** de las superficies con las cuales están en contacto.

Los **procesos químicos de meteorización** son la hidratación, la hidrólisis, la oxidación, la carbonatación y disolución. Entre los resultados de la mayor parte de los procesos de meteorización química pueden mencionarse:

- 1- Un aumento de volumen con las deformaciones y presiones resultantes dentro de las rocas.
- 2- Materiales de menor densidad.
- 3- Menor tamaño de las partículas y en consecuencia un aumento del área de la superficie por unidad de volumen.
- 4- Minerales más estables.

a) **HIDRATACION:** comprende en realidad dos procesos: hidratación e hidrólisis. Involucra la absorción del agua, como en la **expansión y contracción de arcillas**.

b) **HIDROLISIS:** involucra la formación de hidróxidos y representa un cambio físico. Es más común en las rocas silíceas, por descomposición y reacción con el agua de mar de los minerales disueltos en ella.

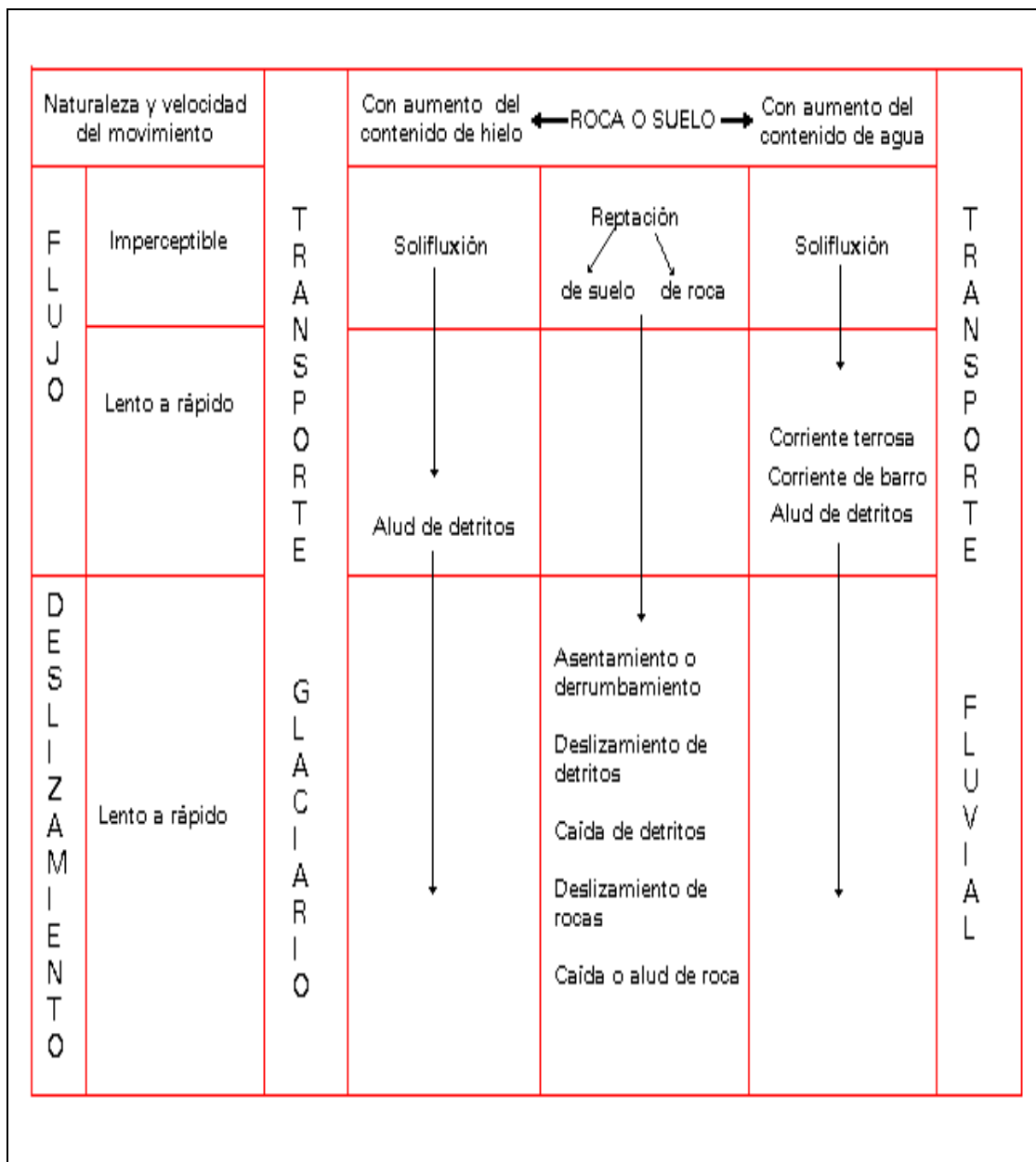
c) **CARBONATACION:** se observa por la acción del anhídrido carbónico. La hidrólisis y la carbonatación forman un carbonato soluble en el agua. Los carbonatos y bicarbonatos son los más fácilmente tomados en SOLUCION o DISOLUCION. El anhídrido carbónico derivado en especial de la materia orgánica en descomposición ayuda grandemente a esta reacción. La disolución se da tanto en

superficie como en profundidad, dando lugar a los **paisajes kársticos**.

d) **OXIDACION**: son generalmente los primeros en notarse y comúnmente se supone que es el primero en tener lugar. En realidad, lo precede la hidrólisis. Son sus efectos más notables en rocas que contienen sulfuros de hierro, carbonatos y silicatos de hierro, donde dan **capas superficiales de color rojizo o amarillento**.

REMOCION EN MASA

La **remoción en masa** es el término con el que se designa a todos los movimientos cuesta abajo - desplazamiento gravitatorio- de los detritos rocosos meteorizados. La gravedad es la única fuerza importante y no está implicado ningún medio de transporte tal como el viento, agua corriente, hielo o lava en fusión. SHARPE reconoció cuatro clases de remoción en masa y en cada una fueron determinados y definidos varios tipos y subtipos. Esas clases son: flujo lento, flujo rápido, deslizamiento y hundimiento.



En el FLUJO LENTO se distinguen:

a) La *reptación*: que es el movimiento cuesta abajo de suelo y detritos rocosos, por lo general, no perceptible salvo mediante reiteradas observaciones. La reptación puede ser de suelo, de escombros de talud, de rocas o de glaciares de piedras.

b) La *solifluxión* es el flujo lento, cuesta abajo de masas de detritos rocosos saturados de agua y no confinadas a cauces definidos.

En el FLUJO RAPIDO se incluyen:

a) Las *corrientes terrosas* que es el movimiento cuesta abajo de material terroso arcilloso o limoso, saturado de agua, en terrazas de poca pendiente o laderas de cerros.

b) Las *corrientes de barro*, que es el movimiento hacia abajo, de lento a muy rápido, de detritos saturados de agua, en cauces definidos. Los bordes de las corrientes de barro pueden estar marcados por crestas lineales agudas, llamadas albardones de corrientes de barro.

c) Los *derrumbamientos o aludes de detritos*: formados por un flujo laminar de detritos rocosos, cuesta abajo, en pendientes empinadas de extensiones angostas.

El DESLIZAMIENTO es el tipo de remoción en masa cuyo movimiento es perceptible e involucra masas relativamente secas de detritos rocosos. En este tipo de remoción se incluyen:

a) El *desmoronamiento* que es el deslizamiento hacia abajo, de una o varias unidades de detritos rocosos, generalmente con una rotación hacia atrás con respecto a la pendiente sobre la cual tiene lugar el movimiento.

b) El *deslizamiento de detritos*: es la rodadura rápida de detritos terrosos no consolidados de la masa hacia atrás.

c) La *caída de detritos*: es la caída prácticamente libre de detritos terrosos desde una cara vertical o sobresaliente del terreno. Son comunes a lo largo de las márgenes socavadas de los ríos.

d) El *deslizamiento de rocas* es la caída de masas individuales de rocas a lo largo de superficies de estratificación, de diaclasas o fallas.

e) El *alud de rocas* es la caída libre de bloques de rocas en cualquier pendiente empinada. Son frecuentes en primavera, cuando hay deshielos y congelamientos repetidos.

El HUNDIMIENTO es el desplazamiento hacia abajo de material terroso superficial, sin una superficie libre y sin desplazamiento horizontal. Son ejemplos de ello, los hoyos glaciarios y los sumideros de las regiones cálidas.

EROSION

Degradar no significa necesariamente desgastar; al excavar, la erosión puede acentuar los relieves. Su acción al final tiende a nivelarlos. Es necesaria una nueva acción erosiva para recomenzar el trabajo de excavación. Cada uno de los agentes erosivos efectúa la erosión de una o más maneras. Hay cuatro aspectos de la erosión:

- 1- Obtención del material suelto por un agente erosivo.
- 2- Desgaste de la roca sólida por el choque contra ella de los materiales en tránsito.
- 3- Desgaste mutuo de los detritos de las rocas en tránsito por contacto entre sí.
- 4- Transporte.

La **acción hidráulica** es el arrastre del material suelto por el agua en movimiento. Este proceso se denomina también **fluvirapción**. El proceso equivalente realizado por el viento se llama **deflación** y el del hielo, **limaduras**. Los sedimentos del sustrato pueden ser erosionados por detritos rocosos en tránsito. El desprendimiento de partículas del sustrato por acción del material transportado recibe el nombre de **corrosión o abrasión**. La remoción del material por disolución es conocida como **corrosión**.

TIPO DE EROSION	AGENTES ACTIVOS	AGENTE SOLO		AGENTE ARMADO CON DERRUBIOS	SOLO LOS DERRUBIOS
HIDRICA	AGUA	Acción disolvente y química	Desmenuzamiento mecánico y remoción de materiales por los cuales pasa	Desgaste superficial por los materiales transportados	Desgaste mutuo de los materiales transportados
PLUVIAL	LLUVIA	Corrosión	Salpicadura. Arroyada difusa. Arroyada en manto	Cincelado localizado	Atrición débil, si es que la hay
FLUVIAL	RIOS	Corrosión	Elevación hidráulica y restregado. Cavitación	Cincelado	Atrición
GLACIAL	GLACIARES, MANTOS Y CASQUETES DE HIELO	Corrosión limitada a cursos subglaciares	Exharacción (arranque) y excavación	Abrasión (como en superficies estriadas)	Atrición
EOLICA	VIENTO	Corrosión	Deflación (arrastré por el viento)	Cincelado eólico por ráfagas de viento	Atrición
MARINA	OLAS, MAREAS CORRIENTES MARINAS	Corrosión y corrosión	Varios procesos hidráulicos	Abrasión marina	Atrición

Fuente: Holmes, A.(1979): "Geología Física"; Edit. Omega. Barcelona.

Los procesos erosivos propios de los glaciares son la exharacción o arranque, el trabajo de zapa y el exhondamiento o excavación. El proceso de **exharacción** se refiere a la obtención de partes de sustrato por un glaciar cuando entra agua entre las grietas de las rocas y posteriormente se congela, con la disgregación consiguiente de fragmentos de rocas a medida que el hielo avanza. El término **trabajo de zapa** implica desgaste, para algunos significa extracción y para otros el desprendimiento que tiene lugar en los fondos de las grietas. El acucamiento local de la superficie del sustrato por acción glaciaria se denomina **exhondamiento**.

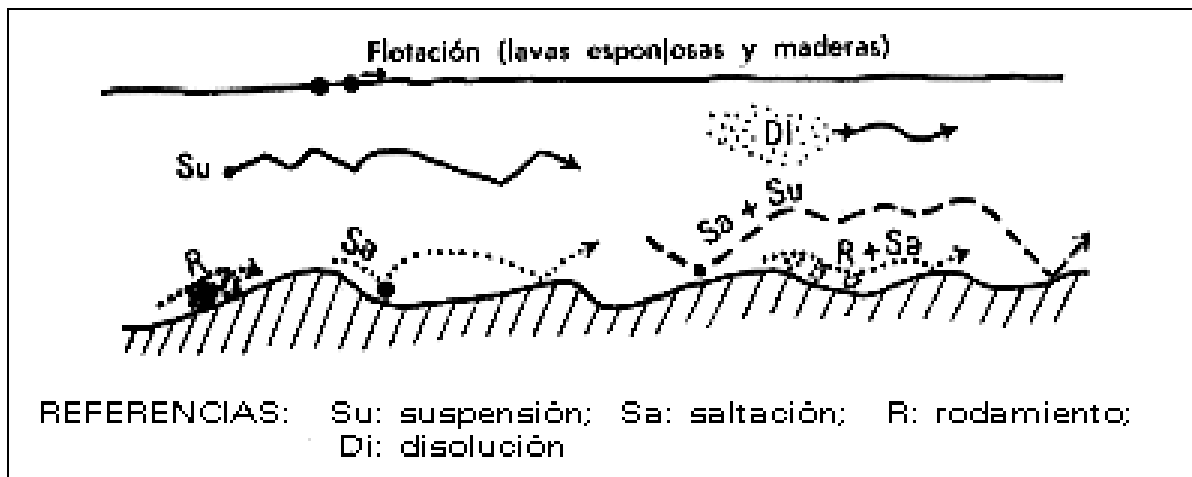
La **atrición** es el desgaste y deterioro a que están sometidas las partículas en tránsito por frotación,

trituration, choque, raspado y golpeteo mutuo, con la consiguiente disminución de tamaño.

TRANSPORTE

El **transporte** puede ser efectuado por los agentes móviles de cuatro maneras: tracción, suspensión, solución o disolución y flotación, tal como se observa en la figura adjunta. La **tracción** involucra el sostén parcial del material en tránsito por la fuerza ascensional del agua o del aire -fuerza o elevación hidrodinámica- que consta principalmente del rodaje, empuje y arrastre de las partículas de rocas que son demasiado grandes para ser levantadas e incorporadas al cuerpo principal del río o de la corriente.

El agua en movimiento puede transportar tanto partículas de tamaño grande como de tamaño pequeño, pero el viento puede transportar únicamente material de tamaño mucho menor, porque su densidad es mucho más baja y la fuerza ascensional resultante es mucho menor. El viento puede mover guijarros por tracción, cuando adquiere velocidades extremas. Si el movimiento es realizado notablemente por pequeños saltos y brincos intermitentes, se llama **saltación**. La **suspensión** involucra el sostén temporario de las partículas de rocas por agua o aire en movimiento. El flujo del agua o del aire, las mantienen por la presencia de turbulencias.



Una parte de la carga es llevada por el agua en forma de **solución** -en DISOLUCION- y es parte del fluido pero no reporta gasto extra de energía para su transporte. La **flotación** es un proceso menor de transporte. Algunos minerales inorgánicos como la mica o la piedra pómez son transportados de esta forma.

La **agradación** es una consecuencia inevitable de la degradación y contribuye a la nivelación general de la superficie terrestre. La acumulación es resultante de la pérdida del poder de transporte.

ESTUDIOS A ESCALA REGIONAL Y CONTINENTAL

A escala local, los geomorfólogos se concentran en los detalles de los **procesos** que al actuar **cambian la forma del paisaje**. A escala regional, la propia **forma** suele convertirse en uno de los principales objetos de estudio, mientras que a escala planetaria el interés se centra en los grandes modelos y procesos de ámbito mundial.

Los procesos a escala local son principalmente endogenéticos, es decir, actúan en la superficie terrestre como procesos subaéreos, subglaciales y submarinos. A escala planetaria, los procesos son principalmente endogenéticos, o sea, actúan en el interior de la Tierra, pero se ponen de manifiesto en la superficie en la distribución de tierras y mares y en los grandes modelos que siguen los accidentes de la superficie terrestre. A las **escalas regional y continental** se considera la **forma resultante de tales**

procesos, exo y endógenos, si bien se pondrá el acento en los **efectos** de los procesos externos y se subrayarán en ellos las relaciones entre Geomorfología y otras formas de la Geografía Física. **Se insiste en la relación entre forma y materiales.**

A escala mediana, tanto temporal como espacial, el paisaje puede resultar adaptado al material en que está modelado. Las rocas más resistentes sobresalen como prominencias y el relieve revela el modelo estructural. Las rocas duras forman el terreno más elevado. Los taludes suaves que siguen el buzamiento (reverso de cuestras) contrastan con los taludes más abruptos de los escarpes (frentes de cuestras) que coronan los valles inferiores; éstos, labrados en las rocas menos resistentes, suelen ser de arcillas.

RELACIONES ENTRE FORMAS Y MATERIALES. INFLUENCIA DE LAS ROCAS EN EL MODELADO

Ciertas rocas presentan formas características que permiten reconocerlas. Un espíritu observador se habitúa muy pronto a las cornisas de mesetas calizas, al modelado flojo e indeciso de pendientes arcillosas, a los aspectos ruinosos de las dolomías, a los pilares de los escarpados de arenisca, a las cumbres redondeadas de los domos graníticos. La distinción general entre rocas sedimentarias o exógenas y rocas eruptivas o endógenas tienen una significación geológica y geográfica clara. Las primeras constituyen depósitos marinos, lacustres o continentales, dispuestos en estratos paralelos, primitivamente horizontales, cuyas características cambian rápidamente en sentido vertical, tanto que la erosión tropieza con rocas diferentes en la excavación y el modelado de los valles.

Las rocas más antiguas son las más transformadas por metamorfismo, son las más compactas y con más fisuras. Las rocas eruptivas, resultantes de la cristalización por enfriamiento de elementos de origen profundo transportados cerca de la superficie, tienen estructura compacta, formando macizos extensos y de gran espesor, donde la erosión presenta una penetración sin grandes cambios.

Las propiedades de **coherencia, homogeneidad, permeabilidad**, etc., influyen en el relieve con un valor relativo: la arenisca parecerá permeable comparada con el granito vecino e impermeable respecto de una caliza, siendo más compacto que la arena, resultaría un terreno pizarroso y fisurado al lado del granito. Las rocas **coherentes** o más compactas como el granito, calizas en masas, areniscas y cuarcitas no descompuestas oponen más resistencia a la excavación de la vaguada, pero todavía es mayor la que presentan al modelado de las vertientes. Este sólo puede hacerse mediante arroyada o desmoronamiento. El ensanchamiento del perfil es generalmente tardío en rocas de gran coherencia y precoz en rocas de granos no coherentes. Las vertientes arenosas se desploman y están sometidas a deslizamientos desde el principio de la excavación.

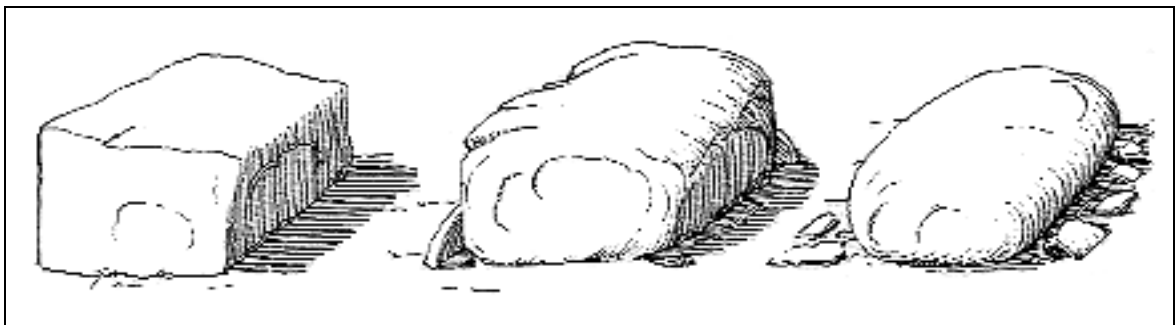
La **homogeneidad** es tanto mayor cuanto más semejantes son los granos en tamaño y naturaleza química. Rocas aparentemente compactas pierden rápidamente su dureza por descomposición, si son lo bastante heterogéneas. El mejor ejemplo es el granito, formado por granos de cuarzo, feldespato y mica, de tamaño, de composición química y color muy diferente que se convierte en arena no bien ataca la descomposición química a los feldespatos.

Del mismo modo, la arenisca se convierte en arena y las calizas impuras o formadas por varios tipos de carbonato pierden rápidamente su coherencia. El modelado y descomposición de rocas heterogéneas tiene escasa importancia en la excavación de cauces, pero participan activamente del modelado de las vertientes, ya que facilita los deslizamientos que ensanchan el valle y redondean las crestas de las vertientes. El grosor medio del grano tiene mayor importancia cuanto más heterogéneo es la roca. En un extremo de la escala se localizan las pudingas y areniscas; en el otro, arcillas, pizarras, margas y calizas compactas.

El modelado de las vertientes en rocas friables o de grano grueso es generalmente capaz de mantener pendientes más acentuadas. La pizarrosidad facilita la descomposición mecánica, observable en las cumbres alpinas, enterradas bajo cúmulos de losas. Existen dos clases de pizarrosidad: la **estratificación**, propia de las rocas sedimentarias y de ciertas coladas volcánicas y la **exfoliación**, debido a fracturas paralelas causadas por presiones orogénicas. Los planos de exfoliación multiplican las superficies, prestándose así a la infiltración de las aguas y a la descomposición, por medio de diaclasas. Se prestan también a la formación de escombros en vertientes de gran inclinación. Si las rocas son bastante heterogéneas, facilitarán la formación de bolas, en granitos y areniscas.

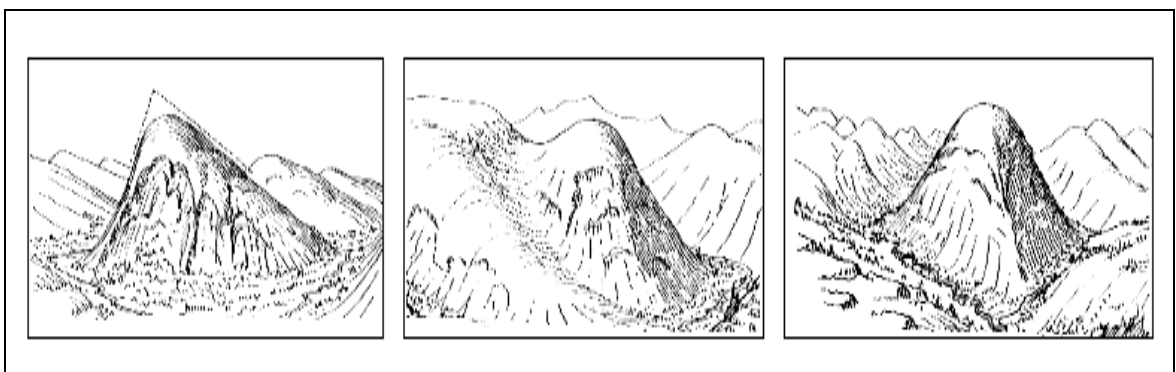
Pocas distinciones tienen tanta importancia geográfica como la existente **entre rocas impermeables y permeables**. Esta distinción gobierna no sólo el modelado, sino también la hidrografía. La impermeabilidad absoluta no existe. La permeabilidad depende del estado pizarroso y de la homogeneidad. La disolución se opera a lo largo de planos de pizarrosidad, de diaclasas o de puntos de contacto de granos diferentes, que crea una red de huecos. La influencia de la permeabilidad sobre las formas del relieve se manifiesta por la modificación de las condiciones de excavación de la vaguada, el modelado de las vertientes y el transporte de derrubios. Hay numerosos grados de densidad en la red hidrográfica, los cuales dependen de la mayor o menor permeabilidad. En general, las excavaciones son más profundas cuanto más densa es la red. El modelado de las vertientes depende de la permeabilidad del suelo. La infiltración rápida reduce la arroyada, así como los deslizamientos de terreno que provoca. Las vertientes son más verticales cuando hay rocas muy permeables. Los escarpes rocosos que producen aludes, son frecuentes, aún en áreas de colinas.

Las **rocas granitoides** como el granito, granulita, diorita, sienita y gneis forman potentes macizos, donde la erosión halla similares condiciones en extensas áreas. Son rocas compactas, impermeables, macizas pero heterogéneas y atravesadas por grietas y diaclasas. La topografía granítica es propia de los relieves confusos de los macizos hercinianos de Morvan y Limosin, con una red hidrográfica muy ramificada, valles dilatados separados por lomas redondeadas. Se observan caracteres de madurez.



FORMACION DE BOLAS. Fuente : Strahler, A. y Strahler, A. (1994) : "Geografía Física". Edit. Omega.

La **descomposición en forma de bolas** es frecuente en rocas cristalinas compactas, observables en filones de diabasa, dioritas y basaltos recientes. La pizarrosidad de los gneises no es favorable a tal formación. Las bolas graníticas no son desconocidas en países tropicales, aunque llama la atención los pitones rocosos de las pendientes, extremadamente abruptas sobre una topografía ondulada cubierta de escombros.



FORMACION DE DOMOS ROCOSOS. Fuente : Strahler, A. y Strahler, A. (1994) : "Geografía Física". Edit. Omega.

Los "**panes de azúcar**" como los de Río de Janeiro o Camerún meridional son relieves con paredes subverticales, curvas, denudadas. La roca se corta en gruesas escamas, que muchas veces es posible hallarlas al pie; en otros casos, el pie de los panes está libre de escombros.

Las **agujas alpinas** son afiladas agujas monolíticas, con losas lisas y bloques amontonados. Se

observa la trama de juntas, diaclasas y fracturas. Al pie de las murallas se acumulan derrubios. En los macizos graníticos pirenaicos es débil la erosión glaciaria. Las cordilleras de agujas dan paso a crestas "en oruga", de pavimento inclinado y relativamente llano, en el que se han abierto surcos de fracturas rectilíneas.

Las **depressiones graníticas** se forman cuando en ocasiones, el granito suele ser menos resistente que sus alrededores metamórficos (Canadá, Sahara) o sedimentario (calizas de Foix). Las **llanuras graníticas tropicales** tendrían un modelado menos notable si en medio de sabanas o estepas arenosas no surgieran montañas aisladas "inselberg", con vertientes abruptas tapizadas de peñascos redondeados unos sobre otros. El Tanezruft, en el Sahara es una llanura granítica, llana, salpicada de una delgada capa arenosa o pedregosa. Las hay también en Mauritania, Sudán, norte de Camerún y África del Sur.

Los rasgos comunes de los modelados graníticos residen sobre todo en los contrastes. La oposición entre las vertientes pronunciadas de roca sana, tanto en los inselbergs como en las agujas alpinas se diferencia notablemente de las concavidades cubiertas de material detrítico. La segunda oposición hace referencia a la forma de los medios fríos y a la de los medios tropicales y subtropicales. En los primeros, la destrucción de los relieves graníticos se hizo o se hace por derrumbamientos o desprendimientos de bloques geométricos, dando por resultado formas angulosas; en los segundos, existen pocos o inexistentes derrubios, dado que a la meteorización mecánica la precede una fuerte alteración química.

Las **rocas sedimentarias** presentan diferentes modelados según se trate de rocas deleznales, exfoliables o compactas. En el grupo de las rocas sedimentarias deleznales se incluyen las rocas detríticas cuyas partículas no están cementadas: arcillas, arenas, loess, limos, molasas. Las arcillas verdaderas fijan el agua aumentando su volumen y haciéndose más fluidas: la sequedad las contrae y agrieta. En los medios áridos las precipitaciones escasas y violentas favorecen *el abarrancamiento o la formación de cárcavas*, donde es preponderante la erosión lineal, ya que la escasa vegetación y las pendientes importantes favorecen la concentración de hilillos de agua. La topografía se caracteriza por barrancos ramificados muy estrechos, próximos y profundos, denominados "cárcavas, bad lands o huayquerías". Las cárcavas presuponen gran pendiente y gran velocidad. Si disminuye la pendiente, la corriente no puede profundizar y se ensancha, dando lugar a la formación de un **glacis**.

En los climas templados, la arcilla forma barrancos con frecuente soliflucción, que en la madurez avanzada genera **lomas rebajadas**. Cada valle presenta vertientes cóncavas hasta casi la cima de las lomas. Al final del ciclo los valles son muy anchos y separados por pequeñas lomas. Las margas y pelitas evolucionan de forma parecida. Las arenas, constituidas por granos finos, son presa fácil tanto para el viento como para la arroyada. Presentan un comportamiento variable según el clima. Cada grano es resistente a la erosión, sobre todo si se hallan impermeabilizadas. Esto puede ocurrir si: a) si sobre ellas se forma un suelo podsólico con banco concrecionado compacto; b) si se saturan de agua; c) si se hielan.

El perfil típico de las arenas en clima templado es el **de lomas con interfluvios extensos**, que separan lechos fluviales entallados. Las arenas se hallan fijadas por una costra podsólica. Las vertientes son muy convexas.

El **modelo dunar y las planicies de arena** caracterizan a las áreas desérticas sin cobertura vegetal. En las regiones polares la arena mojada se hiela en masa y sólo se deshíela en la superficie, en contacto con el agua de la arroyada estival. Así se crean barrancos como los de arcilla, en medio seco. Las **molasas** ocupan vastos espacios al pie de las grandes cordilleras montañosas. Su comportamiento morfogenético depende de su contenido en arcilla, de caliza y de materiales gruesos. Las vertientes son a veces muy pronunciadas, principalmente en las molasas de areniscas.

En el grupo de las rocas exfoliables se incluyen las rocas sedimentarias muy estratificadas: calizas de placas, flysch, esquistos, creta. Estas rocas se mantienen bien en las vertientes gracias a su estratificación. En ellas se pueden **observar vertientes pavimentadas** con guijarros seleccionados y desplazados por una arroyada difusa, o bien, **barrancos más espaciados** que en las arcillas, ya que es necesario una mayor concentración de aguas para arrastrar estas rocas de gran volumen. No son raros los **escarpes** dominando los mantos de derrubios bien provistos, **con pendientes moderadas**. Debido a la compacidad de los materiales que componen las rocas sedimentarias compactas, los procesos mecánicos sólo tienen eficacia si las rocas están bien divididas por las diaclasas o si la preparación bioquímica ha sido

eficaz.

Los conglomerados dan, por su coherencia, **escarpes verticales** o muy próximos a la verticalidad. Si la pendiente es fuerte, se acentúa la erosión lineal, lo que provoca una gran excavación. Pueden darse derrubios en bloques. Los relieves acaravados en conglomerados arcillosos originan **mesas basculantes** o "demoiselles coiffées". Los grandes bloques protegen contra la arroyada ciertas porciones del conglomerado, mientras el conjunto se erosiona.

Las areniscas son de permeabilidad media y relativa resistencia. Su coherencia, dureza y disposición estratificada facilitan la existencia de relieves tabulares, como por ejemplo, en el N.E. de Africa, las areniscas triásicas del este de Francia, las de la Alemania media. Los valles se ensanchan con rapidez, las vertientes, permeables, se hallan en retroceso por el diaclasamiento. Las diaclasas forman microvalles erosionados por el viento y el hielo, resultando un paisaje dominado por pilares y agujas, por ejemplo, en la Suiza sajona. No siempre dan relieves pintorescos, a menudo son masivos. Un caso particular lo presentan las cuarcitas, que son areniscas con cemento silíceo bastante homogéneas. Las cuarcitas son las rocas más resistentess. A menudo forman **crestas agudas** que dominan los relieves.

Las calizas dolomíticas, donde dominan los procesos de disolución y de disgregación mecánica, forman **mesetas calizas laberínticas**, como los relieves ruiformes de la " ciudad Encantada" de Cuenca (España) y las **agujas afiladas, torres, y castillos** de los Alpes Marítimos y de los Alpes Dolomíticos. La intensa gelifración suele provocar la existencia de extensos mantos de derrubios al pie de estas formaciones, generalmente denominadas "casses".

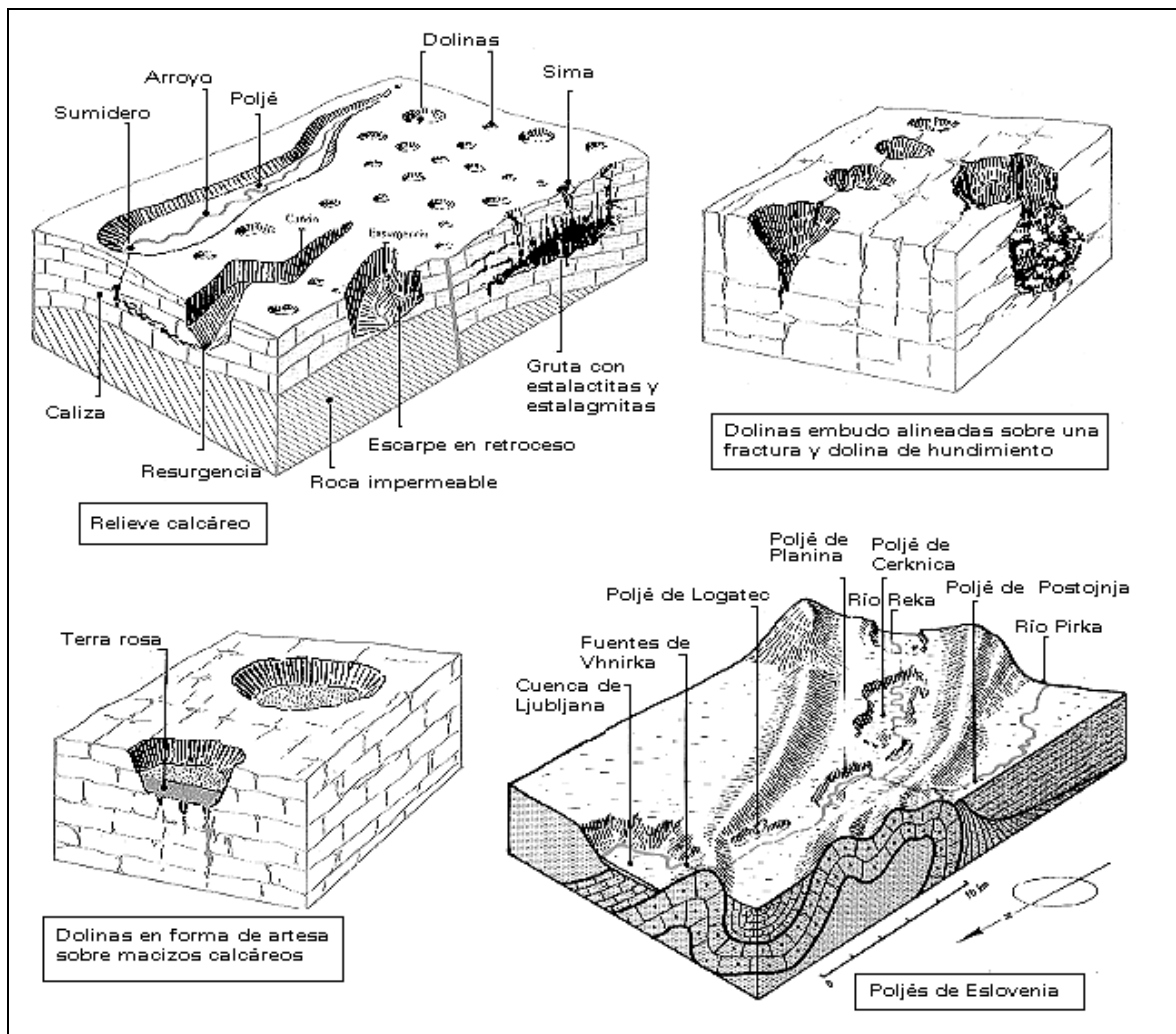
Cuando las calizas compactas ocupan un puesto destacado en el relieve, con espesores suficientes, el modelado llama la atención por unos caracteres que no se encuentran en ninguna otra parte. Se multiplican los escarpes rocosos; los valles, más escasos, muchas veces están secos; las mesetas están sembradas de depresiones cerradas.

Este tipo de paisaje es común en el Karst yugoslavo, de allí que genéricamente se designe con el nombre de **paisajes kársticos** a estas formas en distintas partes del mundo. El agua que cae en la superficie terrestre, líquida o sólida, da origen a los cursos de agua superficiales. Gran parte se evapora y otra parte se infiltra, formando las aguas freáticas. Esta infiltración está relacionada con la permeabilidad del suelo.

Las aguas de infiltración pueden dar lugar a fenómenos de disolución, al circular por el interior de la corteza; es más acentuada en las rocas calizas, pues cargada el agua con anhídrido carbónico, se disuelve la caliza, convirtiéndose en bicarbonato cálcico, muy soluble. Mediante dicha acción, se ensanchan paulatinamente las grietas naturales de pequeño tamaño originando galerías irregulares con cascadas, ríos y lagos, emergiendo en la superficie a un nivel inferior.

En macizos calcáreos, las fallas se ensanchan formando profundas hendiduras, separando al macizo en bloques. Estos puntos de confluencia de diaclasas y fallas crean depresiones embudiformes llamadas **torcas, dolinas o sumideros**, que pueden comunicar con cuevas subterráneas. Estas depresiones evolucionan rápidamente en superficie, conjugándose con otras, formando **uvalas**. Estas pueden evolucionar hasta formar depresiones alargadas llamadas **poljé**. En estos pueden fluir ríos superficiales y el suelo puede ser apto para el cultivo como en el poljé de Livno. La acción del agua subterránea, cargadas con las sales en disolución se infiltran por una serie de fallas o resbalan sobre capas impermeables, produciendo **galerías y cámaras**, como también **cuevas y cavernas**.

Macizos kársticos existen en distintos lugares del mundo: Carlsbad en Nuevo México, (en Estados Unidos); macizo calcáreo de Kentucky (en E. Unidos); Causses (en Francia) ; Drach en Mallorca (España). En oportunidades el techo de la caverna puede hundirse, ensanchándola hacia arriba, produciendo un valle seco y estrecho. Estas fisuras, grietas, galerías y cavernas aportan aguas a los ríos subterráneos, que aparecen a un nivel inferior. Estas aguas de infiltración, cargadas de bicarbonato cálcico en disolución, contienen aún anhídrido carbónico. Las aguas suelen quedar suspendidas en gotas del techo, donde se evapora el anhídrido carbónico y se deposita el carbonato de calcio. Aparecen así **estalagmitas** (de la base) y **estalactitas** (del techo). Pueden formar **columnas** por su unión.



PAISAJES KARSTICOS. Fuente: Papy, L. y Gourou, P. (1980): op. cit.

Cuando las aguas carbonatadas surgen en los lados de una caverna, se forman concreciones estratificadas que siguen las ondulaciones. Las fuentes emergentes depositan carbonato cálcico sobre la vegetación, produciendo un material poroso, llamado travertino. Los efectos de disolución de aguas circulantes en calizas pueden originar cavidades ovales o esféricas que pueden llenarse parcialmente con sílice, que se deposita como una cáscara alrededor de la cavidad y penetra en la caliza adyacente. Se forman así cuerpos silíceos huecos más duros que las calizas y cuando éstas se han erosionado o disueltas, quedan libres, formando geodas.

El rasgo más importante del karst es la **ocultación de las aguas**. Si todavía hay escurrimiento superficial, el karst es imperfecto. Los poljés inundados demuestran un karst al final de su evolución. Esta evolución depende del desnivel existente entre la superficie y el nivel de base kárstico. En muchas masas calcáreas no puede hablarse de un nivel de base kárstico, ya que:

- No hay comunicación entre dos galerías próximas, porque las microfisuras que permiten esa comunicación están taponadas. Existen galerías secas y el agua no circula goteando.
- No hay comunicación entre dos bloques tectónicos próximos, ya que una falla puede interrumpir las galerías o avenar el agua hacia la superficie.
- La circulación de las aguas de infiltración parece independiente del nivel de los grandes valles y del mar. Si una capa impermeable se intercala entre las calizas, crea un nivel de base kárstico.

El relieve kárstico es el más característico, pero no el único de los relieves calcáreos. En lugar de regularizar, los procesos de karstificación tienden, hasta un grado muy avanzado de evolución, a acentuar los contrastes.

RELACIONES ENTRE FORMAS Y PROCESOS. REGIONES MORFOGENETICAS Y CONTROL CLIMATICO

Los procesos están directamente ligados a la Geomorfología, pero a su vez, dependen sustancialmente del clima, el cual en cierta medida es en sí mismo, dependiente de los principales aspectos del relieve. Los accidentes menores afectan al microclima. Los ejemplos más claros de la **relación entre formas y procesos** se halla en el modelado de algunos accidentes glaciarios el modelo depende de la influencia dominante del clima, junto con la morfología y orientación del paisaje.

La acción del clima sobre el relieve se manifiesta tanto en la explotación de la estructura geológica como en los variables caracteres del modelado. Por ejemplo, la creta y otras calizas en un ambiente periglacial, resultan particularmente susceptibles a la erosión, debido a su gran porosidad y a la débil cementación de sus elementos constitutivos, que la hacen muy vulnerables a la crioclastia.

Una de las geoformas con mayor influencia climática es un circo glaciario, una de las **formas de relieve glaciar** más fáciles de identificar, con una pared abrupta de rimaya detrás y con un fondo excavado en hondonada, que a veces alberga un pequeño lago. Los circos se presentan bajo una gama continua de formas, que abarcan desde el suave hoyo de un nicho de nivación, nunca ocupado por hielo en movimiento, a circos bien definidos, con lagos, barreras rocosas terminales y las aristas que las rodean. Las formas de circo mejor desarrolladas suelen hallarse cerca de los confines de la zona afectada por una glaciación, donde los glaciares fueron activos, con un balance bruto de masa grande, pero donde el grosor del hielo no fue excesivo. La naturaleza del terreno también desempeña su papel, puesto que los circos se desarrollan mejor en grupos de montañas de fuertes pendientes y picos agudos que en superficies más llanas de altiplanicies sobre los que casquetes de hielo de montaña tienden a formar glaciares de lengua.

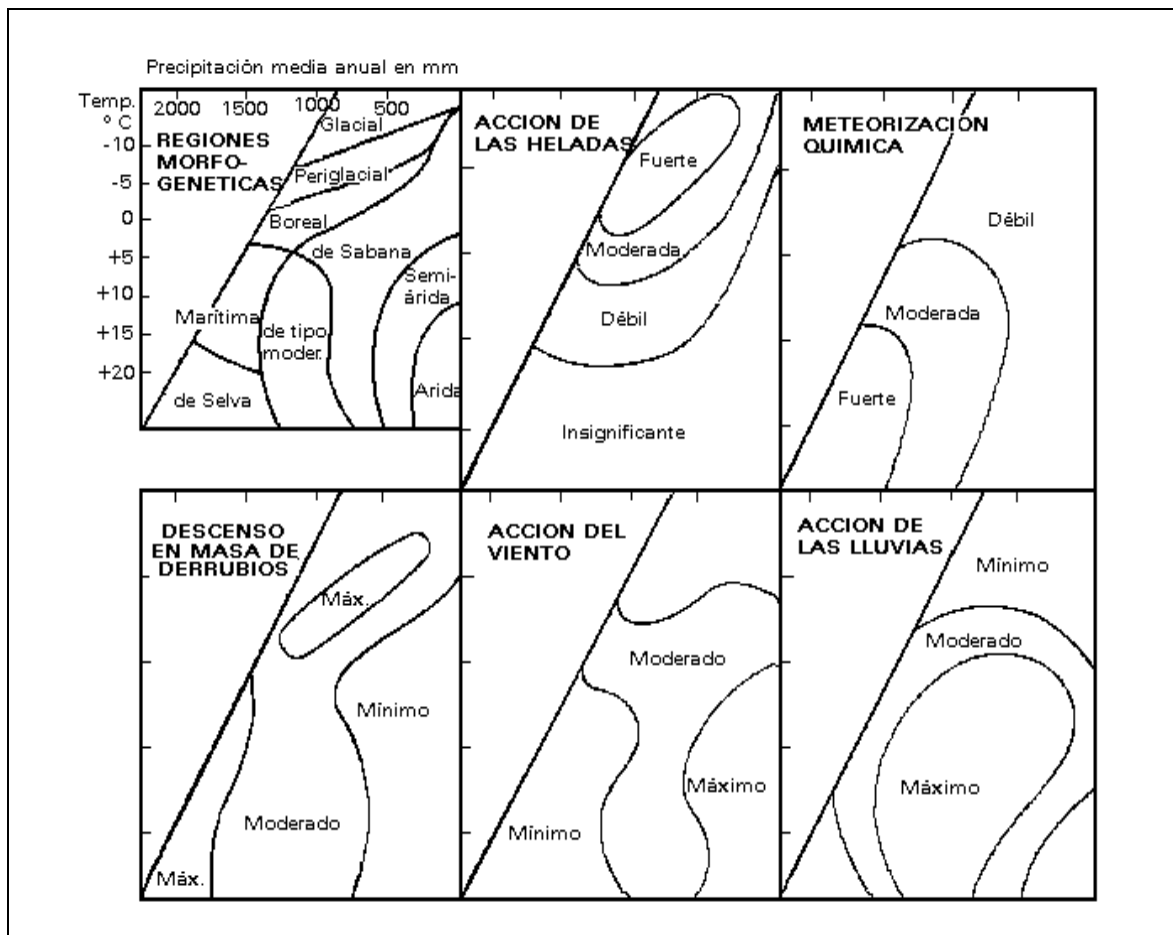
La naturaleza del hielo en movimiento en un glaciar de circo se ha investigado en Noruega excavando un túnel por el glaciar. Los resultados demostraron que en el circo, el hielo se movía principalmente en un giro de arco casi circular. El hielo baja en la zona de acumulación, sobre el lecho basal del circo, donde el hielo tiene su máxima potencia en la línea de equilibrio, y luego tiene su componente hacia arriba en la zona de ablación. En general, el hielo resbala sobre el lecho, allí donde es más grueso, barriendo y uniformizando el lecho del circo. Allí donde el hielo es más delgado, cerca de la abrupta pared de rimaya, puede penetrar el agua de fusión por debajo de la superficie; al congelarse, el agua estimula el proceso de arrancar excavando, que crea y modela la pared de la rimaya y los bloques así arrancados sirven de abrasivo para la acción erosiva circo abajo, donde el hielo resbala sobre el lecho.

También la acción del clima sobre el relieve se traduce en modelados definidos por la pendiente y la forma de las vertientes. La observación de los perfiles de las formas estructurales revela ya su diversidad, según las regiones. La originalidad morfoclimática de un área se manifiesta asimismo en la importancia adquirida por ciertos géneros de formas de relieve, ausentes o estrictamente localizadas en otros lugares, como por ejemplo, la distribución de las dunas. Aunque aparecen en la mayor parte de los litorales, es en los desiertos donde la acumulación eólica alcanza su mayor intensidad, tanto por la extensión de los espacios afectados como por la diversidad y complejidad de los edificios dunares formados. Este desarrollo traduce la convergencia en medios áridos de las condiciones óptimas para la actividad morfogenética del viento, lo que no ocurre en otros lugares, salvo en parte en los márgenes litorales.

REGIONES MORFOGENETICAS Y MORFOCLIMATICAS

El concepto de **región morfogenética** o FORMKREISE puede definirse como *"... un juego determinado de condiciones climáticas, donde predominarán procesos geomórficos particulares y por lo tanto, imprimirán al paisaje de la región características que lo distinguirán de otras áreas desarrolladas bajo condiciones climáticas diferentes"*.

A la luz de este concepto, Louis Peltier en 1950 enunció las regiones morfogenéticas que se detallan a continuación, en las que relaciona el tipo de proceso que domina en diferentes condiciones climáticas, en función de la temperatura y las precipitaciones.



Las nueve regiones morfo-genéticas identificadas en la figura anterior, están sujetas a los procesos siguientes:

- * GLACIAL: nivación, erosión y deposición glaciales, acción del viento, fuerte acción de las heladas y meteorización mecánica moderada.
- * PERIGLACIAL: fuerte acción de las heladas y meteorización mecánica; fuerte nivación y descenso en masa de derrubios; acción entre moderada y fuerte del viento y débil acción del agua corriente.
- * BOREAL: acción moderada de las heladas; acción entre moderada y débil del viento, acción moderada del agua corriente y débil meteorización.
- * MARITIMA: fuerte movimiento en masa y acción entre moderada y fuerte del agua corriente; entre fuerte y moderada de la meteorización química y meteorización mecánica moderada.
- * DE SELVA: importantes descensos en masa de derrubios, sin acción del viento, máxima meteorización química, débil acción del agua corriente.
- * DE TIPO MODERADO: acción máxima del agua corriente, moderados descensos en masa de derrubios, acción débil de heladas; poca acción del viento; meteorización moderada tanto química como mecánica.
- * DE SABANA: acción del agua corriente fuerte o débil; la del viento y la meteorización mecánica son moderadas; la meteorización química es entre moderada y fuerte.
- * SEMIARIDA: acción fuerte del viento; entre moderada y fuerte del agua corriente; descensos en masa de derrubios entre moderados y fuertes; meteorización mecánica y química entre moderada y débil.
- * ARIDA: fuerte acción del viento; débiles descensos en masa de derrubio; débil acción del agua corriente y meteorización química y mecánicas débiles.

BIBLIOGRAFIA

- Bloom, Arthur (1974) : *La superficie de la Tierra*. Edic. Omega. Barcelona.
 Coque, Roger (1977) : *Geomorfología*. Ed. Alianza Universidad Textos. Madrid.
 Derruau, Max (1981) : *Geomorfología*. Ed. Omega. Barcelona.
 King, Cuchlaine A. (1983) : *Geografía Física*. Ed. Oikos Tau. Barcelona.
 Muñoz Jiménez, Julio (1992) : *Geomorfología General*. Col. Espacios y Sociedades. Edit. Síntesis. Madrid.
 Papy, L. y Gourou, P. (1980) : *Compendio de Geografía General*. Editoriales Rialp (Manuales Universitarios), Madrid.
 Rice, J. (1984) : *Fundamentos de Geomorfología*. Ed. Paraninfo. Madrid.
 Strahler, A. y Strahler, A. (1994) : *Geografía Física*. Edic. Omega. Barcelona.