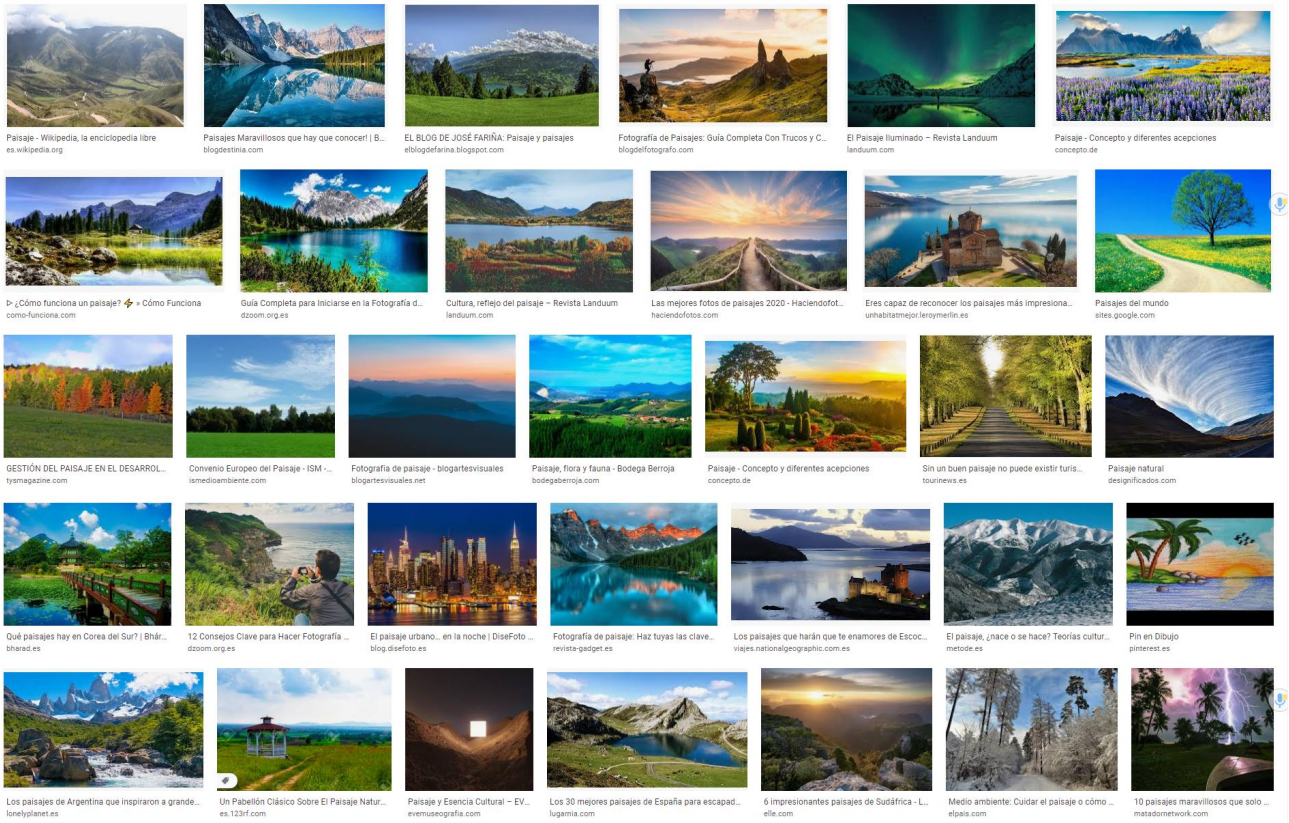
Tema 6: GEOLOGÍA, PAISAJES Y CLIMA

⇒ LA GEOLOGÍA Y EL PAISAJE



→ Esta primera diapositiva es un **mosaico de paisajes muy distintos** (montañas, glaciares, desiertos, costas, selvas, ciudades).

→ **¿Qué nos quiere transmitir?**

1. **El paisaje es extremadamente diverso**, pero esa diversidad **no es aleatoria**.
2. Detrás de cada paisaje hay:
   - un **tipo de material** (rocas),
   - unos **procesos geológicos**,
   - y una **historia temporal** concreta.
3. La geología actúa como el **esqueleto del paisaje**: condiciona todo lo demás.

⇒ ¿QUÉ ES "PAISAJE" DESDE LA GEOLOGÍA?

En geología, el paisaje es el **resultado visible** de la interacción entre:

- **Materiales** (qué rocas hay, cómo están dispuestas),
- **Estructura** (pliegues, fallas, fracturas),
- **Procesos externos** (meteorización, erosión, transporte, sedimentación),
- **Procesos internos** (levantamiento tectónico, volcanismo, subsidencia),
- **Clima** (temperatura, lluvia, hielo, viento),
- **Tiempo** (cuánto tiempo llevan actuando esos procesos).

Si vemos:

- un **desierto**, no es solo arena: es **aridez + viento + escasez de vegetación + meteorización física dominante**.
- un **valle glaciar**, no es solo nieve: es **hielo moviéndose, arrancando y puliendo roca**.
- una **costa con acantilados**, no es solo mar: es **oleaje, litología, fracturas y nivel del mar**.

- una **ciudad**, también hay geología: el ser humano modifica el relieve, pero **lo hace sobre una base geológica concreta** (suelos, estabilidad, agua subterránea, rocas de cimentación).

  👉 Paisajes distintos = **historias geológicas distintas**. Por tanto, hay que tener en cuenta que un paisaje es un **"documento"**: si se sabe leer bien, nos cuenta su historia.

→ Todo esto es la puerta de entrada al tema.

⇒ **<u>LA GEOLOGÍA Y EL PAISAJE (RELACIONES FUNDAMENTALES)</u>**

Aquí ya entramos en el núcleo teórico.

1) El modelado de la superficie es el reflejo de procesos a lo largo del tiempo
Esto significa algo muy concreto:

- La forma del terreno (relieve) no es un "dibujo" caprichoso.
- Es la consecuencia de que **unos procesos han dominado sobre otros**, actuando **mucho tiempo** sobre **ciertos materiales**.

→ Ejemplo claro:

- Un **granito** tiende a fracturarse y formar el **paisaje granítico característico**, creado muy lentamente por la erosión o fracturas (**diaclasas**) provocado por el agua y la gravedad, lo que deja grandes **bloques redondeados de granito, llamados berruecos o bolos**, apilados de forma caótica, como rocas en seta o piedras caballeras.
- Una **caliza** tiende a disolverse y formar **dolinas** (depresión natural, generalmente circular y de tamaño variable), cuevas o cañones kársticos (valles profundos y escarpados).
- Una **arcilla** genera laderas suaves y es muy sensible a deslizamientos cuando se satura de agua.





2) Materiales, agentes de erosión, suelos… resultado de larga evolución

- **Agentes de erosión**: agua (ríos, lluvia), hielo (glaciares), viento, gravedad.
- **Suelos**: no son "tierra" sin más; son la piel alterada de la roca, mezclada con materia orgánica, y tardan mucho en formarse.
- Si cambia la roca y el clima, cambia el suelo, y si cambia el suelo, cambia la vegetación y la erosión.

3) Vegetación: no es solo clima, también geología
La vegetación depende del clima, sí, pero geológicamente depende de:

- **profundidad del suelo** (en roca dura puede ser muy fino),
- **textura del suelo** (la arena drena, la arcilla retiene),
- **nutrientes** (rocas distintas aportan química distinta),
- **pH** (las calizas suelen dar suelos más básicos, los granitos lo dan más ácidos),
- **agua disponible** (acuíferos, permeabilidad, fracturación).

→ Por eso dos zonas con clima parecido pueden tener vegetación diferente si su geología cambia.

4) El clima: condiciona los procesos
El profesor nos dio ejemplos: inundaciones, alteración de rocas…

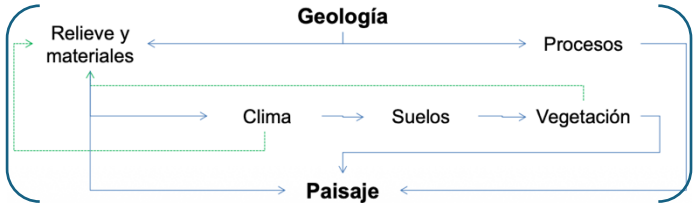
- En **clima cálido y húmedo**, domina la **alteración química**: arcillas, suelos profundos, disolución.

- En **clima frío**, domina la **acción del hielo** (gelifracción, glaciares).
- En **clima árido**, domina la **meteorización física** y el **viento** (deflación, dunas).

5) El esquema (Geología + Clima + Vegetación → Paisaje)

La idea es sistémica:

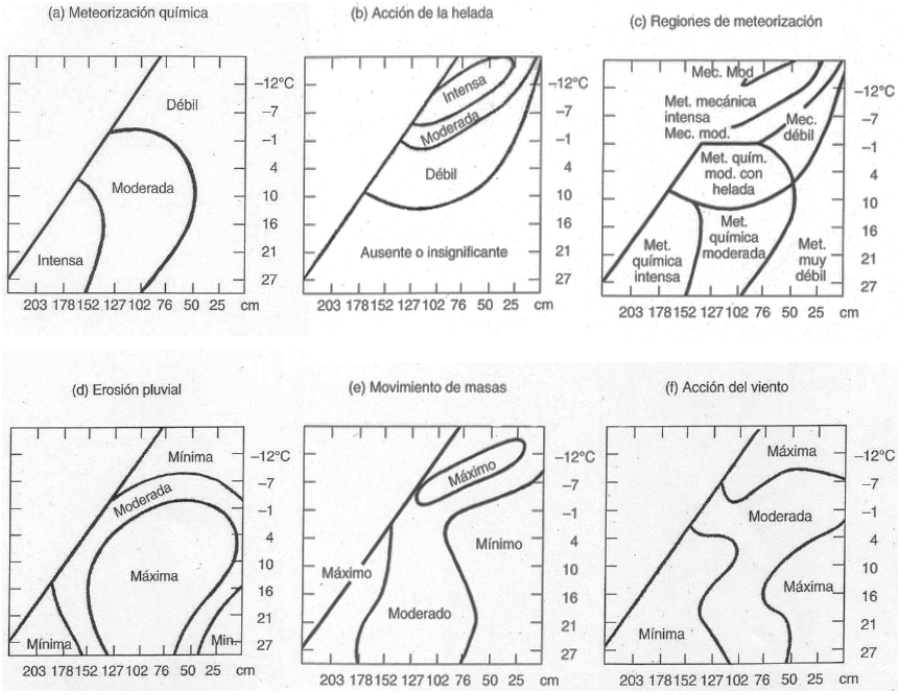
- La geología influye en el relieve y materiales.
- El clima regula procesos superficiales.
- Eso condiciona suelos y vegetación.
- Y todo junto "se ve" como paisaje.



⇒ GRÁFICOS DE PROCESOS Y CLIMA

Aquí podemos ver varios diagramas que relacionan **temperatura / humedad** con la **intensidad** de procesos.

Aunque no leamos cada curva al milímetro, el sentido es muy claro: **cada clima favorece un conjunto de procesos**.



1) Meteorización química

- Máxima cuando hay **agua + calor**.
- Porque la química necesita:
  - agua como disolvente y medio de reacción,
  - temperatura para acelerar reacciones.
- Resultado típico: suelos profundos, arcillas, lateritas en trópicos.

2) Meteorización física (mecánica)

- Aumenta en climas **fríos** (por hielo) o **áridos** (por contrastes térmicos y ausencia de suelos protectores).
- Mecanismos típicos:
  - **gelifracción**: el agua entra en grietas, se congela, expande y rompe.
  - **termoclastia**: dilatación/contracción por cambios de temperatura (más marcada en desiertos).

3) Acción de ríos (erosión fluvial)

- Necesita precipitación suficiente y escorrentía.
- Suele ser máxima donde hay lluvias intensas o regímenes estacionales fuertes.
- Forma valles en V, cañones, terrazas fluviales.

4) Movimientos de ladera (deslizamientos)

- Se favorecen cuando:
  - hay pendientes,
  - hay materiales débiles (arcillas, margas),
  - hay agua (reduce fricción y "lubrica" planos).
- Por eso climas húmedos y lluvias intensas disparan deslizamientos.

5) Acción del viento

- Se dispara en climas **secos**, con poca vegetación y sedimentos sueltos:
  - deflación (arranque),
  - transporte,
  - dunas,
  - abrasión eólica.

→ No existe "un modelado universal". El relieve que se forma depende de qué procesos "ganan" en ese clima.

⇒ EL PAISAJE COMO RESULTADO Y COMO CLASIFICACIÓN GLOBAL

1) El paisaje puede estar modificado por el ser humano

Esto en geología es importante porque el ser humano actúa como un **agente geomorfológico**:

- excava,
- rellena,
- canaliza ríos,
- desmonta laderas,
- construye embalses,
- extrae áridos y roca.

Es decir: los humanos alteran los procesos naturales, a veces más rápido que la naturaleza. De hecho, existen muchos tipos de paisajes en los que es el principal agente modelador: paisajes urbanos, paisajes agrícolas, etc.



2) Clasificación global por clima y vegetación

Aquí se nos enseña bandas latitudinales (fría–templada–cálida). La idea es:

- A escala planetaria, la distribución de climas es relativamente regular por la insolación.
- Y eso crea grandes familias de paisajes.

👉 Pero atención: esto es un esquema general. La geología local puede "romper" el patrón. Por ejemplo:

- Zonas frías en latitudes templadas por alta montaña.
- Zonas áridas dentro de franjas no tan áridas por sombras orográficas.

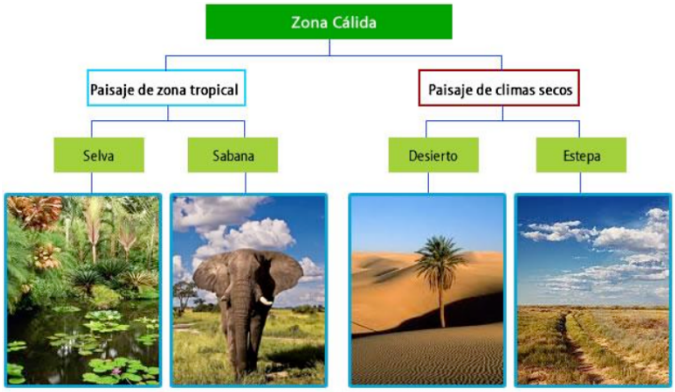
⇒ ZONA CÁLIDA: TROPICAL Y SECO



Veamos de qué manera se empieza a cruzar clima con "tipo de paisaje".

1) Zona cálida: el factor decisivo es el agua

En la zona cálida, la temperatura no suele ser el factor limitante; lo es el **agua**.



2) Paisaje tropical: selva vs sabana

- **Selva**:
  - mucha lluvia,
  - meteorización química intensísima,

- suelos muy lavados (paradójicamente pueden ser pobres en nutrientes porque la lluvia arrastra),
- ríos caudalosos.

- **Sabana**:
  - estación seca marcada,
  - vegetación discontinua,
  - erosión y transporte estacionales,
  - incendios frecuentes (no geológicos, pero influyen en suelo y cobertura).

3) Paisajes secos: desierto vs estepa

- **Desierto**:
  - casi sin vegetación,
  - dominan procesos eólicos y mecánicos,
  - grandes amplitudes térmicas,
  - abanicos aluviales y ramblas en lluvias torrenciales.
- **Estepa**:
  - algo más de lluvia que el desierto,
  - vegetación baja,
  - suelos y procesos intermedios.

👉 **Clave geológica:** En climas secos, el agua aparece poco pero cuando aparece, actúa con tremenda violencia.

⇒ ZONA TEMPLADA: MEDITERRÁNEO, MARÍTIMO Y PRADERA



1) Paisaje mediterráneo

- Lluvia irregular: episodios intensos + periodos secos.
- Consecuencia geológica:
  - **erosión episódica** (riadas, cárcavas),
  - suelos a veces poco desarrollados en laderas,
  - gran importancia de la cobertura vegetal para evitar pérdida de suelo.

2) Paisaje templado marítimo

- Lluvias más regulares.
- Consecuencia geológica:
  - ríos más constantes,
  - suelos más continuos,
  - laderas más estabilizadas por vegetación (aunque también hay deslizamientos en saturación).



3) Paisaje de pradera

- Relacionado con llanuras y suelos profundos.
- Importancia:
  - grandes suelos agrícolas,
  - procesos de erosión si se elimina cobertura vegetal.

👉 El clima templado genera paisajes donde el modelado suele ser menos "extremo" que en glaciar o desierto, pero muy eficaz a largo plazo.

⇒ ZONA FRÍA: GLACIAR, TAIGA, TUNDRA



Aquí el agente principal es el **hielo** (directo o indirecto).

1) Paisaje glaciar

- El hielo no es estático: fluye.
- Procesos:
  - **erosión por abrasión** (pulido),
  - **arranque** (plucking) de bloques,
  - formación de valles en U, circos, morrenas.
- Es un modelado muy "potente" y reconocible.

2) Taiga

- Bosque boreal. Mucha materia orgánica, suelos ácidos.
- Los procesos de hielo/deshielo pueden ser importantes.
- Ríos con régimen nival (deshielo primaveral).



3) Tundra

- Vegetación muy baja.
- **Permafrost** (suelo congelado permanentemente) en muchas zonas.
- Procesos periglaciares:
  - gelifracción,
  - solifluxión (suelo saturado que "fluye" lentamente),
  - polígonos de hielo.

👉 El frío no solo "congela"; crea una dinámica propia del terreno.

⇒ OTRAS CLASIFICACIONES

→ A pesar de todo lo visto anteriormente, hay que considerar algo importante: existe diversidad de criterios para otras clasificaciones de paisajes, (porque "paisaje" no es solo clima.

Criterios alternativos (y por qué importan)

- **Moderno / tradicional**: intervención humana y uso del territorio.
- **Montaña / costa / desértico**: dominan distintos agentes (gravedad, oleaje, viento).
- **Urbano / agrícola / natural**: el ser humano como fuerza geomorfológica.
- **Mediterráneo / atlántico / continental**: matices climáticos que cambian procesos (erosión, suelos, vegetación).



👉 Y es que, una clasificación es una herramienta.
Según lo que se quiera estudiar (riesgos, suelos, recursos, conservación), habrá que escoger una u otra.







⇒ **VARIABILIDAD DEL PAISAJE**

Para lo que vamos a ver a continuación, estos puntos son clave porque nos enseñan a pensar en **tiempo geológico** y también en cambios rápidos.

1) El paisaje cambia a distintas velocidades

- **Rápido**: deslizamientos, derrumbes, avenidas.
- **Lento**: erosión costera, encajamiento fluvial, meteorización.

👉 Esto es esencial: un paisaje puede parecer estable, pero está "trabajándose" continuamente.

2) La biosfera cambia el aspecto del paisaje

- Floración, caída de hojas, cambios estacionales.
- Pero, además, la vegetación controla erosión:
  - raíces sujetan suelo,
  - cobertura reduce impacto de gotas de lluvia,
  - evapotranspiración regula humedad.

3) El clima cambia la "escena" y los procesos

- Luz, color de la atmósfera, lluvia, nieve…
- Pero geológicamente: cambia la energía del sistema (más agua, más hielo, más viento).

4) El ser humano como agente principal

- Tala → erosión y pérdida de suelo.
- Agricultura → modificación de drenajes y suelos.
- Construcciones → estabilidad de laderas, impermeabilización, inundaciones.
- Canteras/minería → cambios directos del relieve.

👉 De modo que, el paisaje es una **fotografía de un sistema dinámico**, no un cuadro fijo.

⇒ A partir de aquí vamos a hacer un análisis geológico de una serie de paisajes del mundo, estudiando para ello el **terreno**, **qué elementos geomorfológicos se ven**, **qué rocas/procesos son más probables que hayan ocurrido para su formación, y qué historia geológica sugiere en cada uno de ellos**. Y claro está: de qué lugar se trata cada fotografía.

👉 Nos vamos a adentrar en un mundo apasionante.

⇒ **PAISAJE DE LLANURA FRÍA / SUBPOLAR**

Lugar: Probablemente **Islandia** (interior subpolar).



→ **Elementos geomorfológicos visibles**

- Llanura suavemente ondulada.
- Relieve muy poco acusado.
- Ausencia casi total de arbolado.
- Suelos pobres y poco desarrollados.
- Carretera sobre explanación estable.

→ **Rocas y materiales probables**

- **Rocas volcánicas basálticas** (muy típico de Islandia). Es uno de los grupos de rocas más comunes e importantes de la corteza terrestre. Son rocas **ígneas extrusivas** (volcánicas) que se forman a partir del enfriamiento rápido del magma rico en magnesio y hierro (magma máfico) en la superficie de un planeta.
- Materiales **piroclásticos** finos en superficie. Son fragmentos de roca sólida que fueron lanzados al aire durante una erupción explosiva.
- Suelos jóvenes, poco evolucionados.

→ **Procesos geológicos dominantes**

- **Crioclastia** (fracturación por hielo–deshielo).
- **Erosión periglaciar**.
- Escasa meteorización química (frío + poca vegetación).
- Modelado lento, pero constante.

→ **Historia geológica que sugiere**

Este paisaje que vemos de **Islandia** es el resultado de una lucha constante entre el fuego volcánico y el hielo glacial. En esta lucha, Islandia no se "arrugó" sino que se está "estirando" continuamente.

1. El motor: La Dorsal Mesoatlántica

Islandia es uno de los pocos lugares del mundo donde una dorsal oceánica (una grieta donde la tierra se separa) sale a la superficie.

- **Separación de placas:** La placa Norteamericana y la Euroasiática se separan unos **2 centímetros al año**.
- **Nacimiento de roca:** En ese espacio que queda libre, el magma sube constantemente desde el manto, enfriándose para formar nuevas **rocas volcánicas basálticas**. Islandia es, básicamente, una gran montaña de basalto que sobresale del mar.

2. Formación de la llanura (El "Sandur")

La llanura verde y extensa que ves en la carretera se llama técnicamente **sandur** (llanura de inundación proglacial).

- **Sedimentación Glaciar:** Durante las épocas frías, los glaciares arrastraron enormes cantidades de roca triturada desde las montañas del interior.
- **Inundaciones Volcánicas (Jökulhlaups):** Cuando un volcán entra en erupción bajo un glaciar, el hielo se derrite instantáneamente, provocando inundaciones masivas que depositan arena y grava volcánica en las zonas bajas, creando estas llanuras planas y fértiles.
- **Colonización:** Con el paso de los siglos, el musgo y el pasto cubren estos sedimentos negros, dándole ese color verde brillante que ves en la foto.

👉 Este paisaje nos habla de una Tierra **joven en superficie**, con procesos dominados por el **clima frío**, donde la geología manda sobre la biología.

⇒ **PAISAJE GLACIAR COSTERO**

Lugar: Claramente **Antártida**.



→ **Elementos geomorfológicos**
- Frente glaciar llegando al mar.
- Icebergs desprendidos.
- Costa recortada por hielo.
- Ausencia total de suelo y vegetación.

→ **Rocas y materiales**
- **Basamento cristalino** (ígneo–metamórfico). **Rocas Ígneas** son las formadas por el enfriamiento del magma. **Rocas Metamórficas** son rocas preexistentes (ígneas o sedimentarias) que se han transformado debido a **altas presiones y temperaturas** sin llegar a derretirse.
- Cubierto por hielo continental.
- Sedimentos glaciares bajo el hielo.

→ **Procesos dominantes**
- **Erosión glaciar directa**:
  - abrasión,
  - arranque de bloques.
- **Transporte glaciar**.
- **Calving** (desprendimiento de icebergs).

→ **Historia geológica**

1. Hace ~180 millones de años

Antes de ser un desierto de hielo, la Antártida estaba en el centro del supercontinente **Gondwana**, unida a Sudamérica, África, India y Australia.
- **El Basamento:** Bajo esos miles de metros de hielo se encuentra el "escudo" antártico, compuesto principalmente por rocas de tipo **ígneo-metamórfico** (granitos y gneis) que tienen miles de millones de años de antigüedad.
- **Separación:** Cuando Gondwana se rompió, la Antártida se desplazó hacia el polo sur, quedando aislada por la Corriente Circumpolar, lo que permitió que se congelara hace unos 34 millones de años.

2. Volcanismo en el hielo

Aunque parezca contradictorio, la Antártida es una zona de gran actividad volcánica, especialmente en la zona occidental y en las islas de la Península Antártica.
- **Rocas basálticas:** Muchas de las islas y montañas que asoman entre el hielo están formadas por **rocas volcánicas basálticas** y **materiales piroclásticos** (cenizas).
- **Calor y Frío:** Hay volcanes activos, como el Monte Erebus o la Isla Deception, donde la lava entra en contacto directo con el hielo, provocando explosiones de vapor y la formación de estratos muy particulares.

3. El ciclo del hielo: Fracturación y Parto

En la imagen se ven **icebergs** flotando en el agua. Este es un proceso geológico de erosión mecánica:
- **Fracturación:** El peso inmenso de la capa de hielo sobre el continente hace que este fluya hacia el mar como un río viscoso. Al moverse, el hielo se rompe, creando grietas gigantescas (crevasses).
- **Calvamiento (Parto):** Cuando el glaciar llega al mar y flota (plataforma de hielo), las mareas y el viento terminan por romper los bordes, liberando los icebergs que se ven en la foto.

👉 Aquí el paisaje **no lo modela el agua líquida**, sino el **hielo en movimiento**. Es uno de los agentes erosivos más potentes del planeta.

Dato curioso: Si todo el hielo de la Antártida se derritiera, el continente "rebotaría" hacia arriba (isostasia) y veríamos un paisaje lleno de **crestas plegadas** y valles profundos, muy parecido a la Cordillera Cantábrica.

⇒ **PAISAJE VOLCÁNICO ACTIVO**

Lugar: Muy probablemente **Hawái**.



→ **Elementos geomorfológicos**
- Superficie ondulada y retorcida.
- Textura típica de **lava pahoehoe**.
- Ausencia de suelo desarrollado.
- Vegetación incipiente o inexistente.

→ **Rocas**
- **Basaltos** (roca ígnea volcánica básica).
- Coladas recientes o subrecientes.

→ **Procesos**
- **Vulcanismo efusivo**.
- Enfriamiento rápido en superficie.
- Muy poca erosión aún.

→ **Historia geológica**
1. Actividad de **punto caliente**.
2. Emisión continua de coladas basálticas.
3. Construcción progresiva del relieve volcánico.
4. Paisaje extremadamente joven.

1. El Origen

A diferencia de los Pirineos o la Cordillera Cantábrica, que se formaron por el choque de placas, Hawái nació en medio de una placa tectónica.
- **Magma profundo:** Una columna de magma caliente (penacho térmico) asciende desde lo más profundo del manto terrestre.
- **Filtro basáltico:** Este magma es muy fluido, rico en hierro y magnesio, y pobre en sílice, lo que da lugar a **basaltos** extremadamente líquidos que fluyen como ríos.

2. La Formación de la "Lava Cordada"

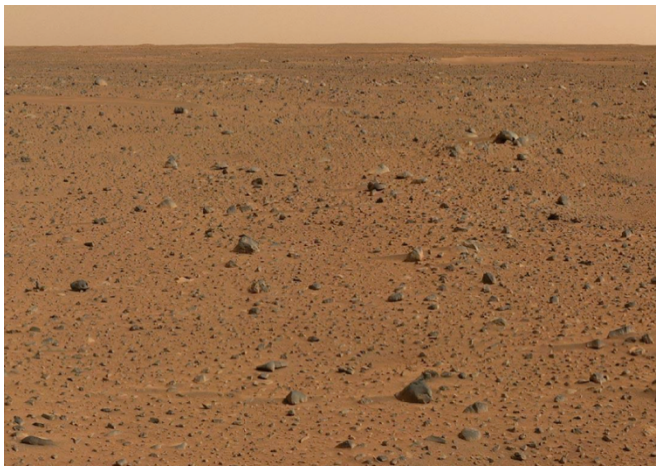
La foto muestra perfectamente unas formas suaves y retorcidas que parecen cuerdas o pliegues de piel, se llama técnicamente **lava pahoehoe**.
- **Enfriamiento superficial:** La superficie de la lava se enfría al contacto con el aire, formando una "piel" elástica y delgada.
- **Movimiento interno:** La lava líquida que sigue fluyendo por debajo empuja y arrastra esa piel superior, arrugándola y creando esas texturas de cuerdas que se ven en primer plano.

👉 Este paisaje es **geología en tiempo presente**: aquí no interpretamos el pasado, **lo estamos viendo ocurrir**.

⇒ PAISAJE DESÉRTICO ÁRIDO

→ **Lugar:**

Es probable que se trate del **Desierto de Atacama,** pero no, la fotografía está capturada por el *rover* ***Curiosity*** de la NASA en el **Cráter Gale**.



Sin embargo, este paisaje encaja perfectamente con el Desierto de Atacama (especialmente la región de Yungay) y se utiliza como un **"análogo terrestre"** para Marte, hasta tal punto que los científicos prueban los *rovers* allí por su:

- **Aridez extrema:** Es el lugar más seco de la Tierra, similar a la falta de agua líquida en Marte.
- **Composición del suelo:** Ambos presentan suelos ricos en percloratos y una fuerte presencia de **rocas volcánicas basálticas**.

Esto es lo que vemos en la imagen para hacer la etiqueta geológica:

- **Rocas volcánicas basálticas:** Casi todas las rocas oscuras y angulares que se ven esparcidas en la imagen son basaltos. Marte es, en esencia, un "planeta de basalto".
- **Materiales piroclásticos:** El polvo fino y rojizo que cubre el suelo es en gran parte ceniza volcánica antigua y regolito procesado por la erosión del viento durante miles de millones de años.
- **Ígneo-metamórfico:** Aunque no se ve en la superficie, el subsuelo de estas regiones marcianas está compuesto por rocas ígneas cristalinas muy antiguas que forman la corteza primaria del planeta.

→ **¿Cómo diferenciar si se trata de uno u otro a simple vista?**

Hay dos pistas clave en la foto que delatan que es Marte:

1. **La ausencia total de vida:** En Atacama, aunque sea mínima, suele haber rastros de líquenes, algún arbusto seco o huellas de neumáticos. Aquí la superficie está "virgen".
2. **La textura de las rocas:** Las rocas en Marte suelen tener pequeños agujeros llamados **vesículas** (burbujas de gas atrapadas en la lava) muy bien preservadas porque no hay lluvia que las erosione suavemente.

→ **Elementos geomorfológicos**

- Superficie plana o suavemente ondulada.
- Clastos dispersos (Fragmentos de rocas, minerales o fósiles preexistentes que, por erosión y transporte, se acumulan y se consolidan formando rocas sedimentarias detríticas (clásticas) como la arenisca o el conglomerado, siendo su estudio clave para entender procesos geológicos como el transporte y la procedencia del material).
- Ausencia total de vegetación.
- Coloración rojiza–parda.

→ **Rocas y materiales**

- Rocas volcánicas y sedimentarias antiguas.
- Regolito muy poco alterado (El regolito es una capa de material suelto y fragmentado, como rocas, polvo o minerales, que cubre la roca sólida (lecho rocoso) en la superficie de planetas, lunas y asteroides, incluyendo la Tierra, y se forma por meteorización, erosión e impactos de meteoritos, siendo el manto gris de la Luna el ejemplo más conocido).
- Sales y minerales evaporíticos posibles.

→ **Procesos dominantes**

- **Meteorización física** (no química).

- **Deflación eólica**.
- Muy baja erosión hídrica.
- Conservación extrema de formas antiguas.

→ **Historia geológica**

La imagen nos cuenta una historia de miles de millones de años. Se trata del **Cráter Gale**, el lugar donde aterrizó el *rover Curiosity* en 2012. Aunque parece un desierto estático, su geología es el resultado de una violenta transformación climática.

¿Cómo se formó este paisaje?

1. El Impacto Original (Hace ~3.800 millones de años)

Todo comenzó con el impacto de un asteroide masivo que creó un agujero de 154 km de diámetro. Este hecho fue tan potente que:

- Excavó la corteza marciana, dejando expuesto el material **ígneo-metamórfico** profundo.
- Fracturó el terreno, creando las vías por donde más tarde circularía el agua y el magma.

2. La Era del Agua y el Monte Sharp

Poco después del impacto, Marte era más cálido y húmedo. El Cráter Gale se convirtió en un **lago gigante**.

- Los ríos depositaron sedimentos capa tras capa en el centro del cráter, formando el **Monte Sharp** (una montaña de sedimentos de 5 km de altura).
- En esta etapa se formaron arcillas y minerales que solo aparecen en presencia de agua líquida.

3. Actividad Volcánica y Basaltos

Las rocas oscuras y angulares que se ven en primer plano de la imagen son **rocas volcánicas basálticas**.

- **Origen:** A medida que Marte se enfriaba, el magma del interior fluyó hacia la superficie a través de las fracturas del cráter.
- **Formación:** Estas lavas se enfriaron rápidamente, formando una "costra" de basalto muy dura que cubrió gran parte del suelo del cráter. Con el tiempo, los cambios de temperatura (que en Marte pueden variar 100°C en un día) fracturaron estas capas en los bloques sueltos que ves hoy.

4. La Era del Viento (Procesos Eólicos)

Hoy en día, Marte es un desierto global. El viento es el principal escultor:

- **Materiales piroclásticos y polvo:** El color anaranjado se debe al polvo de óxido de hierro. Mucho de este material es de origen piroclástico (ceniza volcánica antigua) que ha sido transportado por tormentas de arena globales.
- **Erosión:** El viento ha "limpiado" gran parte de los sedimentos del lago, dejando al descubierto los bloques de basalto más resistentes que no pueden ser movidos por el aire.

👉 En los desiertos, la geología **se conserva**. Son archivos excepcionales del pasado terrestre.

Estas primeras imágenes ya permiten establecer una idea importante: **El paisaje es la huella visible del equilibrio entre roca, clima, procesos y tiempo.**

- El relieve es el resultado de la acción de diversos procesos sobre los materiales de la superficie del planeta.
- Los distintos elementos geomorfológicos (y su combinación) pueden dar lugar a relieves claramente distintos.
- El relieve, a su vez está también condicionado por las condiciones climáticas que reinan en la zona, favoreciendo determinados procesos geológicos. Por ejemplo, la erosión glaciar en regiones de muy bajas temperaturas a lo largo del año.
- La geología condiciona la distribución de la vegetación, la hidrología, el clima, la fauna, etc., por lo que para entender cada uno de los elementos del paisaje existentes en un territorio requiere comprender el medio físico.
- La observación del papel de la geología en el paisaje nos permitirá conocer aspectos como:
    - **Origen** y **evolución** del relieve.

- **Recursos geológicos** (agua, áridos, rocas).
- **Riesgos** (deslizamientos, inundaciones, colapsos).
- **Capacidad agrológica** y **usos del suelo**.
- **Abastecimiento** (acuíferos, estabilidad de infraestructuras).

👉 La geología **no es decorativa**: es **decisiva** para planificar y habitar un territorio.

ESTRATOS INCLINADOS Y CARRETERA: RELIEVE ESTRUCTURAL

Lugar: Probable **La Palma**.



→ **Elementos geomorfológicos**
- Capas claramente **inclinadas** (estratificación).
- Alternancia de tonos (coladas y piroclastos).
- Corte artificial (carretera) que revela la estructura.

→ **Rocas probables**
- **Basaltos** (coladas).
- **Piroclastos** intercalados (escorias, cenizas).

→ **Procesos**
- **Vulcanismo** repetido (construcción del edificio).
- **Deformación** posterior (inclinación por crecimiento del volcán o reajustes).
- **Erosión** diferencial que resalta capas.

→ **Historia geológica**

La formación de los **estratos inclinados del archipiélago canario** es un proceso fascinante. En una isla volcánica, la inclinación de las rocas suele deberse al propio crecimiento del volcán y a procesos de inestabilidad gravitatoria.

1. El apilamiento de capas (Crecimiento volcánico)

La Palma se ha construido capa sobre capa desde el fondo del océano.
- **Alternancia de materiales:** Los estratos que ves son el resultado de erupciones sucesivas. Se alternan capas de **rocas volcánicas basálticas** (coladas de lava fluidas que se solidifican) con capas de **materiales piroclásticos** (cenizas, lapilli y bombas lanzadas por explosiones).
- **Inclinación primaria:** A diferencia de las rocas sedimentarias que se depositan horizontales, en un volcán las capas se depositan directamente sobre la ladera. Por lo tanto, nacen ya con una inclinación natural que sigue la pendiente del cono volcánico.

2. El Complejo Basal (El corazón inclinado)

En zonas como el interior de la **Caldera de Taburiente**, se pueden ver estratos con inclinaciones muy fuertes o incluso verticales. Esto se debe al **Complejo Basal**:
- Es la parte más antigua de la isla, formada en el fondo del mar.
- **Empuje magmático:** A medida que el nuevo magma subía para formar la isla, empujó estas rocas antiguas hacia arriba con una fuerza inmensa, fracturándolas e inclinándolas drásticamente. Aquí es donde suelen aparecer las rocas de tipo **ígneo-metamórfico** debido a la presión y las altas temperaturas de las intrusiones.

3. Intrusión de Diques

Muchos de los "estratos" verticales que se ven cortando las capas horizontales en La Palma no son estratos realmente, sino **diques**.
- Son fracturas por las que el magma ascendió hacia la superficie.

- Al enfriarse, quedan como muros de roca basáltica que atraviesan las capas de piroclastos. Al ser más duros, la erosión los deja a la vista como paredes verticales.

4. Deslizamientos Gravitatorios

La Palma es una isla con mucha pendiente. En su historia, grandes sectores de la isla han colapsado y se han deslizado hacia el mar (como ocurrió con el antiguo volcán Taburiente).

- Estos megadeslizamientos cortan y deforman los estratos previos, dejando secciones de la montaña con capas que miran hacia ángulos extraños.

⇒ **<u>ACANTILADO CALCÁREO: KARST Y FRACTURACIÓN</u>**

Lugar: Probable **Cordillera Cantábrica**.



→ **Elementos geomorfológicos**

- **Pared vertical** de caliza.
- Diaclasas son **fracturas en las rocas sin desplazamiento significativo** de los bloques que separan, a diferencia de las fallas; son grietas comunes causadas por esfuerzos tectónicos, enfriamiento (columnas basálticas), deshidratación o descompresión), y planos de estratificación visibles.
- Rebordes y oquedades locales.

→ **Rocas**

- **Calizas** (sedimentarias y carbonatadas).

→ **Procesos**

- **Disolución kárstica** (meteorización química).
- **Fracturación** que guía la erosión.
- **Gravedad** (desprendimientos).

→ **Historia**

En un mapa de estudio de la Cordillera Cantábrica, este tipo de acantilados son muy comunes Se refiere a las zonas donde la caliza está en contacto con el mar o la atmósfera. El agua se infiltra por las grietas (**fracturación**), disolviendo la roca y creando cuevas, simas y lapiaces (superficies rocosas irregulares cubiertas de surcos, grietas y crestas creadas por la disolución del carbonato de calcio por el agua ácida a lo largo del tiempo y que se conoce como **proceso kárstico**.

- **Ígneo-Metamórfico:** Constituye el **basamento herciniano** (el "cimiento" antiguo de la cordillera). Son rocas como pizarras y cuarcitas que ya estaban ahí mucho antes de que se formaran los pliegues alpinos.
- **Rocas Basálticas y Piroclásticos:** Aunque en esta zona son más raros que en los Pirineos, existen afloramientos de origen volcánico formados durante la apertura del Golfo de Vizcaya antes de que las placas chocaran.
- La Cordillera Cantábrica es una de las mejores zonas de Europa para observar el **relieve jurásico**, donde los valles y las crestas coinciden exactamente con la forma de los pliegues originales (anticlinales y sinclinales).

⇒ CRESTA PLEGADA: RELIEVE ESTRUCTURAL ALPINO

Lugar: Probable **Pirineos**.



→ **Elementos geomorfológicos**

- **Estratos muy inclinados** formando crestas agudas.
- Alternancia de capas resistentes y menos resistentes.

→ **Rocas**

- **Margas** plegadas sedimentarias (la marga es **roca sedimentaria** suave, grisácea, mezcla de carbonato de calcio (caliza) y arcilla).

→ **Procesos**

- **Compresión tectónica** (conocido como orogenia alpina. Es un conjunto de procesos geológicos que forman cadenas montañosas a lo largo de millones de años, resultado de la colisión y deformación de las placas tectónicas, que causan plegamientos, fallas y levantamientos, generando relieve y actividad sísmica y volcánica).
- **Erosión diferencial** que resalta capas duras.

→ **Historia**

La formación de esta **cresta plegada en los Pirineos** es el resultado de una colisión tectónica colosal que "arrugó" la corteza terrestre lo que provocó una **compresión extrema**.

1. El choque de placas (Hace ~80 a 20 millones de años)

La cordillera de los Pirineos se formó cuando la **placa Ibérica** española chocó contra la **placa Euroasiática** (Francia). Este choque provocó que la corteza se acortara y se elevara, comprimiendo los materiales que había en medio como si fueran un acordeón.

2. ¿Cómo se forma la "Cresta Plegada"?

Para que se forme una cresta plegada, se necesitan materiales flexibles (principalmente rocas sedimentarias como calizas y margas):

- **Plegamiento:** Al recibir la presión lateral del choque de placas, las capas de roca que antes eran horizontales se doblaron formando ondulaciones llamadas anticlinales (curvas hacia arriba) y sinclinales (curvas hacia abajo).
- **Cabalgamiento:** En muchos puntos, la presión fue tan fuerte que las rocas no solo se plegaron, sino que se rompieron y unas capas se deslizaron sobre otras, creando "mantos de corrimiento".

⇒ ACANTILADO COSTERO: OLEAJE Y LITOLOGÍA

Lugar: Étretat (Francia).



→ **Elementos geomorfológicos**

- **Acantilados** de roca blanca.
- Arcos y farallones marinos (los farallones son promontorios rocosos altos y escarpados que sobresalen del mar cerca de la costa).

→ **Rocas**

- **Creta** (caliza muy fina).

→ **Procesos**

- **Erosión marina** (socavación basal).
- **Colapsos** por gravedad.
- **Disolución** química complementaria.

→ **Historia**

Estos acantilados se formaron a lo largo de millones de años mediante procesos de sedimentación y una erosión implacable. A diferencia de las rocas volcánicas basálticas estos son de origen **sedimentario**.

1. El origen bajo el mar (Hace 70-80 millones de años)

Durante el periodo **Cretácico Superior**, esta región estaba cubierta por un mar cálido y poco profundo.

- **Acumulación de organismos:** Trillones de microorganismos marinos (principalmente cocolitofóridos) murieron y sus esqueletos de calcio se depositaron en el fondo marino.
- **Formación de la tiza:** Con el tiempo, estos depósitos se compactaron para formar gruesas capas de **tiza blanca** (una forma blanda de caliza).
- **Vetas de sílex (pedernal):** Entre las capas de tiza se formaron bandas oscuras de sílex, que son restos de organismos ricos en sílice.

2. Levantamiento y Exposición

Debido a movimientos tectónicos, el antiguo lecho marino se elevó y se inclinó, quedando expuesto a la superficie y a la acción directa de la atmósfera y el océano.

3. Escultura por Erosión (El proceso actual)

Lo que vemos hoy es el resultado de la "batalla" entre la roca y los elementos:

- **Acción del mar:** Las olas golpean la base de los acantilados, excavando cuevas. Cuando una cueva atraviesa un promontorio de lado a lado, se forma un **arco natural**.
- **Formación de la "Aguja":** Cuando el techo de un arco colapsa por el peso y la erosión, queda un pilar aislado en el mar, conocido como **farallón** o "aguja" (como la famosa *Aiguille* de 70 metros).
- **Disolución química:** El agua de lluvia, ligeramente ácida, disuelve la caliza, creando grietas y debilidades que aceleran los derrumbes.

⇒ **MEANDRO ENCAJADO: INCISIÓN FLUVIAL**

Lugar: Curva de la herradura (Rio Colorado).



→ **Elementos geomorfológicos**
- **Meandro** profundamente **encajado**.
- Paredes rocosas verticales.

→ **Rocas**
- Areniscas y lutitas (lutitas son rocas sedimentarias muy comunes, formadas por partículas finas de arcilla y limo que se depositan en ambientes acuáticos tranquilos, compactándose en finas capas laminadas.

→ **Procesos**
- **Incisión fluvial** dominante.
- **Levantamiento regional** mantiene el encajamiento.

→ **Historia**

Su formación es el resultado de un proceso que duró millones de años y que combina la sedimentación antigua con la fuerza erosiva del río Colorado.

1. El origen de la roca (Hace ~200 millones de años)

Mucho antes de que existiera el río, la zona era un vasto desierto de dunas de arena durante el período Jurásico. Con el tiempo, estas capas de arena se compactaron y cementaron para formar la **Arenisca Navajo**, que es la roca rojiza que vemos hoy en las paredes del cañón.

2. El río perezoso (Hace ~5-6 millones de años)

Originalmente, el río Colorado fluía sobre una llanura casi plana. En estas condiciones, los ríos tienden a serpentear, formando curvas amplias llamadas **meandros** para buscar el camino de menor resistencia. En esta etapa, el río estaba a un nivel mucho más alto que el actual.



3. El levantamiento tectónico

Debido a fuerzas tectónicas profundas, toda la región conocida como la **Meseta del Colorado** comenzó a elevarse miles de metros. A medida que el terreno subía, el río Colorado ganó una fuerza enorme debido a la gravedad, lo que le permitió cortar la roca hacia abajo en lugar de cambiar su curso.

4. La creación del "encaje"

El río quedó "atrapado" en su propia curva. Mientras el terreno seguía subiendo, el agua seguía erosionando verticalmente, excavando un cañón de unos **300 metros (1,000 pies)** de profundidad manteniendo la forma original de herradura.

⇒ FORMACIÓN DEL CAÑÓN DEL RIO COLORADO:

La formación del **Cañón del Colorado** es una de las crónicas geológicas más fascinantes de la Tierra, ya que en sus paredes se puede leer casi la mitad de la historia de nuestro planeta. Su creación no fue un evento único, sino una combinación de sedimentación antigua, fuerzas tectónicas colosales y la persistencia erosiva del agua.

→ Etapas clave de su formación:

1. El "Pastel" de Rocas (Hace 2,000 a 270 millones de años



Antes de que existiera el cañón, se tuvieron que "cocinar" y depositar los materiales que vemos hoy:

- **El Basamento Profundo:** En el fondo del cañón encontramos rocas de tipo **ígneo-metamórfico** (como la formación del "*Esquisto de Vishnu"*), formadas hace casi 2,000 millones de años por calor y presión extremos bajo montañas antiguas.
- **Las Capas Sedimentarias:** Sobre ese basamento, mares antiguos, desiertos y llanuras depositaron capas de arena y lodo que se convirtieron en arenisca y **acantilados calcáreos** (como la "*Caliza Redwall*", prominente formación rocosa de piedra caliza del Paleozoico).

2. El Levantamiento de la Meseta (Hace 70 a 30 millones de años)

Debido a movimientos de placas tectónicas (la Orogenia Laramide), toda la región de la **Meseta del Colorado** se elevó de forma uniforme miles de metros sobre el nivel del mar.

- A diferencia de los Pirineos, donde las rocas se plegaron violentamente, aquí la meseta subió como un "ascensor", manteniendo las capas mayormente horizontales.

3. El Río como "Motosierra" (Hace 5 a 6 millones de años)

Con la meseta elevada, el río Colorado ganó una pendiente enorme. La gravedad convirtió el agua en una herramienta de corte vertical implacable.

- **Erosión y Profundización:** El río comenzó a excavar hacia abajo, atrapado en su curso (un proceso similar al que creó la **Curva de la Herradura**).
- **Ensanchamiento:** Mientras el río cortaba el fondo, la lluvia, el hielo y la gravedad desgastaban las paredes, creando la anchura del cañón que vemos hoy.



4. Intervenciones Volcánicas Recientes

En la zona occidental del cañón (campo volcánico *Uinkaret*), el paisaje muestra estas etiquetas:

- **Rocas volcánicas basálticas:** Flujos de lava cayeron por las paredes del cañón, llegando a bloquear el río y creando presas naturales de lava hace menos de un millón de años.
- **Materiales piroclásticos:** Las erupciones dejaron conos de ceniza y capas de ceniza volcánica sobre las rocas sedimentarias más antiguas.

ZONA DEL CAÑÓN	TIPO DE ROCA / ESTRUCTURA	RELACIÓN CON LA FORMACIÓN
Fondo del desfiladero	Ígneo-metamórfico	Las rocas más antiguas que forman la "V" más profunda.
Paredes medias y altas	Acantilado Calcáreo	Antiguos lechos marinos que ahora forman los grandes muros rojos.
Sector Occidental	Basálticas y Piroclásticos	Erupciones volcánicas que "recorrieron" el cañón ya formado.
Meandros	Curva de la Herradura	Estructuras formadas por el encajonamiento del río al subir el terreno.

⇒ **MESAS Y BUTTES: EROSIÓN DIFERENCIAL**

Lugar: Monument Valley.

El Valle de los Monumentos es un testimonio de la paciencia de la naturaleza. Pertenece a una icónica región de la meseta de Colorado famosa por sus formaciones de mesas y buttes de arenisca, situada en la frontera entre Arizona y Utah, dentro de la Nación Navajo.



→ **Elementos geomorfológicos**

- **Mesas** y **buttes** aisladas.
- Capas horizontales.

→ **Rocas**

- Areniscas (resistentes) sobre lutitas (menos resistentes).



→ **Procesos**

- **Erosión diferencial** por agua y viento.
- **Clima árido** que preserva formas.

→ **Historia**

Aunque se encuentra en la misma provincia geológica que el Cañón del Colorado, su "receta" de formación es distinta: aquí el protagonista no es un río que corta hacia abajo, sino el retroceso de las paredes debido a la erosión diferencial.

1. El depósito de sedimentos (Hace ~270 millones de años)

Durante el periodo Pérmico, esta zona era una cuenca donde se acumularon capas inmensas de lodo y arena provenientes de la erosión de montañas ancestrales.

- **Areniscas Rojas:** La mayor parte de lo que vemos es la **Arenisca de Chelly**. El color rojo intenso proviene del óxido de hierro (hematita) que actúa como cemento entre los granos de arena.

- **Estratificación:** En la segunda imagen (posiblemente de una zona cercana *The Wave* o *Coyote Buttes*), se ven **estratos cruzados**, que son dunas de arena petrificadas que muestran la dirección en la que soplaba el viento hace millones de años.

2. El Levantamiento y la Fracturación

Al igual que el Cañón del Colorado, la región entera se elevó miles de metros.

- **Fracturación:** Este levantamiento estiró la corteza y creó grietas verticales. Estas fisuras fueron las "guías" que permitieron que el agua y el hielo penetraran en la roca, comenzando a separar los grandes bloques.

3. La "Retirada" de los Acantilados (Erosión Diferencial)

Este es el proceso clave que crea los "Monumentos". Se basa en que no todas las rocas son igual de duras:

- **La capa protectora (Caprock):** En la cima de las mesas y torres hay una capa de roca más dura y resistente (conglomerado de Shinarump-lecho de grava).
- **El pedestal blando:** Debajo de la cima hay capas de esquisto y arenisca más blanda.
- **El proceso:** El viento y la lluvia desgastan las capas blandas de los lados. Cuando el pedestal se debilita demasiado, los bloques de la cima se desploman. Con el tiempo, una gran meseta se convierte en una **mesa**, luego en un **cerro testigo (butte)** y finalmente en una **aguja** antes de desaparecer.

⇒ PAISAJE DE MONTAÑA MEDIA: LADERAS Y DRENAJE

Lugar: Probable **Sistema Central**.



→ **Elementos**

- Laderas ligeramente suaves.
- Valles poco encajados.
- Vegetación estacional.

→ **Rocas**

- Granitos y **gneises** (roca metamórfica de grano grueso caracterizada por bandas alternas de minerales claros, como cuarzo y feldespato y oscuros, como **biotita** y **anfíbol**.

→ **Procesos**

- **Meteorización física** + química moderada.
- **Escorrentía** y pequeños deslizamientos.



→ **Historia**

Un **paisaje de montaña media** se sitúa en altitudes intermedias (generalmente entre los 800 y 2.000 metros), donde las formas no son tan agrestes como en las altas cumbres alpinas, pero presentan un relieve vigoroso esculpido por el agua y la gravedad. En el contexto de la península ibérica, el ejemplo más claro es el **Sistema Central** (Gredos, Guadarrama) o los **Montes de Toledo**.

1. El Origen: Un "Puzle" de Bloques

A diferencia de los Pirineos, que se formaron por "arrugas" (pliegues), gran parte de la montaña media española se formó por **fracturación**.

- **El Basamento Ígneo-Metamórfico:** El corazón de estas montañas es el zócalo herciniano, compuesto por rocas muy antiguas y duras como el granito y el gneis.
- **Tectónica de Bloques:** Durante la Orogenia Alpina, este zócalo rígido no pudo plegarse, así que se rompió en bloques. Unos subieron (**Horst**), formando las sierras, y otros bajaron (**Graben**), formando los valles.

2. Las Laderas: Gravedad y Desprendimientos

Las laderas son las superficies inclinadas que unen las cumbres con los valles. Su aspecto depende de la roca:

- **Canchales y Pedrizas:** En rocas de tipo **ígneo-metamórfico** (como el granito), el hielo rompe la roca en bloques que se acumulan al pie de las laderas formando depósitos de derrubios inestables (acumulación de fragmentos de roca y tierra que se desprenden y descienden por una ladera).
- **Erosión Diferencial:** Si hay bandas de diferentes materiales, las rocas más duras (como la cuarcita) quedan resaltadas formando crestas, mientras que las más blandas (pizarras) se erosionan más rápido, suavizando la pendiente de la ladera.

3. El Drenaje: Los Ríos buscan la Falla

El sistema de drenaje (ríos y arroyos) en la montaña media suele ser **rectilíneo o en ángulo**, ya que el agua aprovecha las líneas de debilidad de la tierra:

- **Control Tectónico:** Los ríos no suelen fluir al azar; se instalan en las líneas de **fracturación** o en las fosas tectónicas (grabens) creadas por el movimiento de las placas.
- **Encajamiento:** A medida que la montaña sube, el río erosiona verticalmente, creando valles en forma de "V" muy característicos de la montaña media.

👉 Este tipo de paisajes son fundamentales para el ciclo del agua, ya que las laderas actúan como grandes "tejados" que recogen la lluvia y la nieve, dirigiéndola a través del drenaje hacia las llanuras.

https://youtu.be/6iBQNq1zWE8

⇒ **BERROCALES GRANÍTICOS**

Lugar: La Pedriza.



→ **Elementos**

- Bloques redondeados (bolos).
- Caos de bloques.

→ **Rocas**

- **Granito**.

→ **Procesos**

- **Exfoliación**.
- **Meteorización esferoidal**.

→ **Historia**

Esta imagen de **La Pedriza** (en la Sierra de Guadarrama, es el ejemplo perfecto para profundizar en una de las etiquetas muy importantes pero que hasta ahora habíamos mencionado poco: el mundo **ígneo** de tipo plutónico.

A diferencia de los basaltos de Hawái o La Palma, que son volcánicos (el magma fluye al exterior), La Pedriza se formó bajo tierra. Esta es su historia geológica:

1. El Nacimiento Invisible (Hace ~300 millones de años)

Lo que hoy se ve como montañas, empezó como una burbuja gigante de magma (un **batolito**) que nunca llegó a la superficie.

- **Enfriamiento Lento:** Al estar bajo tierra, el magma se enfrió muy lentamente durante millones de años. Esto permitió que los minerales crecieran mucho, formando los cristales visibles de cuarzo, **feldespato** y **mica** que componen el **granito**.
- **Roca Ígnea Plutónica:** Esta es la etiqueta principal aquí. Es "ígnea" (del fuego), pero no "volcánica".

2. El Ascenso y la Descompresión

Para que hoy podamos ver estas rocas, tuvieron que pasar dos cosas:

1. **Erosión:** Miles de metros de rocas sedimentarias que estaban encima desaparecieron por el desgaste del tiempo.
2. **Empuje Tectónico:** Al igual que en los bloques de la montaña media, las fuerzas internas de la Tierra empujaron este granito hacia arriba. Al quitarle el peso de encima, la roca se "expandió" y se agrietó.

3. La Fracturación: El Secreto de sus Formas

Si nos fijamos en la foto, las rocas parecen cortadas o apiladas. Esto se debe a la **fracturación** dirigida:

- **Diaclasas:** El granito se rompe en líneas rectas (horizontales y verticales) llamadas diaclasas.
- **Erosión en Bolas:** El agua y el hielo (gelifracción) entran por esas grietas y van desgastando las esquinas de los cubos de roca, redondeándolos hasta crear los "tolmos" o "berrocales" típicos de La Pedriza.
- **Drenaje:** En La Pedriza, los arroyos (como el Manzanares que aquí aún lleva poca agua) fluyen encajonados siguiendo las líneas de **fracturación** del granito, creando pozas naturales.
- **Ígneo-metamórfico:** Alrededor del granito de La Pedriza suelen encontrarse **gneises** (rocas metamórficas). Son el resultado de cuando ese magma caliente "cocinó" las rocas que ya estaban allí antes.

👉 **Con esto concluimos este bloque dedicado a todos los grandes modelados**: volcánico, glaciar, fluvial, kárstico, estructural, costero y granítico. Cada paisaje que hemos visto debe leerse como un **sistema coherente**: roca + proceso + clima + tiempo.

👉 Ahora vamos a pasar a las formas y procesos geológicos que ocurren *dentro* de macizos rocosos solubles (como calizas o yeso) debido a la disolución por agua, creando un sistema subterráneo de drenaje con cuevas, galerías y espeleotemas (estalactitas, estalagmitas), esto es conocido como ***karst interno***, cascadas, gargantas y cañones.

⇒ CUEVA KÁRSTICA CON GRANDES ESPELEOTEMAS



→ Descripción inicial

En esta fotografía vemos el interior de una **cueva calcárea**, seguramente de grandes dimensiones, iluminada artificialmente.

En ella se observan:

- Una **colada estalactítica masiva** que cae desde el techo, con forma de "cortina" ondulada.
- Goteo activo o reciente, que mantiene húmeda la superficie brillante de las formaciones.
- Coloraciones claras (blanco–beige) propias de la **calcita pura**, y franjas ocres o rojizas por óxidos de hierro.
- En el fondo, más concreciones colgantes y paredes suavizadas por disolución.
- Una persona diminuta al pie, lo que nos muestra la escala: la estructura principal supera fácilmente **varios metros de altura**.

Todo esto indica que la cueva está **viva**, es decir, **aún activa en su evolución química**: no es un fósil del pasado, sino un sistema que sigue respirando, filtrando agua y depositando carbonato.

Veamos cual es el medio geológico donde se forma este tipo de paisaje subterráneo

→ Roca predominante

Las cuevas de este tipo se forman **casi exclusivamente en calizas o dolomías** (rocas sedimentarias de origen químico compuestas principalmente por el mineral **dolomita**.

Por ello, estas rocas:

- son **carbonatadas**, formadas por **carbonato cálcico ($CaCO_3$)** o **carbonato cálcico y magnésico ($CaMg(CO_3)_2$),** esto es lo que conocemos como **dolomita**,
- tienen **alta solubilidad en agua cargada de CO_2**,
- presentan **fracturas y planos de estratificación** que facilitan la circulación del agua.

→ Condiciones superficiales

Encima de la cueva suele haber:

- **Un terreno cubierto de vegetación y suelo fértil**, donde el CO_2 se genera continuamente por respiración biológica.
- **Precipitación suficiente**, que permite que el agua de lluvia penetre en el subsuelo.
- Un relieve **ligeramente montañoso o tabular**, donde la escorrentía superficial es baja y predomina la infiltración.

→ Edad y contexto tectónico

La cueva suele desarrollarse en **calizas mesozoicas** (Jurásico o Cretácico), que son las más comunes en los relieves kársticos actuales, aunque también hay ejemplos en calizas paleozoicas más antiguas.

Estas calizas se depositaron hace **entre 200 y 100 millones de años** en mares tropicales someros, y después fueron **levantadas por la tectónica alpina** (durante el Cenozoico).

→ Formación de la roca antes de la cueva

Fase 1 — Depósito marino

Imaginemos un antiguo **mar cálido y poco profundo**, con aguas limpias y ricas en organismos que construyen conchas de carbonato. Allí se fueron depositando:

- Restos de corales, algas calcáreas, moluscos y braquiópodos.
- Lodos carbonatados finos, precipitados directamente del agua marina.

Con el paso de miles de años, esos sedimentos se **compactaron y cementaron**, transformándose en **caliza**.

Así nació el **sustrato carbonatado** que millones de años después serviría de "materia prima" para la cueva.

Fase 2 — Deformación y fracturación

Durante los grandes movimientos tectónicos del Cenozoico (orogenia alpina, levantamiento de cordilleras y mesetas):

- esas calizas fueron **elevadas** por encima del nivel del mar,
- **plegadas y fracturadas**,
- expuestas al aire y a la acción de la lluvia.

Desde entonces, el macizo calizo se convirtió en un **sistema abierto al modelado externo e interno**.

→ **Formación de la cavidad: la fase de disolución (karstificación)**

Fase 3 — Infiltración del agua

La lluvia que cae sobre el suelo se carga de **dióxido de carbono (CO_2)** procedente de la respiración de las raíces y microorganismos.

Ese CO_2 se combina con el agua y forma **ácido carbónico (H_2CO_3)**, que, aunque es débil, tiene un enorme poder disolvente a largo plazo.

Fase 4 — Disolución del carbonato

Cuando el agua ácida se filtra por las fracturas de la caliza, ocurre la reacción química fundamental del karst:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (sólido)} + \text{CO}_2 \text{ (disuelto)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2 \text{ (soluble)}$$

Es decir, el carbonato cálcico se transforma en **bicarbonato cálcico disuelto**, que viaja con el agua.

Fase 5 — Crecimiento de las grietas y aparición de conductos

Durante miles de años, esta disolución amplía las fracturas:

- de microfisuras se pasa a **canales**;
- los canales confluyen en **galerías**;
- varias galerías forman un **sistema subterráneo**.

El agua sigue circulando hacia niveles inferiores, donde puede reaparecer en la superficie como **fuente kárstica** o **manantial**.

Mientras tanto, arriba queda un **espacio vacío**: la **cueva**.

Fase 6 — Papel del nivel freático

El desarrollo de una cueva depende del **nivel freático** (límite entre zona saturada y zona con aire):

- Mientras la disolución actúa bajo el nivel freático, el espacio está lleno de agua → se forman **túneles y salas regulares**.
- Cuando el nivel freático desciende (por encajamiento de ríos o bajada del mar), el agua abandona las galerías, dejando huecos con aire → empieza una **nueva fase de precipitación**.

→ **Formación de las espeleotemas (estalactitas, cortinas, coladas)**

Una vez la cavidad está **seca en parte** y tiene **aire en su interior**, la misma agua que antes disolvía empieza ahora a **depositar** calcita.

Fase 7 — Entrada de agua al techo

El agua continúa infiltrándose desde el exterior, pero ahora:

- llega cargada de **bicarbonato cálcico**,
- pierde CO_2 al entrar en un ambiente menos presurizado,
- y deposita **calcita ($CaCO_3$)** al liberar ese gas.

$$\text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \text{ (sólido)} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Fase 8 — Crecimiento laminar (formación de cortinas)

Si el agua gotea por un punto fijo, forma una **estalactita tubular**.

Pero en este caso el agua **fluye por una superficie inclinada o por el borde de una grieta**, lo que produce:

- **películas delgadas** de agua que arrastran iones de Ca^{2+};
- deposición progresiva a lo largo de la película;
- crecimiento laminar que genera estructuras planas y onduladas, parecidas a una **cascada petrificada**.

Estas cortinas se van engrosando con el tiempo. Su espesor, brillo y ondulación indican la **estabilidad del flujo** y la **constancia del clima exterior**.

Fase 9 — Coloración

Los tonos beige, marrones o rojizos no son calcita pura: provienen de:

- **óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso** disueltos en el agua,
- **arcillas y materia orgánica** arrastradas desde el suelo.

La alternancia de colores es un registro indirecto de **variaciones climáticas y biológicas** en el exterior.

Vamos a sintetizar toda la secuencia temporal:

Fase	Época	Procesos dominantes	Resultado
I. Deposición marina	Mesozoico (hace 200–100 Ma)	Acumulación de sedimentos carbonatados en mares tropicales.	Formación de calizas y dolomías.
II. Levantamiento orogénico	Cenozoico (65–20 Ma)	Tectónica alpina, elevación del terreno, fracturación.	Aparición de macizos calizos y drenajes superficiales.
III. Inicio del karst	Mioceno–Plioceno	Infiltración de aguas ácidas, disolución de caliza.	Formación de fisuras y primeras cavidades.
IV. Desarrollo de galerías	Pleistoceno (últimos 2 Ma)	Aumento de disolución durante periodos húmedos.	Creación de salas y ríos subterráneos.
V. Descenso del nivel freático	Cuaternario	Encajamiento de ríos, vaciado de galerías.	Cueva seca parcialmente, aire interior.
VI. Precipitación de espeleotemas	Actualidad	Goteo constante y depósito de calcita.	Crecimiento de cortinas, estalactitas, coladas.

→ **Significado geológico y climático actual**

- Cada espeleotema es una **crónica del clima**: sus capas concéntricas o laminadas pueden analizarse químicamente ($\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$) para reconstruir la humedad, temperatura y vegetación del pasado.
- El hecho de que esta cueva presente **coladas activas** indica que el **ciclo kárstico aún continúa**.
- Si el clima cambiara (más árido o frío), el goteo se detendría, las cortinas se secarían y el crecimiento se paralizaría.

→ **Resumen interpretativo (lectura del paisaje subterráneo)**

Este paisaje, aunque oculto bajo tierra, es el resultado visible de **millones de años de evolución de la litosfera y la hidrosfera**.

Cada elemento tiene un significado:

- **El hueco** → memoria del agua que disolvió roca.
- **La cortina** → memoria del agua que la volvió a depositar.
- **Las tonalidades** → memoria de los suelos, los minerales y los climas.
- **El conjunto** → demuestra que la geología no solo modela montañas y valles, sino también el interior del planeta.

⇒ GRAN CASCADA SOBRE ESCARPE ROCOSO (PAISAJE FLUVIAL TROPICAL)



→ **Lugar**

Con muy alta probabilidad, **Cataratas del Iguazú** (frontera Argentina–Brasil).

La disposición en abanico de múltiples saltos, la altura moderada-alta y la vegetación tropical densa son rasgos diagnósticos.

→ **Observación directa**

- **Cascada múltiple**: numerosos saltos paralelos, no un único chorro.
- **Pared rocosa vertical** de gran extensión lateral.
- **Vegetación exuberante** en la coronación y en las paredes húmedas.
- **Agua en láminas** que cae y se fragmenta, formando cortinas y spray.
- Base no visible por espuma y vapor: indica **energía hidráulica elevada**.

Estos rasgos ya apuntan a **caudal muy alto**, **roca competente** y **clima húmedo**.

→ **Rocas y estructura geológica más probables**

Litología

- **Basaltos** (roca ígnea volcánica básica), típicos de la **Provincia Magmática del Paraná**.
- Coladas apiladas, con **contactos subhorizontales** entre flujos sucesivos.

Estructura

- **Escarpe** generado por erosión diferencial: capas basálticas más resistentes sobre niveles algo menos competentes (contactos, zonas vesiculares, diaclasas).
- **Fracturación columnar** local (no siempre visible a distancia), que guía el retroceso del salto.

→ **Procesos actuales dominantes**

A) Incisión fluvial

- El río Iguazú (afluente del Paraná) transporta grandes volúmenes de agua.
- La **energía cinética** se concentra en el borde del escarpe.

B) Erosión hidráulica y socavación

- El agua impacta en la base, **socava** el pie del escarpe.
- Se forman **cuevas de socavación** (plunge pools) invisibles por la espuma.

C) Erosión mecánica y colapso

- La socavación debilita el soporte.
- Ocurren **derrumbes de bloques** desde la cornisa.
- El salto **retrocede aguas arriba** con el tiempo (headward erosion).

D) Papel del clima

- Clima **subtropical húmedo**:

- lluvias abundantes,
- caudal sostenido,
- meteorización química activa en coronación y paredes.

→ **Historia geológica profunda (formación paso a paso)**
Fase I — Vulcanismo masivo (Cretácico inferior, ~135–130 Ma)

- Apertura del Atlántico Sur.
- Emisión de **enormes volúmenes de lava basáltica** (erupciones fisurales).
- Apilamiento de **decenas de coladas** que cubren millones de km² (Paraná–Etendeka).

Resultado: una **meseta basáltica** extensa, plana y muy resistente.

Fase II — Enfriamiento, fracturación y estabilización

- Las coladas se enfrían:
  - desarrollan **diaclasas**,
  - zonas vesiculares en techos y bases de colada.
- El conjunto queda **estructuralmente preparado** para la erosión selectiva futura.

Fase III — Organización de la red fluvial (Cenozoico)

- Con el levantamiento regional y el establecimiento de pendientes suaves:
  - se organiza la **cuenca del Paraná**,
  - el río Iguazú se encaja progresivamente.
- Durante millones de años, el río fluye **sobre la meseta basáltica**.

Fase IV — Inicio del escarpe y de la cascada

- El río alcanza un **contacto litológico/estructural** favorable.
- Comienza la **socavación** en un punto concreto.
- Se forma un **salto inicial**.

Aquí es crucial entender algo: **las cataratas no "nacen grandes"**; empiezan como un salto modesto y crecen por retroceso.

Fase V — Retroceso progresivo del frente (Pleistoceno–Holoceno)

- Cada colapso de la cornisa:
  1. desplaza el salto unos metros río arriba,
  2. genera múltiples brazos al intersectar fracturas laterales,
  3. multiplica los saltos paralelos.
- El resultado es un **frente amplio**, en abanico, con docenas de cascadas.

Este proceso continúa hoy.

→ **Por qué hay muchas cascadas y no una sola**

- **Fracturación**: el basalto está cortado por diaclasas que canalizan el agua.
- **Ancho del río**: gran sección transversal.
- **Variación del caudal**: en crecidas, se activan saltos secundarios.
- **Erosión diferencial** a lo largo del frente.

Por eso el paisaje es dinámico: el número y forma de los saltos cambia con el tiempo.

→ **Lectura climática y biológica**

- La **vegetación densa** indica:
  - suelos profundos sobre basalto,
  - meteorización química intensa,
  - reciclado rápido de nutrientes.
- El spray constante crea **microclimas**:

    - musgos,
    - helechos,
    - biocostras.
- El clima húmedo **acelera** el retroceso del escarpe respecto a climas secos.

→ **Riesgos y evolución futura**
- **Riesgos naturales**:
    - desprendimientos de bloques,
    - variabilidad extrema del caudal.
- **Evolución futura**:
    - el frente seguirá retrocediendo,
    - la morfología cambiará,
    - nuevas cascadas aparecerán y otras desaparecerán.

A escala humana parece estable; a escala geológica es **un sistema en movimiento**.

→ **Síntesis interpretativa**
Este paisaje fluvial tropical es el resultado de:
- **Roca volcánica muy resistente** (basalto),
- **Gran caudal fluvial** sostenido,
- **Clima húmedo** que potencia erosión y colapsos,
- **Tiempo geológico suficiente** para que el salto retroceda y se multiplique.

👉 Las Cataratas del Iguazú no son solo un espectáculo natural: son la **intersección visible entre volcanismo cretácico y erosión fluvial moderna**.

⇒ **<u>GRAN ESCARPE ROCOSO CON NÚCLEO URBANO: PAISAJE FLUVIAL-ESTRUCTURAL</u>**



Lugar: Con identificación muy fiable: **Ronda**, **El Tajo de Ronda** (provincia de Málaga).

→ **Observación directa (qué se ve, con lupa geológica)**
- **Escarpe vertical muy marcado**, de decenas de metros de altura.
- **Ciudad asentada en la coronación**, exactamente sobre el borde del precipicio.
- **Estratificación visible** en las paredes: capas subhorizontales con tonos claros.
- **Valle muy estrecho y profundo**, de fondo encajado.
- Vegetación concentrada en repisas y fondo del tajo (zonas de humedad).

Todo ello indica una **incisión fluvial extrema** en un material **relativamente homogéneo y competente**, pero con **discontinuidades** (estratos y diaclasas).

→ **Rocas y materiales implicados - Litología dominante**
- **Calizas y calcarenitas** (rocas sedimentarias carbonatadas).
- En Ronda, concretamente, predominan **calcarenitas miocenas**:

- arenas carbonatadas cementadas,
- porosas,
- suficientemente duras para mantener paredes verticales, pero vulnerables a disolución y erosión fluvial a largo plazo.

→ **Estructura**

- Capas **prácticamente horizontales**, lo que indica:
  - sedimentación tranquila en ambiente marino somero,
  - posterior levantamiento sin plegamiento intenso.
- **Diaclasas verticales** que facilitan la rotura en bloques y la incisión rectilínea.

→ **Procesos geológicos dominantes (los que explican la forma actual)**

A) Incisión fluvial profunda

- El **río Guadalevín** (afluente del Guadiaro) es el agente principal.
- Ha excavado un cañón estrechísimo, no un valle amplio.

Esto indica:

- **descenso rápido del nivel de base** (probablemente ligado a cambios tectónicos o eustáticos),
- o **levantamiento del bloque rocoso**.

B) Erosión mecánica y química combinadas

- **Erosión mecánica**:
  - abrasión por sedimentos,
  - socavación en crecidas.
- **Erosión química**:
  - disolución parcial de carbonatos,
  - ampliación de diaclasas y oquedades.

C) Gravedad

- Caídas de bloques desde las paredes.
- Formación de pequeños taludes y repisas intermedias.

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Aquí es donde este paisaje se vuelve especialmente interesante.

Fase I — Sedimentación marina (Mioceno, ~20–10 Ma)

1. La zona estaba ocupada por un **mar poco profundo**, cálido.
2. Se depositaron:
   - arenas carbonatadas,
   - restos de organismos marinos,
   - lodos calcáreos.
3. Estos sedimentos se compactaron y cementaron → **calcarenitas**.

Resultado: una **plataforma carbonatada horizontal**, relativamente uniforme.

Fase II — Retirada del mar y levantamiento regional

4. Durante el final del Mioceno y el Plioceno:
   - el mar se retira,
   - la región se eleva suavemente por reajustes tectónicos asociados a la orogenia Bética.
5. El relieve queda **expuesto a la erosión subaérea**.

Aquí aparece un punto clave: **el terreno no se pliega de forma intensa**, sino que se eleva casi como un bloque.

Fase III — Organización de la red fluvial

6. Se establece una red de drenaje superficial.
7. El río Guadalevín comienza a circular sobre la plataforma carbonatada.

Inicialmente:

- el valle sería **ancho y poco profundo**.

Fase IV — Incisión brusca del tajo

8. Por una combinación de factores:
    - descenso del nivel base (posiblemente ligado a encajamiento del Guadiaro hacia el Mediterráneo),
    - levantamiento progresivo del terreno,
    - episodios climáticos con lluvias torrenciales,

   el río **comienza a encajarse verticalmente**.
9. Aprovecha:
    - diaclasas,
    - planos de debilidad,
    - zonas ligeramente más solubles.
10. En lugar de ensanchar el valle, **corta hacia abajo**, creando una **garganta profunda y estrecha**: el Tajo.

Este es un rasgo típico de ríos **jóvenes o rejuvenecidos**.

Fase V — Estabilización relativa y modelado actual

11. Una vez alcanzada cierta profundidad:

- la incisión se ralentiza,
- domina la erosión lateral muy limitada,
- continúan los desprendimientos y la disolución lenta.

12. El paisaje adquiere el aspecto espectacular actual:

- paredes casi verticales,
- fondo estrecho,
- ciudad "colgada" sobre el vacío.

→ **Interacción geología–ser humano**
Este punto es esencial.

¿Por qué se funda la ciudad aquí?

- **Defensa natural**: el tajo es una muralla geológica.
- **Control del territorio**: paso obligado.
- **Roca firme** para cimentaciones.
- **Agua** asegurada por el río.

Riesgos geológicos asociados

- Desprendimientos de bloques.
- Inestabilidad local en bordes.
- Necesidad de control y consolidación de taludes.

👉 El ser humano **no crea el paisaje**, pero **lo aprovecha y lo modifica**.

→ **Lectura geológica profunda**
Este paisaje nos dice varias cosas a la vez:

- Es un ejemplo claro de **paisaje fluvial encajado**.
- Muestra cómo una roca **sedimentaria aparentemente homogénea** puede generar un relieve extremo si:
    - el tiempo,
    - la energía fluvial,
    - y el contexto tectónico juegan a favor.

- Es un caso magnífico de **equilibrio inestable**: el río sigue trabajando, aunque lentamente.

→ **Síntesis interpretativa**

El Tajo de Ronda es el resultado de la incisión vertical de un río rejuvenecido sobre calcarenitas miocenas, tras el levantamiento regional de la Cordillera Bética. La combinación de estratificación subhorizontal, fracturación y procesos fluviales ha generado un escarpe abrupto que condiciona completamente el asentamiento humano y la evolución del paisaje.

⇒ GARGANTA FLUVIAL EN ROCA CRISTALINA CON POZAS Y MARMITAS

Lugar

Con alta probabilidad: **Los Pilones** (Reserva Natural de la Garganta de los Infiernos).

El conjunto de **pozas encadenadas** excavadas en **granito** es diagnóstico.



→ **Observación directa (lectura visual minuciosa)**

- **Canal estrecho** excavado en roca viva, sin sedimentos sueltos apreciables.
- **Superficies pulidas** y suavizadas, con brillo mate característico del pulimento hídrico.
- **Pozas profundas** (marmitas de gigante) encadenadas, de bordes redondeados.
- **Escalones** naturales que indican diferencias locales de resistencia o energía.
- Vegetación concentrada en los márgenes; el lecho activo es **roca desnuda**.

Estos rasgos indican **erosión fluvial muy eficiente** actuando directamente sobre roca cristalina, no sobre sedimentos.

→ **Rocas y estructura geológica**

Litología

- **Granito** (ígneo plutónico), de grano medio a grueso:
  - cuarzo,
  - feldespatos,
  - micas.
- Roca **muy dura**, poco soluble químicamente, pero **vulnerable a la abrasión** mecánica.

Estructura

- **Diaclasado** (fracturas sin desplazamiento) típico de granitos:
  - controla la dirección del canal,
  - condiciona la posición inicial de las pozas.
- Ausencia de estratificación (propio de rocas ígneas).

→ **procesos geológicos dominantes (cómo se excava un paisaje así)**

A) Incisión fluvial sobre roca competente

- El arroyo/río actúa con **pendiente elevada** (cabecera de montaña).
- El agua **no deposita**, sino que **arranca y pule**.

B) Abrasión por carga sólida

- Cantos y arenas actúan como **herramientas**:
  - giran,
  - rebotan,
  - muelen la roca del fondo.
- Este proceso es clave para formar **marmitas**.

C) Vórtices hidráulicos
- En irregularidades del lecho se generan **remolinos**.
- Los clastos quedan atrapados y **perforan** circularmente la roca.
- Con el tiempo, pequeñas cavidades → **pozas profundas**.

D) Crecidas estacionales
- En climas mediterráneos de montaña:
  - **deshielo primaveral**,
  - **lluvias torrenciales**.
- Las crecidas aportan energía suficiente para **reactivar** la excavación cada año.

→ **Historia geológica completa (desde el origen del granito hasta hoy)**
Fase I — Formación del granito (Carbonífero, ~320–300 Ma)
1. Durante la **orogenia Varisca**, grandes masas de magma ácido ascienden y **cristalizan en profundidad**.
2. Se forman **plutones graníticos** bajo varios kilómetros de corteza.
3. El granito se enfría lentamente → cristales grandes y roca muy compacta.

Resultado: un macizo cristalino profundo, aún oculto.

Fase II — Exhumación y desmantelamiento
4. Millones de años de **erosión** eliminan las rocas suprayacentes.
5. El granito queda **expuesto en superficie**.
6. Se desarrolla un **sistema de diaclasas** por:
   - descompresión,
   - enfriamiento,
   - esfuerzos tectónicos tardíos.

Este paso es crucial: sin fracturas, el agua no "sabe por dónde ir".

Fase III — Organización de la red de drenaje
7. Con el relieve ya emergido, se organizan **arroyos de montaña**.
8. El drenaje sigue:
   - diaclasas,
   - zonas ligeramente más alteradas,
   - pendientes naturales.

Inicialmente, el cauce sería **poco profundo** y con sedimentos.

Fase IV — Incisión progresiva y aparición de marmitas
9. El río comienza a **encajarse** por:
   - levantamiento regional suave,
   - aumento de la energía potencial,
   - episodios climáticos con caudales elevados.
10. La carga sólida (cantos) inicia la **abrasión directa** del lecho.
11. Se forman:
- **pulidos**,
- **estrías**,
- **cavidades circulares** incipientes.

Con cada crecida, las cavidades se **profundizan y ensanchan**.

Fase V — Encadenamiento de pozas

12. Algunas marmitas alcanzan gran profundidad y **retienen agua** incluso en estiaje.
13. La energía se concentra en los **saltos entre pozas**, excavando escalones.
14. El cauce adopta el aspecto actual:

- **pozas sucesivas**,
- canales estrechos,
- roca desnuda.

Este es un paisaje **maduro en roca dura**, pero **activo**.

→ **Papel del clima (por qué aquí y no en otro sitio)**

- **Clima mediterráneo de montaña**:
  - veranos secos → bajo caudal, conservación de pozas,
  - primaveras lluviosas → erosión intensa episódica.
- **Ausencia de suelo** en el cauce:
  - impide amortiguar la energía,
  - favorece la erosión directa del granito.

Si el clima fuera:

- más húmedo todo el año → más sedimentos, menos pulido;
- más árido → menor actividad fluvial.

→ **Evolución futura del paisaje**

- A **corto plazo** (humano): cambios mínimos, salvo eventos extremos.
- A **medio plazo**:
  - profundización lenta de pozas,
  - retroceso de pequeños escalones.
- A **largo plazo**:
  - ensanchamiento del valle,
  - pérdida progresiva del carácter "encajado".

Nada aquí es instantáneo: **el tiempo es el escultor principal**.

→ **Lectura geológica integrada**

Este paisaje fluvial en granito es el resultado de la interacción entre un macizo cristalino varisco, una red de diaclasas heredada, un régimen fluvial estacional energético y millones de años de abrasión mecánica. Las marmitas de gigante constituyen la huella más clara de la erosión hidráulica concentrada, y representan uno de los ejemplos más didácticos de modelado fluvial sobre roca dura en la Península Ibérica.

⇒ **GARGANTA EXTREMADAMENTE ESTRECHA EN ROCA CARBONATADA (CAÑÓN KÁRSTICO-ESTRUCTURAL)**



Lugar

Con alta probabilidad se trata de una **garganta kárstica europea**; el aspecto es muy compatible con **Garganta de Samaria** o con gargantas pirenaicas (*Kakuetta/Vernaison*). Pero, la identificación exacta no es lo importante aquí; lo esencial es el **tipo de paisaje** y su **génesis**.

→ **Observación directa minuciosa (qué se ve realmente)**

- **Paredes casi verticales**, muy próximas entre sí: la anchura del paso es mínima.
- **Altura muy grande** de los escarpes en relación con la anchura del cauce.
- **Roca clara** (blanca–gris), de aspecto masivo, con superficies lisas y planos rectilíneos.
- **Escasa vegetación** en las paredes; se concentra en repisas y en el fondo húmedo.
- **Curso de agua** encajado, hoy modesto, pero con señales de haber tenido mayor energía.

Este conjunto define una **garganta juvenil o rejuvenecida**, donde la erosión vertical ha dominado sobre la lateral.

→ **Rocas y estructura geológica**

Litología dominante

- **Calizas masivas** (a veces dolomías), muy compactas.
- Roca **resistente mecánicamente**, pero **soluble químicamente** en presencia de agua cargada de CO_2.

Estructura

- **Fracturación tectónica marcada**:
  - diaclasas subverticales,
  - fallas menores.
- Estratificación poco visible o masiva: favorece **paredes continuas**.

La garganta **sigue una línea de debilidad estructural**: no se abre al azar, sino guiada por la tectónica.

→ **Procesos geológicos dominantes (cómo se "corta" una garganta así)**

A) Incisión fluvial extremadamente concentrada

- El río aprovecha una **fractura profunda**.

- La energía se concentra en un canal muy estrecho → **erosión vertical muy eficaz**.

B) Disolución kárstica auxiliar

- Aunque la forma final parece "mecánica", la **disolución**:
  - ensancha microfisuras,
  - facilita el arranque de bloques,
  - suaviza superficies.

C) Gravedad

- Desprendimientos ocasionales desde las paredes.
- Caída de bloques que pueden ser evacuados en crecidas.

D) Control climático

- Regímenes con **crecidas episódicas** (lluvias intensas o deshielo):
  - eventos raros pero muy energéticos,
  - responsables de la mayor parte del trabajo erosivo.

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Fase I — Sedimentación marina carbonatada (Mesozoico)

1. En un **mar cálido y somero**, se depositan grandes espesores de calizas.
2. Sedimentación relativamente homogénea → capas masivas y continuas.

Este es el "material base": sin estas calizas, no existiría el paisaje.

Fase II — Orogenia y fracturación

3. Durante una orogenia (alpina en Europa):
   - las calizas se **levantan**,
   - se **fracturan intensamente**,
   - aparecen diaclasas y fallas.

Aquí se crean las **líneas guía** que el agua aprovechará después.

Fase III — Inicio de la karstificación

4. El macizo emerge y queda expuesto a la lluvia.
5. El agua se infiltra y **disuelve** caliza en profundidad:
   - se amplían fracturas,
   - se forman conductos subterráneos.

En esta etapa, el drenaje puede ser **parcialmente subterráneo**.

Fase IV — Captura del drenaje y paso a incisión superficial

6. Cambios en el nivel de base (descenso del mar, encajamiento regional) provocan:
   - abandono de conductos profundos,
   - reorganización del drenaje hacia superficie.
7. Un cauce superficial se instala **exactamente sobre una fractura principal**.

Este momento es clave: **el río "elige" la grieta más favorable**.

Fase V — Incisión vertical acelerada (garganta)

8. El río comienza a **cortar hacia abajo**, no hacia los lados:
   - la roca es dura,
   - las paredes son estables,
   - la fractura canaliza la energía.

9. Cada crecida:
    - arranca fragmentos,
    - profundiza el canal,
    - mantiene la anchura mínima.

Así nace la **garganta estrechísima**.

Fase VI — Ajuste y modelado actual

10. Con el tiempo:
    - la incisión se ralentiza,
    - domina la estabilidad de paredes,
    - continúan pequeños desprendimientos y disolución lenta.
11. El cauce actual puede ser modesto, pero el relieve conserva la huella de **caudales mucho mayores del pasado**.

→ **¿Por qué NO se ensancha el valle?**

Esta es una pregunta clave

- La **roca es competente** → resiste la erosión lateral.
- La **fracturación vertical** dirige la incisión hacia abajo.
- La **disolución** ayuda a profundizar, no a abrir un valle amplio.
- El **tiempo geológico** aún no ha permitido una fase madura de ensanchamiento.

Resultado: un paisaje **espectacular pero inestable a muy largo plazo**.

→ **Evolución futura**

- **Corto plazo**: prácticamente estable.
- **Medio plazo**: caídas puntuales de bloques.
- **Largo plazo**:
    - ensanchamiento progresivo,
    - transición de garganta a valle más abierto,
    - si el clima y el nivel de base lo permiten.

Pero esto requiere **millones de años**.

→ **Síntesis interpretativa**

Esta garganta representa un paisaje fluvial-kárstico controlado estructuralmente, excavado por incisión vertical concentrada a lo largo de fracturas tectónicas en calizas masivas. La combinación de disolución carbonatada, erosión hidráulica episódica y estabilidad mecánica de la roca ha generado un cañón extremadamente estrecho, que conserva la memoria de un relieve rejuvenecido y de un drenaje altamente energético en el pasado.

⇒ GRAN CAÑÓN ESTRATIFICADO: LECTURA DEL TIEMPO GEOLÓGICO

Lugar

Identificación inequívoca: **Gran Cañón del Colorado**.

→ **Observación directa exhaustiva (qué se ve, con criterio geológico)**

- **Cañón de enormes dimensiones**: anchura kilométrica y profundidad superior a 1.500 m.
- **Estratos claramente visibles**, subhorizontales, de **colores y espesores distintos**.
- **Escalonamiento** de las paredes: capas duras forman cornisas; capas blandas, taludes.
- **Río encajado** en el fondo, relativamente pequeño respecto al tamaño del cañón.
- **Ausencia de plegamiento intenso**: los estratos están casi horizontales.

Esta simple observación ya indica algo fundamental: **la historia no es tectónica violenta**, sino **sedimentaria + erosiva**.



→ **Rocas y materiales (qué tipos aparecen y por qué importan)**

En el Gran Cañón aflora una **columna estratigráfica excepcional**, con tres grandes conjuntos:

A) Basamento cristalino (fondo del cañón)

- **Gneises y esquistos** (metamórficos) y **granitos** (ígneos).
- Edad: **Precámbrico** (≈1.700–1.800 Ma).

👉 Representa la **corteza continental antigua**, profundamente enterrada y luego exhumada.

B) Serie sedimentaria inferior–media

- **Areniscas**, **lutitas**, **calizas** paleozoicas.
- Ambientes alternantes:
  - desiertos (areniscas eólicas),
  - mares someros (calizas),
  - llanuras fluviales y deltas (lutitas).

👉 Cada capa es un **ambiente distinto**, apilado en el tiempo.

C) Serie sedimentaria superior

- Areniscas resistentes (p. ej., **arenisca Coconino**), calizas y dolomías.
- Capas tabulares muy extensas.

👉 Estas capas superiores protegen parcialmente el relieve, creando el escalonamiento.

→ **Procesos geológicos dominantes (los "autores" del paisaje)**

A) Sedimentación prolongada

- Durante **cientos de millones de años**, la región fue:
  - mar,
  - costa,
  - desierto,
  - llanura fluvial,

en distintos momentos.

La horizontalidad indica **estabilidad tectónica relativa** durante la sedimentación.

B) Levantamiento regional suave

- El **Plateau del Colorado** se eleva (Cenozoico) **sin plegarse**.
- Esto aumenta la **energía potencial** del río, pero conserva las capas intactas.

Este detalle es clave: **se eleva el bloque entero**, no se deforma.

C) Incisión fluvial

- El **río Colorado** aprovecha el levantamiento para **cortar hacia abajo**.
- Mantiene su trazado meandriforme mientras se encaja (incisión antecedente).

D) Erosión diferencial

- Capas duras (areniscas, calizas compactas) → **cornisas**.
- Capas blandas (lutitas) → **taludes**.

Este contraste genera la arquitectura "en escalera" del cañón.

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Fase I — Construcción del basamento (Precámbrico)

1. Formación de rocas ígneas y metamórficas en profundidad.
2. Episodios tectónicos muy antiguos.
3. Larga erosión hasta quedar casi plano.

Este basamento es el "suelo" sobre el que se apoya todo lo demás.

Fase II — Gran ciclo sedimentario (Paleozoico, 540–250 Ma)

4. Invasiones marinas repetidas depositan **calizas**.
5. Retrocesos del mar dejan **areniscas** y **lutitas** continentales.
6. Se acumulan **kilómetros de sedimentos** en capas casi horizontales.

Aquí se escribe la mayor parte del "libro" estratigráfico.

Fase III — Larga pausa y erosión

7. Parte del Mesozoico no está representado: hubo **erosión** en lugar de depósito.
8. Se genera una **discordancia** (tiempo perdido en el registro).

Fase IV — Levantamiento del Plateau del Colorado (Cenozoico)

9. Elevación lenta y amplia del bloque continental.
10. Aumento de pendiente regional sin plegamiento.

Este paso activa la fase erosiva decisiva.

Fase V — Excavación del cañón (últimos 5–6 Ma)

11. El río Colorado intensifica su incisión.
12. Corta capa a capa, respetando el orden temporal.
13. Se forma el cañón profundo, ancho y escalonado.

El río es pequeño hoy, pero **su trabajo acumulado es inmenso**.

→ **Qué nos enseña este paisaje (lectura geológica profunda)**

- **El tiempo geológico es acumulativo**: no hace falta violencia extrema, sino constancia.
- **La estratigrafía es historia**: cada capa tiene edad, ambiente y proceso.
- **La tectónica puede ser sutil**: levantar sin plegar cambia todo.
- **La erosión fluvial puede crear relieves gigantescos** si dispone de tiempo.

→ **Clima y evolución**

- Clima **semiárido** actual:
  - escasa vegetación,
  - erosión lenta pero efectiva,
  - excelente preservación de estratos.
- En climas más húmedos, el cañón estaría más cubierto y menos "legible".

→ **Síntesis interpretativa**

El Gran Cañón del Colorado es un ejemplo excepcional de paisaje estratigráfico, donde la superposición de capas sedimentarias casi horizontales, depositadas durante cientos de millones de años, ha sido exhumada por la incisión fluvial posterior al levantamiento del Plateau del Colorado. La erosión diferencial ha convertido la columna estratigráfica en un relieve escalonado que permite leer, capa a capa, una parte sustancial de la historia geológica de la Tierra.

⇒ CAMPO VOLCÁNICO RECIENTE: CONOS DE ESCORIAS Y COLADAS BASÁLTICAS



Lugar

La morfología y el contexto son **altamente compatibles** con **Parque Nacional de Timanfaya**.

(Conos de escorias bien definidos, coladas basálticas extensas, escasa vegetación y relieve muy joven).

→ **Observación directa minuciosa (qué se ve, sin interpretar aún)**

- **Conos volcánicos pequeños a medianos**, de perfil cónico regular, con cráteres abiertos.
- **Superficies oscuras** (negras a pardo-rojizas), con texturas rugosas y onduladas.
- **Coladas superpuestas**, algunas con lóbulos bien marcados.
- **Ausencia casi total de suelos** y vegetación muy escasa.
- Relieve **poco disectado** por la erosión: aristas vivas, flancos empinados.

Todo ello apunta a un **paisaje volcánico extremadamente joven** en términos geológicos.

→ **Rocas y materiales implicados**

Litología

- **Basaltos** (rocas ígneas volcánicas básicas), ricos en:
  - olivino,
  - piroxenos,
  - plagioclasa.
- **Piroclastos** (escorias, lapilli) en los conos.

Texturas

- **Coladas 'aa'** (superficies ásperas, bloques angulosos).
- **Coladas 'pahoehoe'** localizadas (superficies lisas y cordadas).
- Escorias vesiculares en los conos (gases abundantes).

→ **Procesos volcánicos dominantes (cómo se construye este paisaje)**

A) Vulcanismo fisural y estromboliano

- Emisión de magma basáltico **poco viscoso**.
- Explosiones moderadas que proyectan piroclastos → **conos de escorias**.
- Emisión simultánea o posterior de **coladas fluidas** que se extienden grandes distancias.

B) Construcción rápida del relieve

- Un cono de escorias puede **formarse en días o semanas**.
- Las coladas se apilan y cubren el terreno previo.

C) Control estructural

- Las erupciones siguen **fracturas** relacionadas con:
  - la tectónica extensional,
  - la alineación regional de conos.

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Fase I — Contexto profundo (millones de años antes)

1. En el manto superior existe una **anomalía térmica** (punto caliente canario).
2. La litosfera oceánica atlántica, relativamente delgada, permite el ascenso de magmas basálticos.

Este contexto explica por qué el volcanismo es **recurrente** y **básico**.

Fase II — Ascenso del magma y apertura de fisuras

3. El magma asciende por **fracturas** debido a:
   - su menor densidad,
   - la presión de gases disueltos.
4. La superficie se fractura en **fisuras eruptivas**.

En Lanzarote, estas fisuras pueden extenderse **kilómetros**.

Fase III — Erupciones históricas (siglos XVIII–XIX)

5. Se producen erupciones **estrombolianas**:
   - fuentes de lava,
   - expulsión de escorias incandescentes.
6. Las escorias caen alrededor del punto de emisión y **construyen conos**.
7. Al mismo tiempo, **coladas basálticas** fluyen y sepultan:
   - suelos previos,
   - campos agrícolas,
   - relieves antiguos.

En Timanfaya, este episodio es **histórico** (1730–1736), excepcionalmente reciente.

Fase IV — Enfriamiento y consolidación

8. Las coladas se enfrían:
   - rápidamente en superficie,
   - más lentamente en el interior.
9. Se desarrollan:
   - diaclasas de enfriamiento,
   - superficies rugosas y cordadas.

El relieve queda **"congelado"** en un estado juvenil.

Fase V — Inicio del modelado externo (actualidad)

10. La erosión es **muy limitada**:
    - clima árido,
    - escasa escorrentía,
    - ausencia de suelos.
11. Dominan procesos de:
    - **meteorización física**,

- alteración lenta de minerales (olivino → iddingsita).

Por eso los conos conservan su forma casi perfecta.

→ **Papel del clima y la biosfera**

- **Clima árido-semiárido**:
  - limita la erosión,
  - preserva formas volcánicas.
- Vegetación pionera:
  - líquenes,
  - algunas plantas adaptadas.
- Formación de suelo **extremadamente lenta** (siglos–milenios).

El paisaje es un ejemplo claro de **desfase temporal**: la geología va por delante de la biología.

→ **Evolución futura del paisaje**

Corto plazo

- Cambios mínimos visibles.
- Continuará la alteración superficial.

Medio plazo

- Desarrollo de suelos delgados en depresiones.
- Colonización vegetal progresiva.

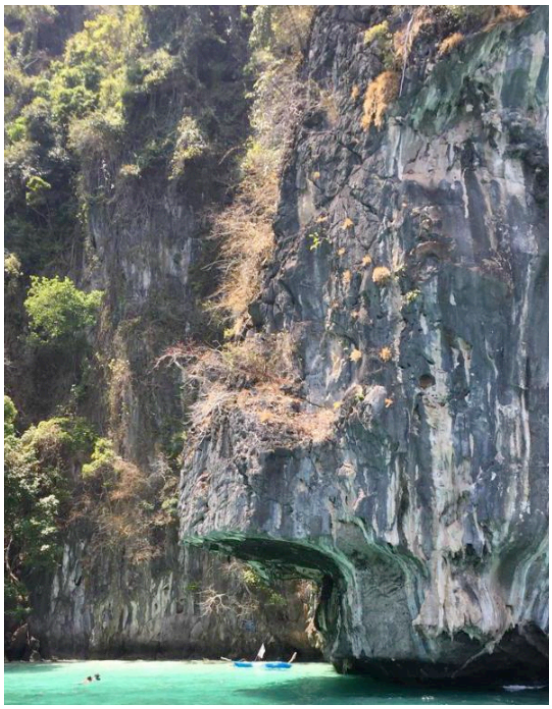
Largo plazo

- Desmantelamiento de conos.
- Incisión de barrancos si el clima se humedece.
- Integración del relieve volcánico en un paisaje más suavizado.

→ **Lectura geológica profunda**

Este paisaje volcánico reciente es el resultado de erupciones basálticas fisurales y estrombolianas asociadas al punto caliente canario. Los conos de escorias y las coladas superpuestas registran episodios eruptivos rápidos y muy recientes, apenas modificados por la erosión debido a un clima árido y a la ausencia de suelos. Se trata de un relieve juvenil, donde la historia volcánica aún domina claramente sobre los procesos externos.

⇒ **PAISAJE COSTERO CON ARCOS Y FARALLONES (KARST + OLEAJE)**



Lugar

Muy compatible con **Étretat** (arcos y agujas en calizas cretácicas) o con arcos calcáreos atlánticos tipo ***Durdle Door*** (Dorset, Reino Unido). El **tipo de paisaje** es inequívoco: **karst costero** en calizas.

El ***Karst*** o ***Carso*** es un paisaje modelado por la disolución química de rocas solubles como la caliza, yeso o dolomía, creando relieves accidentados con dolinas, lapiaces, y extensos sistemas de cuevas y ríos subterráneos, caracterizado por importantes acuíferos subterráneos.

→ **Observación directa minuciosa (qué se ve)**

- **Acantilados blancos/gris claro** con **arcos naturales** y **farallones** aislados.
- **Cornisas** y **plataformas de abrasión** a pie de acantilado.
- **Estratos subhorizontales** bien visibles.

- **Superficies lisas** en paredes expuestas al oleaje; **oquedades** y **cavidades** en zonas protegidas.
- Vegetación muy escasa en el frente; algo mayor en la coronación.

Estas formas indican **interacción directa entre disolución kárstica y erosión marina**.

→ **Rocas y estructura geológica**

Litología

- **Calizas** (en Étretat, **creta**: caliza muy fina y relativamente blanda, rica en microfósiles).
- Localmente intercalaciones margosas que **debilitan** ciertos niveles.

Estructura

- **Estratificación horizontal**: favorece la formación de **cornisas**.
- **Diaclasas verticales** y planos de debilidad que **guían** la apertura de cuevas, arcos y el aislamiento de farallones.

→ **Procesos geológicos dominantes**

A) Disolución kárstica (subaérea y marina)

- El agua meteórica y el agua de mar (ligeramente ácida) **disuelven** la caliza.
- Se amplían **diaclasas** y **planos** creando cuevas costeras.

B) Erosión marina

- **Oleaje**: socavación basal, presión hidráulica, abrasión por clastos.
- **Tormentas**: episodios de máxima energía que desencadenan colapsos.

C) Gravedad

- Caídas de bloques desde cornisas.
- Aislamiento progresivo de **farallones** (stacks).

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Fase I — Sedimentación marina carbonatada (Cretácico)

1. Depósito de **lodos calcáreos** en un mar cálido y tranquilo.
2. Compactación y cementación → **caliza tabular** extensa.

Fase II — Levantamiento suave y exposición

3. Emersión progresiva del bloque continental.
4. Exposición subaérea: **inicio del karst** en superficie (dolinas incipientes, fisuras).

Fase III — Establecimiento de la línea de costa

5. El mar alcanza la base del macizo calizo.
6. Se forma un **acantilado activo**; el oleaje comienza la socavación.

Fase IV — Cuevas marinas

7. El oleaje y la disolución amplían **cavidades** a lo largo de diaclasas.
8. Las cuevas crecen hacia el interior siguiendo planos de debilidad.

Fase V — Formación de arcos

9. Dos cuevas opuestas **conectan** o una cueva atraviesa un promontorio.
10. Se crea un **arco natural** estable mientras el techo resista.

Fase VI — Colapso y farallones

11. El arco pierde soporte por:
    - ensanchamiento,
    - disolución continua,
    - vibración por oleaje.
12. **Colapso** del techo → queda un **farallón** aislado.
13. El farallón se irá **desgastando** hasta desaparecer.

Este ciclo (acantilado → cueva → arco → farallón → plataforma) se repite continuamente a lo largo de la costa.

→ **Control del nivel del mar y del clima**

- **Oscilaciones eustáticas** (glaciaciones):
  - modifican la altura del oleaje efectivo,
  - generan **plataformas escalonadas**.
- **Clima**:
  - más tormentas → mayor ritmo de retroceso,
  - mayor lluvia → más disolución kárstica.

→ **Evolución futura del paisaje**

- **Corto plazo**: estabilidad aparente.
- **Medio plazo**: colapsos puntuales de arcos.
- **Largo plazo**:
  - retroceso del acantilado,
  - desaparición de farallones,
  - ampliación de la plataforma de abrasión.

👉 La costa "se come" la roca paso a paso.

→ **Lectura geológica profunda**

Este paisaje kárstico costero es el resultado de la superposición de procesos de disolución carbonatada y erosión marina sobre calizas tabulares. La fracturación guía la formación de cuevas, que evolucionan a arcos y, tras su colapso, a farallones aislados. La dinámica del oleaje y las oscilaciones del nivel del mar controlan la velocidad de retroceso del acantilado, haciendo de la costa un sistema geomorfológico activo y en permanente renovación.

⇒ **<u>RELIEVE TABULAR CON MESAS Y CAÑONES SECUNDARIOS (EROSIÓN DIFERENCIAL EN ROCAS SEDIMENTARIAS)</u>**

Lugar

El paisaje es **claramente identificativo**, pertenece a la **Meseta del Colorado**, con ejemplos paradigmáticos en el **Valle de los Monumentos** y áreas cercanas (Zion, Canyonlands).



→ **Observación directa minuciosa (qué se ve realmente)**

- **Mesas** (plataformas elevadas de cima plana) y **buttes** (relieves residuales aislados).
- **Cañones secundarios** que diseccionan el altiplano.
- **Estratos horizontales** muy continuos, visibles como "capas de tarta".
- **Escalonamiento**: capas duras forman cornisas; capas blandas, taludes.
- **Vegetación escasa** y suelos muy delgados.
- Red de drenaje **encajada** y rectilínea en muchos tramos.

Esta combinación indica **erosión prolongada** sobre un paquete sedimentario **poco deformado**.

→ **Rocas y estructura geológica**

Litología

- Predominan **areniscas** (resistentes) intercaladas con **lutitas y margas** (menos resistentes).
- Localmente **calizas** tabulares.
- Cementos silíceos o calcáreos que controlan la resistencia.

Estructura

- **Estratificación subhorizontal** (deposición tranquila y extensa).
- **Fracturación ortogonal** heredada (diaclasas) que guía la disección en cañones rectilíneos.
- Ausencia de plegamiento significativo: el bloque se elevó **en conjunto**.



→ **Procesos geológicos dominantes**

A) Erosión diferencial

- Capas duras (areniscas cementadas) **protegen** las cimas (mesas).
- Capas blandas (lutitas/margas) se **desmantelan** con facilidad.
- El contraste crea **cornisas** y **paredes verticales**.

B) Incisión fluvial

- Ríos y arroyos aprovechan diaclasas y pendientes regionales.
- **Cortan hacia abajo** más que ensanchar, por el levantamiento regional.

C) Meteorización física

- **Termoclastia** (amplitudes térmicas).
- **Gelifracción** local en cotas altas.
- Escasa meteorización química (clima semiárido).

D) Gravedad

- Colapsos desde cornisas → retroceso de frentes.
- Formación de taludes de derrubios al pie.

→ **Historia geológica completa (formación paso a paso)**

Fase I — Construcción sedimentaria (Paleozoico–Mesozoico)

1. Durante cientos de millones de años se depositan **capas extensas** en ambientes variables:
   - **desiertos** (areniscas eólicas),
   - **costas y mares someros** (calizas),
   - **llanuras fluviales** (lutitas).
2. La deposición es **tabular** y muy continua → capas horizontales de gran extensión lateral.

Este es el "archivo" que luego será esculpido.

Fase II — Pausa, erosión y discordancias

3. Periodos sin sedimentación generan **superficies de erosión**.
4. Se crean **discordancias** que marcan grandes saltos temporales.

Fase III — Levantamiento del bloque (Cenozoico)

5. El **Colorado Plateau** se eleva **lentamente** (varios cientos a miles de metros).
6. El levantamiento es **regional y coherente**, sin plegar las capas.

Consecuencia clave: aumenta la **energía potencial** de los ríos.

Fase IV — Incisión y disección (últimos 10–6 Ma)

7. Los ríos comienzan a **encajarse** rápidamente.
8. La incisión sigue:
    - diaclasas,
    - zonas de menor resistencia,
    - bordes de capas.
9. Se desarrollan **cañones principales** y **secundarios**.

Fase V — Aislamiento de relieves residuales

10. La erosión lateral y los colapsos **separan** porciones del altiplano.
11. Grandes superficies planas quedan aisladas → **mesas**.
12. La progresión continúa:
    - mesas grandes → buttes → pináculos → desaparición.

Este proceso es lento pero inexorable.

→ **Papel del clima**

- **Clima semiárido**:
    - poca vegetación (poca protección del suelo),
    - lluvias episódicas pero intensas,
    - excelente **conservación de formas**.
- En climas más húmedos, el relieve sería **más redondeado** y menos legible.

→ **Evolución futura del paisaje**

- **Corto plazo**: estabilidad aparente.
- **Medio plazo**: retroceso de cornisas, ensanchamiento de cañones.
- **Largo plazo**:
    - desaparición de mesas actuales,
    - formación de nuevas a partir de niveles más resistentes,
    - suavizado general del relieve si cesa el levantamiento.

→ **Lectura geológica profunda**

Este relieve tabular es el resultado de la erosión diferencial sobre una potente serie sedimentaria horizontal, levantada regionalmente sin plegamiento. La incisión fluvial y la meteorización física han desmantelado progresivamente el altiplano, aislando mesas y buttes protegidos por capas resistentes. El paisaje constituye una secuencia temporal visible de destrucción del relieve, donde cada cornisa marca un nivel litológico clave.

⇒ **PARA LOS QUE QUIERAN HACERSE DETECTIVES GEOLÓGICOS**

Esta información es muy útil para leer montañas de granito como si fueran antiguos **mapas de tensiones** (se conoce con este nombre a la distribución de los esfuerzos en la **corteza terrestre** provocados por el movimiento de las placas tectónicas).

Con solo observar fracturas, alineaciones y relieves se puede reconstruir fuerzas tectónicas que ya no actúan.

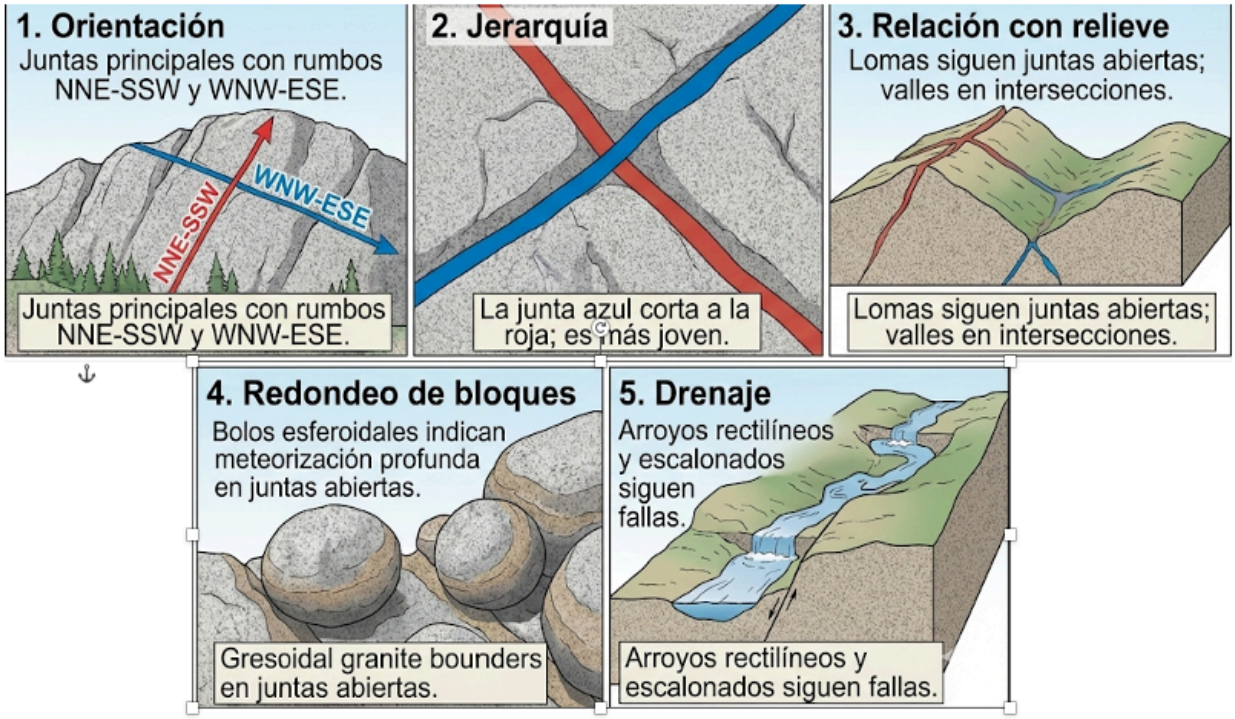
1) Tres pistas clave en campo

- **Diaclasas (juntas)**: grietas sin desplazamiento visible. Suelen formarse perpendiculares a la **dirección de máxima tensión**. Si varias familias se cruzan, delatan **dos o más fases** de esfuerzo.
- **Fallas y estrías**: roturas con desplazamiento. La orientación del plano y el pulido/estrías indican **dirección de movimiento** y **sentido del esfuerzo** (compresión vs. extensión).

- **Tors graníticos alineados (se llama Tor a la formación rocosa natural que resulta de la erosión y meteorización de rocas como el granito)**: torres/bloques redondeados por meteorización que se repiten en filas paralelas. Su alineación suele heredar **bandas de debilidad** (juntas o foliaciones) abiertas por antiguas tensiones; la erosión solo "revela" ese patrón.

2) Cómo leer el "mapa de esfuerzos" en una cresta granítica

1. **Orientación**: toma los rumbos de las familias de juntas principales (por ejemplo, NNE-SSW y WNW-ESE).
2. **Jerarquía**: identifica cuál corta a cuál (la que **corta** es **más joven**).
3. **Relación con relieve**: lomas y crestas suelen seguir **juntas más abiertas** o **fallas**; collados/vallejuelos marcan intersecciones de familias.
4. **Redondeo de bloques**: cuanto más esferoidales son los bolos, mayor **meteorización esferoidal** en profundidad a lo largo de juntas abiertas.
5. **Drenaje**: arroyos rectilíneos y escalonados delatan **control estructural** (siguen diaclasas o fallas).



3) Interpretación típica (esquema rápido)

- **Fase 1 (compresión)**: genera una familia dominante de juntas; aparecen **pliegues o fallas inversas** cercanas a zonas de cizalla.
- **Fase 2 (extensión tardía)**: abre juntas ortogonales o reabre las antiguas; posibles **fallas normales**.
- **Exhumación y meteorización**: el granito se despresuriza, se forman **juntas de descarga** subhorizontales; la meteorización esferoidal redondea bloques → **tors**.
- **Modelado final**: la erosión preferente a lo largo de juntas/fallas deja **crestas alineadas** y **picos** que marcan la herencia del campo de esfuerzos.

4) Checklist de campo (rápida)

- Medir **rumbo/buzamiento** de 2–3 familias de juntas.
- Buscar **estrías** en planos de falla y anotar su **tendencia**.
- Mapear **alineaciones de tors** y arroyos rectilíneos.
- Distinguir **juntas de descarga** (casi horizontales) de las tectónicas (inclinadas).
- Establecer **relaciones de corte** para ordenar las fases.

5) Aplicación práctica

Si se encuentra una divisoria granítica con tors alineados NNE-SSW, riachuelos rectilíneos paralelos y una segunda familia de juntas WNW-ESE que corta a la primera:

- El patrón sugiere **dos fases**: primero esfuerzos que abren NNE-SSW; después otra fase que introduce WNW-ESE (más joven).
- Los tors siguen las **debilidades NNE-SSW**; el drenaje las hereda; las superficies redondeadas resultan de **meteorización esferoidal** a lo largo de esas juntas.
- Los picos agudos suelen coincidir con **intersecciones** de familias de juntas/fallas, puntos más resistentes a la erosión lateral.

⇒ **PARA LOS ESTUDIOSO**

Idea clave: muchos cerros y sierras bajas son las "raíces" exhumadas de montañas antiguas. Si se compara la pendiente de las laderas con el tamaño de los sedimentos en los valles cercanos, se puede deducir el vigor y la duración de la erosión.

1) Preparación rápida

- Mapa base (topográfico o app con curvas de nivel) y regla/clinómetro del móvil.
- Libreta y bolsa pequeña para muestras.

2) Observa el relieve

- **Pendiente:** laderas muy inclinadas → erosión activa o materiales duros; laderas suaves → erosión prolongada o materiales blandos.
- **Formas:** crestas afiladas y aristas → relieves jóvenes; cumbres redondeadas y superficies planas colgadas ("penillanuras") → relieves viejos y rebajados.

3) Recolecta y clasifica sedimentos del valle

- **Grava/cantos (centímetros):** transporte corto, energía alta (avenidas), relieve aún vigoroso.
- **Arenas (milímetros):** energía media, retrabajo sostenido.
- **Limos/arcillas (micras):** energía baja, larga distancia y tiempo de meteorización; sugiere cuencas maduras y erosión de larga duración.

4) Conecta ladera–valle (regla práctica)

- Ladera **empinada** + valle con **gravas/cantos** → erosión reciente/intensa, poco tiempo de redondeo.
- Ladera **suave** + valle con **arenas/limos/arcillas** → erosión prolongada, materiales muy desmenuzados.
- Si ves **superficies planas** en altura con **valles encajados** recientes, piensa en un antiguo nivel de base elevado seguido de **levantamiento tectónico** y rejuvenecimiento del drenaje.

5) Pistas adicionales para afinar el "reloj"

- **Redondez de los clastos:** cuanto más esféricos y pulidos, más recorrido/tiempo.
- **Meteorización química:** cortezas de alteración, suelos rojos o arcillas ricas en óxidos implican tiempos largos y climas con agua disponible.
- **Discordancias/terrazas fluviales:** escalones de antiguos cauces indican pulsos sucesivos de erosión y pueden ordenar una **secuencia temporal** (de más alto = más antiguo a más bajo = más reciente).

6) Mini-protocolo de notas (formato de campo)

- Pendiente media (° o %), litología visible (si se reconoce: granito, caliza, pizarra…), formas del relieve.
- Tamaño dominante del sedimento en el cauce (canto, grava, arena, limo/arcilla) y grado de redondez.
- Señales de cambios recientes: talas, encauzamientos, presas, incendios (pueden "acelerar" artificialmente la erosión).