
CIENCIAS
DE LA
TIERRA
GEOLOGÍA
JUSTO SOTO REBOLLO

Asignatura: GEOLOGÍA

PROFESORAS RESPONSABLES:
Dra. Amelia Calonge García
Dr. Miguel Ángel de Pablo Hernández
Dra. María Eugenia Moya Palomares
Dr. Gabriel Alejandro Goyanes Díaz

Depto. de Geología, Geografía y Medio Ambiente, UAH






OBJETIVOS:

El objetivo general de la asignatura es que los alumnos adquieran una visión general sobre qué es la Geología, esa ciencia tan desconocida por la ciudadanía, y que tan importante es para su bienestar.

Con esta asignatura se pretende que el alumno conozca los conceptos básicos relacionados con la Geología y los procesos geológicos que permitan entender la formación y la disposición espacial de los materiales geológicos, así como comprender los procesos generadores del relieve y sus resultados. Además, se dará a conocer la importancia de esta ciencia en la sociedad actual, no solo para el incremento del conocimiento científico sobre cómo funciona nuestro planeta, sino también para la búsqueda de recursos minerales, la gestión de los recursos hídricos, el soporte de actividades y construcciones, etc. Se revisarán también los aspectos sociales y ambientales que atañen a esta ciencia y cómo desde ésta se contribuye a un desarrollo más equilibrado y justo del planeta. Finalmente se dará a conocer cuál ha sido la historia geológica de nuestro país, y se verá la relación entre la Geología y las ciencias de la vida. La asignatura finaliza con una visión sobre el papel de la Geología en el entendimiento del Cambio Climático y se verán el aspecto tal vez más exótico de esta ciencia que es el estudio de otros cuerpos planetarios.

A lo largo de la asignatura se realizarán diversas actividades prácticas dirigidas a realizar distintos tipos de actividades y ejercicios que permitan conocer cómo trabajan los geólogos mediante el método científico, para avanzar en el conocimiento del planeta Tierra. Se complementará la asignatura con una práctica de campo, para el estudio de la Geología sobre el terreno.

PROGRAMA:

1. **Introducción a las Ciencias de la Tierra. ¿Qué es la Geología? Ramas de la Geología. ¿Para qué sirve la Geología? Importancia de la Geología.**
2. **Aproximación al conocimiento geológico. La Geología como ciencia; El método científico; Catastrofismo, Uniformismo y Uniformitarismo; Principios básicos de la Geología; Métodos de datación; Dataciones relativas; Dataciones absolutas; El tiempo geológico.**
3. **Tectónica de Placas. ¿Cómo se estudia el interior de la Tierra? Estructura composicional y reológica. Movimientos del Manto y campo magnético. Tectónica de Placas. "Teoría de la deriva continental". "Teoría de la Tectónica de placas" Tipos de borde de placa. Actividad tectónica intraplaca. Ciclo de Wilson. Orógenos de colisión en España.**
4. **Mineralogía y Petrología. De los átomos a las rocas. La estructura cristalina. Los minerales. Clasificación y propiedades. Minerales formadores de roca. Ambientes formadores de roca. Clasificación de las rocas. Rocas ígneas. Rocas Sedimentarias. Rocas metamórficas.**
5. **Recursos geológicos. Definiciones y clasificación. Los recursos industriales. Recursos metálicos. Recursos energéticos. Recursos hídricos. Exploración. Explotación y sus impactos.**
6. **Geología y paisaje: Interpretación de paisajes y materiales mediante fotografías de paisajes aportadas por los propios estudiantes.**
7. **Geología y cambio climático. El modelado y los materiales como indicadores del clima; El estudio de los suelos congelados en la Antártida como ejemplo de la contribución de la geología al estudio del calentamiento global.**
8. **De la Tierra al Sistema Solar La formación del Sistema Solar; Los cuerpos del Sistema Solar; Los planetas terrestres; Los cuerpos del cinturón de asteroides; Los planetas Gaseosos; Planetas menores; Cuerpos del Cinturón de Kuiper y la nube de Oort; Procesos geológicos en los cuerpos planetarios.**
9. **Los materiales terrestres: minerales y rocas. (Actividad práctica en laboratorio de cartografía, grupo doble, dos horarios): Concepto de mineral y mineralogía. Las propiedades que nos permiten diferenciar minerales. La obtención y uso de los minerales. Las diferencias existentes entre mineral y roca. Concepto de roca y petrología. Los diferentes tipos de roca. El ciclo de las rocas. La utilidad de las rocas.**

10. **El mapa topográfico y el mapa geológico (Actividad práctica en laboratorio de cartografía, grupo doble, dos horarios): El relieve terrestre y su representación. Interpretación de foto aérea como base a la representación e interpretación del relieve. Escala, curvas de nivel, mapa topográfico. Símbolos en un mapa. Corte topográfico. La geología y su representación cartográfica. Simbología en la representación, leyenda (cronológica) y lectura de un mapa.**
11. **Cortes geológicos (Actividad práctica en laboratorio de cartografía, grupo doble, dos horarios) Principios aplicados, columnas estratigráficas y su correlación, realización de cortes geológicos y descripción simplificada de la historia geológica de estos.**
12. **Modelado de la superficie terrestre (I). La importancia de la dinámica terrestre para la gestión actual del territorio. El hombre como elemento transformador. Modelados terrestres y su dinámica.**
13. **Modelado de la superficie terrestre (II). Modelado fluvial y su dinámica. Eventos catastróficos por actuaciones antrópicas: Inundaciones del Revillas.**
14. **Modelado de la superficie terrestre (III). Modelado eólico y su dinámica. Gestión del territorio. Erg Chebbi.**
15. **Geología aplicada. Técnicas de estudio (métodos directos, métodos indirectos, métodos de laboratorio) Ingeniería Civil (edificaciones, obras lineales, conducciones, espacios subterráneos, embalses, puertos, aeropuertos) Recursos geológicos (minerales, rocas industriales, aguas subterráneas, hidrocarburos, energía geotérmica) Medio Ambiente (eliminación de residuos, gestión ambiental).**
16. **La hidrosfera: el ciclo geológico del agua. Visión histórica del Ciclo Hidrológico del agua. El ciclo geológico del agua, distribución de volúmenes de agua. Distribución del agua en la hidrosfera. El Ciclo geológico interno. Balance de agua en el suelo. Precipitaciones y su medida. Evapotranspiración potencial y real (medida y características del suelo). Infiltración. Escorrentía. Estudio Hidrológico de las Cuencas (aforos e hidrograma). Relación Acuífero – Hidrograma.**
17. **El agua en el suelo (Actividad práctica en aula normal, grupo único): Elaboración de varios Balances de agua en el suelo, excedente y déficit hídrico, cálculo de volúmenes de agua para riego y recarga de acuíferos.**
18. **El agua subterránea. Distribución del agua en el terreno. Tipo de perforación de pozos. Equipación de sondeos (tubería piezométrica). Materiales acuíferos – no acuíferos. Tipos de acuíferos. Permeabilidad de suelos (ensayos para medir el coeficiente de permeabilidad). Medida del nivel de agua en pozos. Bombeo de pozos y toma de muestras de agua (precauciones en la toma de muestras de agua para análisis químico). Variación de la composición química del agua a lo largo del ciclo.**
19. **Riesgos geológicos. Procesos geológicos que pueden causar riesgos. Riesgos geológicos externos (Deslizamientos, desprendimientos, hundimientos, erosión, expansividad, colapsabilidad, inundación, avenidas torrenciales, dinámica de dunas). Riesgos geológicos internos (Terremotos, tsunamis, vulcanismo).**
20. **Geología Histórica de la Península Ibérica: Revisión de los contenidos vistos anteriormente como introducción al conocimiento de los cambios geológicos producidos a lo largo de la historia de la Península Ibérica (conceptos de tiempo geológico (tema 2) y tectónica de placas (tema 3). Se aborda de forma muy general para refrescar: Recorrido por el tiempo geológico (a través de las diferentes eras y periodos) para conocer los cambios a nivel planetario, orogenias y sus efectos regionales y su impacto en la vida en el planeta (aparición y evolución de especies, esto último de forma muy general); En cada periodo, se incluyen ejemplos de regiones españolas representativas geológicamente.; Futuro del planeta y de la Península Ibérica.**
21. **Introducción a las Ciencias de la Vida. Concepto y significado de los fósiles. Conceptos de Paleontología. Principios paleontológicos. Concepto de fosilización. Tipos de preservación de fósiles. Aplicaciones de los fósiles. Paleobiogeografía y Paleoecología. Descripción de las características morfológicas de los principales grupos fósiles. Determinación del fósil: claves de identificación y descripción del fósil. Principales eventos de la historia de la vida.**

BIBLIOGRAFÍA:

Anguita, F. y Castilla, G. (2010). *Planetas: una guía para exploradores de la frontera espacial.* Ed. Rueda.

Anguita, F., y Moreno, F. (1991). *Procesos geológicos internos*. Ed. Rueda.

Anguita, F., y Moreno, F. (1993). *Procesos geológicos externos y Geología ambiental*. Ed. Rueda.

Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación.

Meléndez Hevia, I (2004). *Geología de España. Una Historia de seiscientos millones de años*. Ed. Rueda.

Pedraza, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda.

Pozo, M., González Yélamos, J., y Giner J. (2007). *Geología Práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Pearson Educación.

Tarbuck, E.J., y Lutgens, F.K. (2007). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la Geología Física*. (6ª edición). Pearson Educación.

Vera, J.A. (Ed.). (2004): *Geología de España*. Ed. IGME-SGE.

Tema 1: INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

La ciencia que estudia la Tierra es el pilar de toda la geología, ya que entender sus fundamentos permite comprender la dinámica del planeta, sus **materiales**, su **historia**, su **composición, estructura y los procesos** que la han formado y que la transforman continuamente.

En palabras simples, intenta responder a preguntas como:

- ¿De qué está hecha la Tierra?
- ¿Cómo se formaron las montañas, los continentes y los océanos?
- ¿Por qué hay terremotos, volcanes o tsunamis?
- ¿Cómo ha cambiado el planeta a lo largo del tiempo?

Su objeto de estudio abarca **desde los materiales más profundos del manto terrestre hasta los sedimentos superficiales**, e incluso se extiende a otros cuerpos planetarios (astrogeología).

1. RAMAS DE LA GEOLOGÍA

La Geología es una ciencia muy amplia, por eso se divide en distintas **ramas especializadas**. Las principales son:

RAMA	QUÉ ESTUDIA	EJEMPLO DE APLICACIÓN
Geología general o física	Estructura y procesos de la Tierra (volcanes, fallas, erosión, sedimentación).	Analiza cómo se forman los relieves o por qué ocurren los terremotos.
Geología histórica	La historia del planeta y la evolución de sus formas y seres vivos.	Reconstruir cómo era la Tierra en el Jurásico o en el Cretácico.
Mineralogía	Composición, propiedades y origen de los minerales.	Identificar el cuarzo, la mica, el feldespato o minerales industriales.
Petrología	Estudia las **rocas** (ígneas, sedimentarias y metamórficas).	Analizar cómo se forma un granito o una caliza.
Paleontología	Fósiles y evolución de la vida en la Tierra.	Interpretar un trilobite o un fósil de amonites.
Estratigrafía	Orden y disposición de las capas de roca (estratos).	Determinar la edad relativa de los sedimentos de un valle.
Geomorfología	Formas del relieve terrestre y los procesos que las modelan.	Estudiar cómo se forma un cañón o una cordillera.
Geofísica	Propiedades físicas de la Tierra (magnetismo, gravedad, ondas sísmicas).	Localizar bolsas de petróleo o estudiar la estructura interna del planeta.
Geoquímica	Composición química de las rocas, minerales y fluidos terrestres.	Analizar la contaminación del suelo o la composición de un magma.
Hidrogeología	Las aguas subterráneas.	Localizar acuíferos o controlar su calidad.
Vulcanología	Los volcanes y sus productos.	Prever erupciones y estudiar los riesgos volcánicos.
Sismología	Los terremotos y las ondas sísmicas.	Medir la intensidad y magnitud de un sismo.
Geología económica	Recursos naturales: minerales, petróleo, gas, carbón, etc.	Localizar y explotar minas o yacimientos.
Geología ambiental	Impactos humanos y gestión sostenible del territorio.	Estudiar deslizamientos, contaminación o planificación territorial.

2. ¿PARA QUÉ SIRVE LA GEOLOGÍA?

La Geología tiene una **utilidad práctica enorme** en la vida humana. Algunos de sus principales usos son:

- **Exploración de recursos naturales:** petróleo, gas, carbón, minerales, piedras preciosas, agua subterránea.
- **Prevención de desastres naturales:** sismos, erupciones, inundaciones, corrimientos de tierra.
- **Ingeniería civil:** cimentaciones, túneles, presas, carreteras, obras subterráneas.
- **Protección ambiental:** control de contaminación del suelo y las aguas, gestión del territorio.
- **Cambio climático y evolución del planeta:** estudiar cómo cambió el clima en el pasado para entender el futuro.
- **Cultura y patrimonio:** datación de fósiles, yacimientos arqueológicos, historia geológica de una región.

3. IMPORTANCIA DE LA GEOLOGÍA

La Geología es esencial por varias razones:

1. **Nos permite entender nuestro planeta**: su origen, estructura y evolución.
   Sin geología no sabríamos por qué hay continentes o cómo se formó el relieve.
2. **Ayuda a la seguridad humana**: permite prever riesgos naturales y reducir sus efectos.
3. **Sostiene la economía mundial**: la minería, el petróleo, la construcción y el agua dependen directamente de conocimientos geológicos.
4. **Contribuye a la sostenibilidad**: permite explotar los recursos naturales sin agotar los ecosistemas.
5. **Tiene un valor histórico y educativo**: nos muestra la historia profunda de la Tierra —miles de millones de años antes de la aparición humana—.

4. EN RESUMEN

ASPECTO	CONTENIDO ESENCIAL
Definición	Ciencia que estudia la Tierra, sus materiales, su historia y sus procesos.
Objeto	Tierra sólida (rocas, minerales, relieves, fósiles, dinámica interna y externa).
Ramas	Mineralogía, Petrología, Paleontología, Estratigrafía, Geofísica, etc.
Aplicaciones	Recursos naturales, ingeniería, medio ambiente, riesgos naturales.
Importancia	Entender el planeta, proteger la vida humana y gestionar los recursos.

Seguramente, de todas las ciencias la Geología es de las más olvidadas y por ello, de las más desconocidas. Sin embargo, es una ciencia esencial para comprender el funcionamiento del planeta, prevenir desastres naturales, gestionar los recursos de forma sostenible y proteger la vida humana. Educar en geociencias no solo amplía el conocimiento, sino que salva vidas, fortalece la cultura científica y fomenta una convivencia responsable con la Tierra.

Interpretación:

- Pero la Geología no es solo la ciencia de las rocas o los fósiles, sino una disciplina **integral que conecta la Tierra con la vida y la sociedad.** Con ella aprendemos a:

    1. **Conocer** los procesos naturales (para comprenderlos),
    2. **Prevenir** los riesgos (para protegernos),
    3. **Conservar** los recursos (para garantizar el futuro).

CONTEXTO E INTRODUCCIÓN

1. Contextualización: Reflexiones en voz alta

- En esta primera clase se nos presenta la idea de que **todos los ciudadanos dependemos de la geología** sin saberlo: al elegir dónde construir una casa, usar agua o consumir recursos naturales.
- Subraya que una **educación geológica básica es imprescindible** para vivir de forma segura y responsable con la sociedad.



- La pregunta “¿Vivimos en un lugar seguro?” introduce los **riesgos geológicos** (volcanes, terremotos, deslizamientos, tsunamis).
- Imágenes: erupciones volcánicas, maremotos, aludes, etc., que muestran la vulnerabilidad humana ante la dinámica natural del planeta.

Riesgos geológicos recientes (año tipo 2011)

- Muestra ejemplos reales por meses:
    - **Enero:** deslizamiento en Nova Friburgo (Brasil).
    - **Febrero:** terremoto en Christchurch (Nueva Zelanda).
    - **Mayo:** terremoto de Lorca (España).
    - **Junio:** volcán Puyehue (Chile).
    - **Agosto:** huracán Irene.
    - **Octubre:** terremoto en Turquía.



- De esta manera se demuestra que **los fenómenos naturales destructivos son frecuentes y globales**, no excepcionales.

Los medios de comunicación

- En estos titulares de prensa (La Vanguardia, El Mundo, El Diario de Canarias) se tratan las catástrofes naturales.





- Refleja cómo los **medios solo se acuerdan de la geología cuando hay desastres**, lo que lleva a una cultura científica deficiente en la población.

Cumbre Vieja (La Palma, 2021)

- Imagen del volcán en erupción.
- Ejemplo cercano y reciente en España de **actividad volcánica real**, que muestra que la geología no es un conocimiento abstracto, sino una **realidad viva y actual**.
- Se introducen las preguntas clave:

¿Qué es la Geología y para qué sirve?

- Menciona el concepto de **alfabetización geocientífica**, es decir, la necesidad de que los ciudadanos comprendamos los principios básicos de la Tierra para tomar decisiones responsables y seguras.

¿PARA QUÉ SIRVE LA GEOLOGÍA?

Introducción

- La geología es útil en una **sociedad del "desconocimiento"**, donde muchas veces ignoran los riesgos naturales.
- "Pepito Grillo" simboliza la voz de la conciencia: la geología **advierte y previene**, aunque a menudo no se le escuche.
- Imágenes de grietas y fracturas ilustran cómo el desconocimiento puede tener consecuencias graves.



La catástrofe de Biescas (1996)

- Ejemplo en España: un **alud de agua y barro** destruyó un cámping y provocó decenas de muertes.
- Se muestra que existían **registros geológicos** que advertían del peligro, pero **no se tuvieron en cuenta**.
- Enseñanza: **ignorar los informes geológicos puede ser fatal**.



Hundimiento del Carmel (Barcelona, 2005)

- Colapso de viviendas durante la construcción del metro por **deficiencias en el estudio del terreno**.
- Lección: la **geología aplicada a la ingeniería** evita accidentes urbanos.
- Incluye un chiste gráfico que refleja cómo la naturaleza reclama su espacio.

El caso de Armero (Colombia, 1985)

- Se explican los **lahar**, flujos de lodo volcánico que arrasaron la ciudad de Armero (22.000 víctimas).
- Causa: la erupción del **volcán Nevado del Ruiz**, cuyo deshielo generó un torrente de barro a gran velocidad.
- Definición: flujo de lodo compuesto por material volcánico y agua, capaz de recorrer más de 80 km y alcanzar 100 km/h.
- Ejemplo de cómo **no comprender los procesos naturales** (ni tener un plan de emergencia) puede costar miles de vidas.



El desconocimiento salva o mata

- Muestra imágenes de cámaras de seguridad durante un terremoto.
- Explica que muchas muertes se deben a **no saber cómo actuar**.
- Si se conservara la calma y se conocieran **medidas básicas de autoprotección**, muchas vidas podrían salvarse.

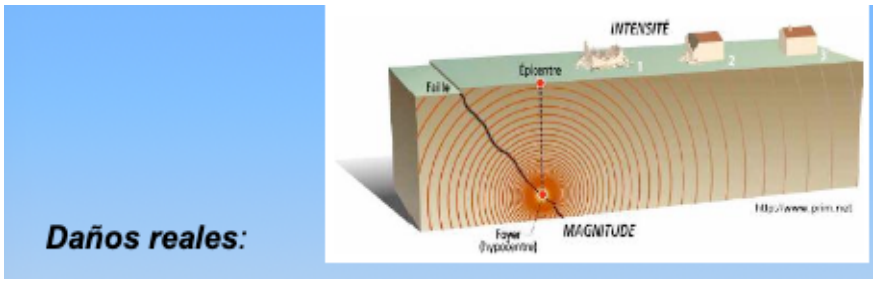


EJEMPLO PRÁCTICO — EL TERREMOTO DE LORCA (2011)

Cronología del sismo

- Se detalla el terremoto principal de **magnitud 5.1**, precedido por otros menores.
- Enseña el concepto de **precursores y réplicas**.
- Objetivo: comprender que los terremotos suelen ser parte de una **serie sísmica**, no hechos aislados.

Daños e intensidad



- Describe las consecuencias reales:
  - 9 muertos, más de 1200 familias sin hogar.
  - Daños en el 80 % de los edificios.
  - Desprendimientos en el terreno.



- Introduce la diferencia entre **magnitud** (energía liberada) e **intensidad** (efecto sobre las personas y edificaciones).

En Lorca, la intensidad máxima fue **VII**.



Desconocimiento y reacción

- Compara con Japón: allí la población sabe actuar ante un sismo, mientras que en España prevalece el pánico.
- Resalta la importancia de la **educación sísmica**.

Terremoto de Pedro Muñoz (2007)

- Recorte de prensa con testimonios ingenuos ("pensé que había sido mi mujer al caerse de la cama…").
- Conclusión: **falta cultura científica** y formación en riesgos naturales.

¿QUÉ ES LA GEOLOGÍA?

- Se inicia la segunda gran pregunta: **¿Qué es la Geología?**

20. Definición y valor social

- La **Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto**.
- Conocer la Tierra es esencial para **conservarla** y construir sociedades seguras y sostenibles.
- Frase clave:
  "No podemos cuidar lo que desconocemos."
- Conocimiento geológico = compromiso con el futuro del planeta.

Nuestro lugar en el universo.
La Tierra está viva.

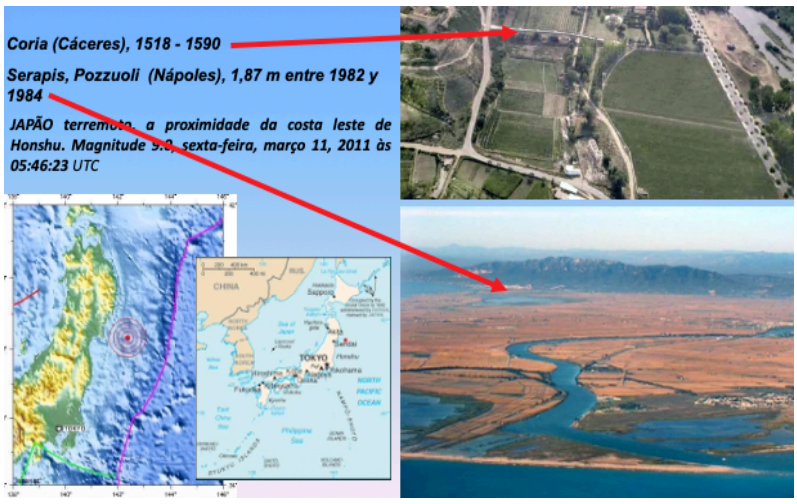
- De esta manera combina dos mensajes:
  - "Nuestro lugar en el universo": recordatorio de que la Tierra es **un planeta dentro de un sistema cósmico**, sujeto a las mismas leyes físicas que los demás.
  - "La Tierra está viva… a escala humana": alude a que **la superficie terrestre cambia constantemente**, aunque a veces no lo percibamos.



- Ejemplos que se muestran: **terremotos, incendios, aludes, erupciones** (como la del Cumbre Vieja en 2021).
- Enseñanza: los fenómenos naturales no son excepciones, sino **manifestaciones de la energía interna del planeta**.

La Tierra viva a escala histórica

- Se introducen tres casos:

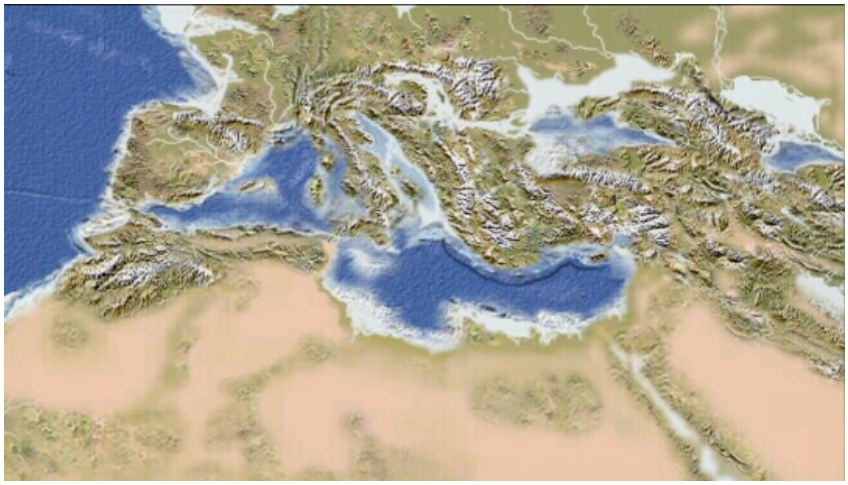


  - **Coria (Cáceres, 1518–1590):** movimientos del terreno documentados en época renacentista.
  - **Serapis (Pozzuoli, Nápoles):** el templo se hundió y volvió a emerger casi 2 metros entre 1982 y 1984, prueba directa de **movimientos verticales de la corteza**.
  - **Japón (2011):** terremoto de magnitud 9 en Honshu, con tsunamis devastadores.

- Conclusión: incluso **en unos pocos siglos**, la Tierra demuestra una actividad constante. La historia humana es demasiado corta para captar su verdadera magnitud.

La Tierra inquieta a escala geológica

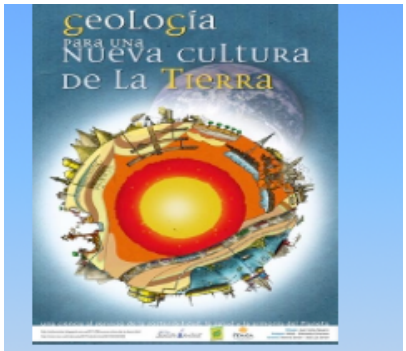
- Se amplía la mirada temporal: a **millones de años**.
- Muestra un mapa paleogeográfico donde los continentes se hallaban unidos y luego separados.
- Mensaje: la Tierra cambia lentamente, pero sin descanso. Su **historia geológica está escrita en las rocas**, y conocerla permite entender el presente.

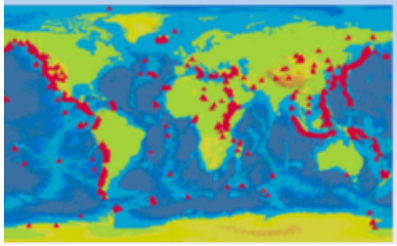


DINÁMICA DE LA CORTEZA TERRESTRE

Cambio de paradigma

- En el pasado, la Tierra se consideraba **una fuente inagotable de recursos**.

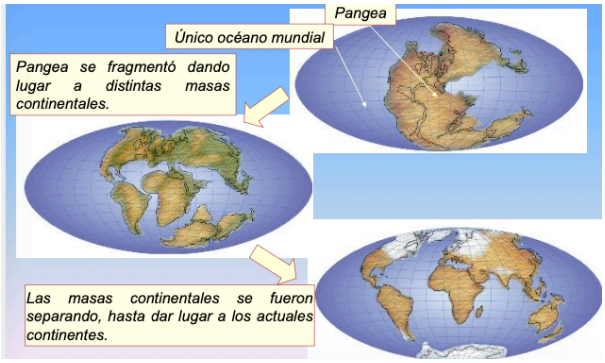




- Hoy se la entiende como un **sistema vivo, dinámico y en equilibrio**, donde todo está interconectado.
- Se presenta la **Tectónica de Placas**, una teoría científica moderna con enorme poder explicativo y predictivo:
  - Explica terremotos, volcanes, formación de montañas, expansión oceánica y distribución de los continentes.
- Es una de las **revoluciones científicas del siglo XX**, comparable a la teoría de la evolución en biología.

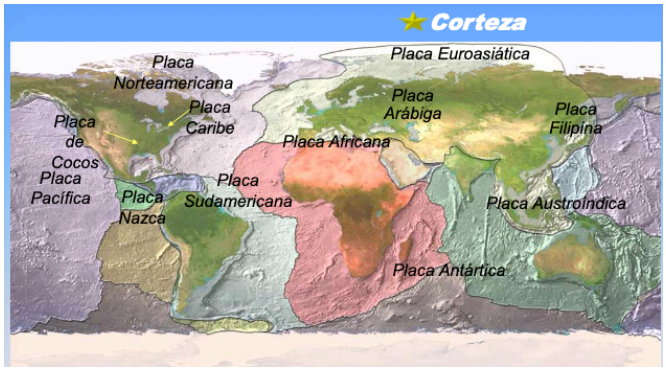
Pangea y la fragmentación continental

- Hace unos **250 millones de años**, todos los continentes estaban unidos en un **supercontinente llamado Pangea**.
- A su alrededor existía un único océano global.
- Con el tiempo, Pangea se **fracturó y separó**, originando los continentes actuales.
- Es un proceso continuo: la corteza se crea, se destruye y se recicla.



Placas litosféricas y dinámica global

- Muestra el mapa mundial de las **principales placas tectónicas**:

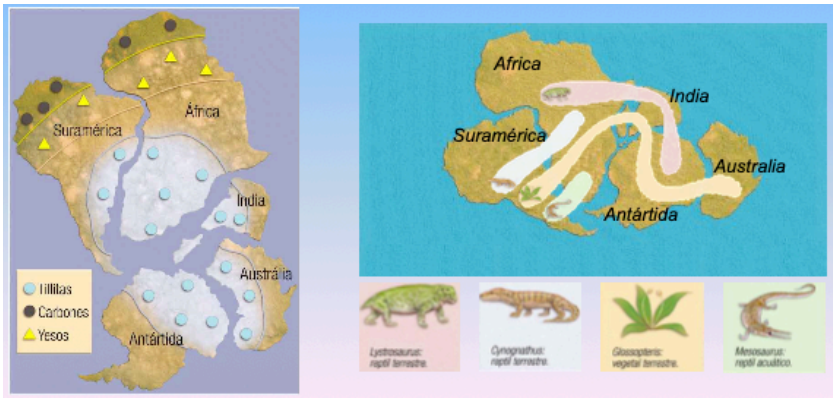


  - Placas: Norteamericana, Sudamericana, Africana, Euroasiática, Pacífica, de Cocos, Caribe, Nazca, Indoaustraliana, Filipina, Antártica…
- La **litosfera** (corteza + parte superior del manto) está dividida en fragmentos que **flotan y se mueven** sobre una capa plástica llamada astenosfera.

- Estos movimientos son la causa directa de:
  - Formación de montañas (colisión de placas),
  - Creación de océanos (separación),
  - Terremotos y volcanes (fricción).

Pruebas del movimiento continental

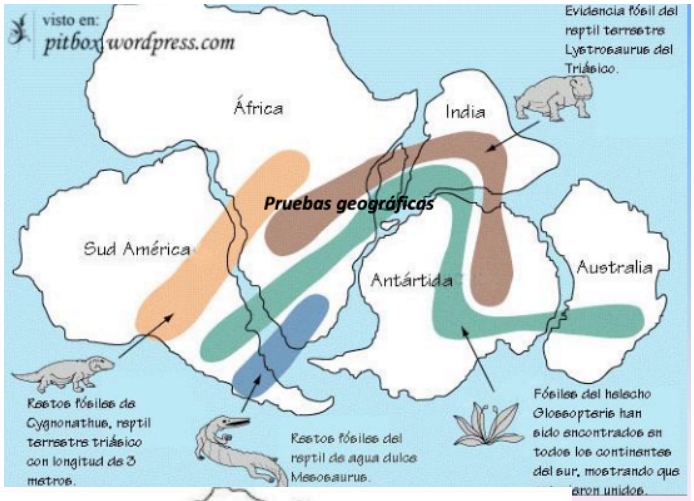
- Las **teorías movilistas** (Wegener y sucesores) demostraron que los continentes se desplazan.
- Se presentan cuatro tipos de argumentos:
  1. **Geográficos:** encaje de las costas (África y Sudamérica parecen piezas de un puzle).
  2. **Geológicos:** coincidencia de tipos de rocas y estructuras montañosas en ambos lados del Atlántico.
  3. **Paleontológicos:** fósiles idénticos en continentes hoy separados.
  4. **Paleoclimáticos:** rastros de antiguos glaciares y depósitos de carbón que revelan antiguos climas.

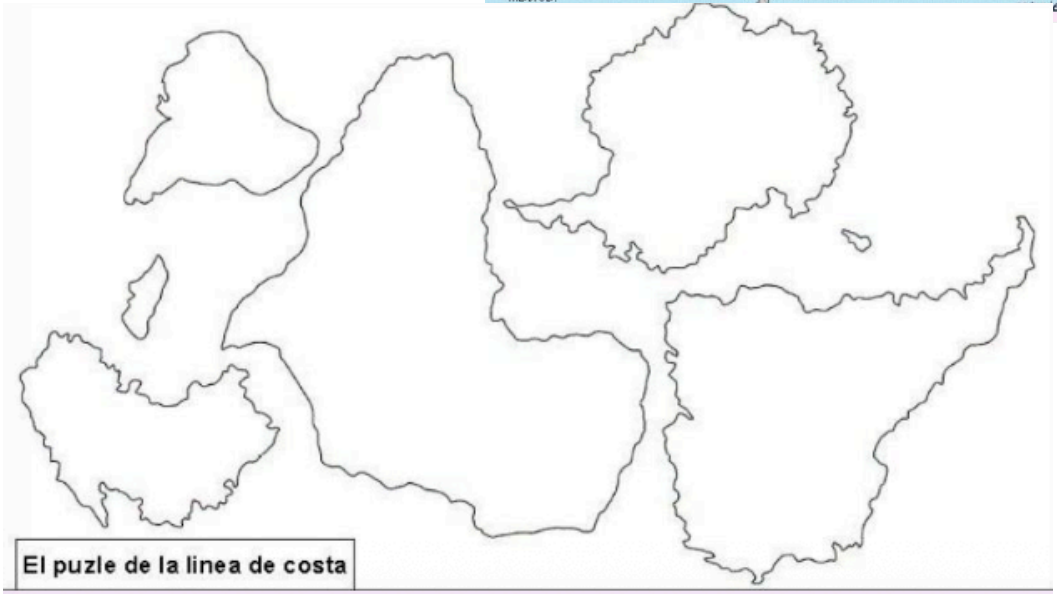


PRUEBAS VISUALES Y TIPOS DE LÍMITES

Las pruebas gráficas

- Se muestran mapas comparativos con los fósiles de animales extintos (Cynognathus, Lystrosaurus, Mesosaurus) en continentes diferentes.
- Confirman que antes **formaban parte de una sola masa continental**.
- La diapositiva lo define como "*el puzle de la línea de costa*", visualizando el encaje perfecto entre continentes.

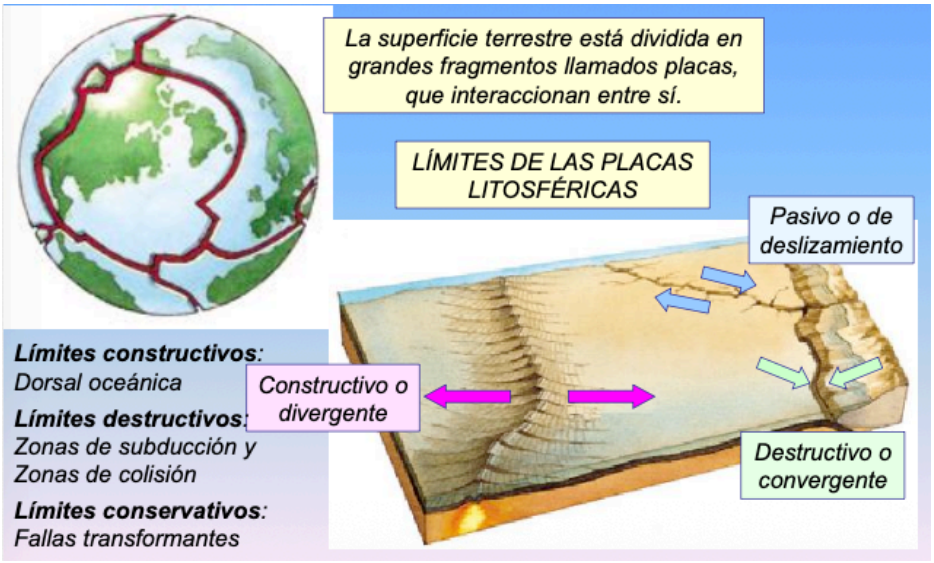




TIPOS DE LÍMITES ENTRE PLACAS

Estas diapositivas explican cómo **interaccionan las placas**:

TIPO DE LÍMITE	TAMBIÉN LLAMADO	QUÉ OCURRE	EJEMPLO VISUAL / GESTO
Constructivo	Divergente	Se separan dos placas y surge nueva corteza (dorsales oceánicas).	Dos manos separándose.
Destructivo	Convergente	Una placa se hunde bajo otra (subducción) o chocan (colisión).	Dos puños empujándose.
Conservativo	Transformante o pasivo	Se rozan lateralmente sin crear ni destruir corteza.	Manos deslizándose una sobre otra.



- Las **dorsales oceánicas** (diap. 32) generan corteza nueva; las **fallas transformantes** (diap. 33) provocan terremotos; y las **zonas de subducción** (diap. 34) destruyen corteza oceánica al hundirse bajo la continental.

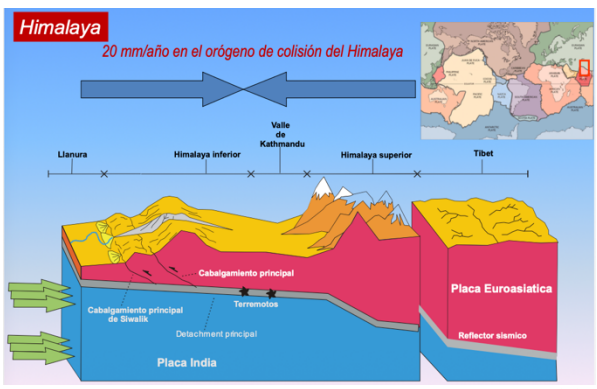






Subducción y colisión

- Muestra el proceso donde la **corteza oceánica** se hunde bajo la **continental**, fundiéndose parcialmente y generando volcanes.
- Se denomina **zona de subducción**, típica de los Andes o del Pacífico occidental.
- Se ilustra con el gesto de dos puños chocando (colisión continental).

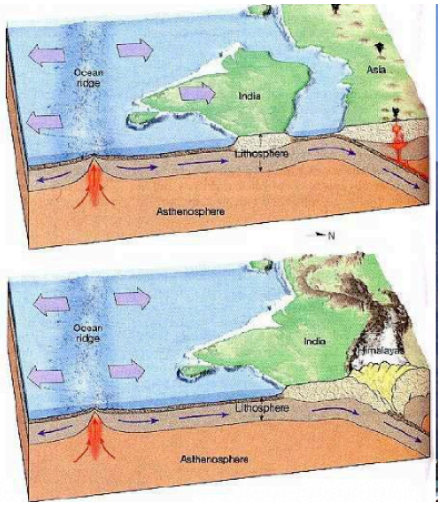


FORMACIÓN DEL HIMALAYA

- El **Himalaya** es resultado del **choque entre la placa india y la euroasiática**, que todavía se mueve unos **20 mm por año**.
- El relieve se eleva por cabalgamientos sucesivos: capas de rocas que se montan unas sobre otras.

- Aquí se muestra el desplazamiento histórico de la India: hace 70 millones de años estaba en el hemisferio sur y colisionó con Asia hace unos 40 millones, generando la cadena montañosa más alta del planeta.





INFLUENCIA SOCIAL, SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO

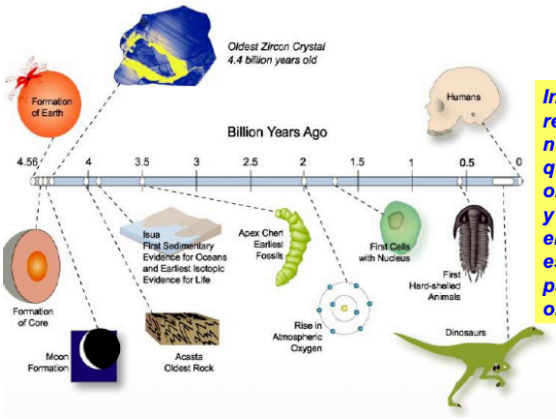


Influencia social de la Geología

- La pregunta "¿Qué geología nos interesa?" introduce la idea de **geología aplicada al bienestar humano**.
- Se muestran imágenes de desastres (volcanes, incendios, terremotos, hundimientos), indicando que **comprenderlos científicamente ayuda a prevenirlos**.

Historia de la Tierra y la vida

- Línea temporal desde la **formación de la Tierra (4.560 millones de años)** hasta la aparición del ser humano.



Incluye cuestiones relacionadas con nuestros orígenes, que van desde el origen del universo y de la Tierra hasta el origen de la especie humana, pasando por el origen de la vida.

- Hitos:
  - Formación de la Tierra → aparición de océanos → primeras rocas → primeras células → organismos pluricelulares → animales → humanos.
- Enseña que la **vida y la geología están íntimamente relacionadas**: sin cambios geológicos no habría habido evolución biológica.

Vivir más, vivir mejor

- Relaciona **minerales y salud humana**:

❖ La relación entre rocas, minerales y salud humana se conoce desde hace siglos. Culturas antiguas como las de China, Egipto y Grecia describen beneficios terapéuticos de varios minerales y rocas.

❖ Hay textos chinos de hace más de 2.000 años que describen el beneficio de al menos 46 minerales diferentes.





❖ La presencia de carbón (lignito) en las aguas es la responsable, en las zonas rurales de los Balcanes en el bajo Danubio, de una enfermedad irreversible: Nefropatía endémica.

❖ Los problemas derivados de procesos y materiales geológicos son más frecuentes de lo que parece (alrededor de 3.000 millones).

- Conclusión: la geología **afecta directamente a la salud**.

CAMBIO CLIMÁTICO: UNA REALIDAD CONSTATADA



- En base a los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático se constata que:
  - Existe un aumento del nivel del mar y la temperatura del agua marina.
  - Retroceso de glaciares.
  - Más noches cálidas, olas de calor y veranos más largos.
  - Disminución de precipitaciones.
- Conclusión: el cambio climático **ya está ocurriendo y es medible**; el desafío es mitigar sus efectos.

CAMBIO CLIMÁTICO Y CONSECUENCIAS

Reino Unido: olas de calor

- Imagen impactante con titulares británicos: "52° en los autobuses, 47° en el metro".
- Advierte que **a partir de 2040** se prevén olas de calor anuales comparables a la del verano de 2003 (una de las más mortales de Europa).
- Enseñanza: el calentamiento global **no es futuro, es presente**, y afecta incluso a países templados.



Qué es el cambio climático

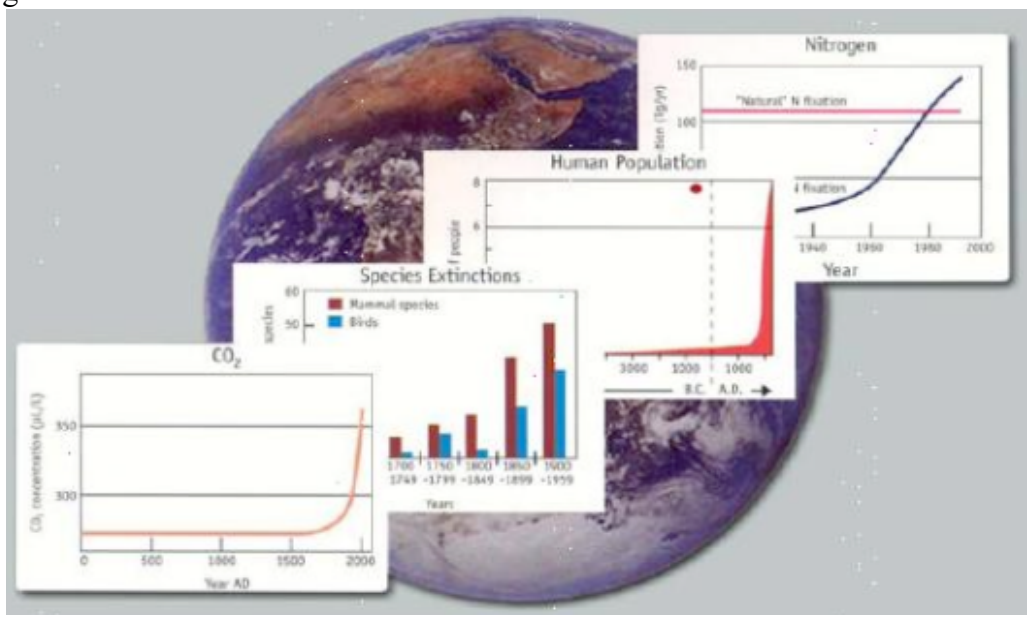
- Define el fenómeno:
  - Es un **problema global**, con causas y consecuencias interconectadas (atmósfera, océanos, biosfera, sociedad).
  - **El ser humano es parte del problema**, pero también de la solución.

- Plantea preguntas clave: ¿qué lo causa?, ¿cuáles son sus efectos?, ¿cómo adaptarnos?
- Introduce la **Agenda 2030 de la ONU** y los **17 Objetivos de Desarrollo Sostenible**, entre ellos:
  - Acción por el clima (ODS 13),
  - Energía asequible y no contaminante (ODS 7),
  - Vida submarina y terrestre (ODS 14 y 15).
- Mensaje final: la **educación ambiental** y la **ciencia geológica** son pilares para un desarrollo sostenible.



El factor humano

- Se muestran gráficos con tres curvas en ascenso:



  - **Población humana**,
  - **Concentración de CO_2**,
  - **Tasa de extinción de especies**.
- Conclusión: el **impacto humano** altera la química de la atmósfera, la superficie de la Tierra y la biodiversidad global.
- De esta manera nos transmite una idea contundente: **somos el principal agente geológico del siglo XXI**.

Prueba visual del calentamiento global

- Imagen humorística: una cuerda de tender con ropa interior de distintas épocas (del siglo XVIII al XXI), cada vez más pequeña.



- Mensaje didáctico: incluso los cambios aparentemente triviales **revelan transformaciones profundas** del clima y la cultura.
- Representa la **evidencia visible y cotidiana** del cambio climático.

RECURSOS NATURALES, AGUA Y ENERGÍA

Nuevas necesidades, nuevos materiales



- Idea principal: la sociedad moderna depende más que nunca de los **recursos geológicos**:
  - Minerales, rocas, agua, combustibles fósiles.
- Estos recursos son **no renovables**, por tanto, requieren **exploración geológica responsable** y gestión sostenible.
- Se observa el contraste entre el progreso tecnológico y el deterioro ambiental.
- Enseñanza: la geología es esencial para **garantizar el suministro futuro** y reducir los impactos ecológicos.

El agua subterránea como recurso

- Es importante subrayar que **el agua ha sido objeto de búsqueda constante** desde los albores de la humanidad.
- Explica qué son los **estudios hidrogeológicos**:
  - Permiten localizar acuíferos y evaluar su cantidad y calidad.
  - Analizan la relación entre **precipitaciones, filtración, recarga y extracción**.



- El agua subterránea es hoy una **reserva estratégica global**, pero vulnerable a la sobreexplotación y la contaminación.

Energía y dependencia del petróleo

- Comienza con un proverbio árabe:



"Mi padre cabalgaba en camello, yo voy en coche, mi hijo pilota un avión. Su hijo cabalgará en camello."

- Significa que **el progreso tecnológico puede revertirse** si se agotan los recursos.
- Señala que **los hidrocarburos (petróleo, gas, carbón)** son la principal fuente energética mundial, pero sus reservas son limitadas.
- Dato impactante: "**Consumimos 1.000 barriles de petróleo cada segundo**."

- Conclusión: urge **una transición energética** hacia fuentes renovables (solar, eólica, geotérmica).

Introducción a los riesgos naturales

- Imágenes de volcanes, terremotos, incendios y hundimientos.
- Define los **riesgos naturales** como procesos geológicos o climáticos que, al interactuar con las personas, causan daños.
- Clasificación general:
  - **Endógenos:** se originan dentro de la Tierra (volcanes, sismos).
  - **Exógenos:** causados por agentes externos (lluvias, erosión, deslizamientos).



Riesgos naturales: Inundaciones



Aldea del Fresno (Madrid) municipio incomunicado por los efectos de la DANA (septiembre, 2023)



La lluvia causa importantes inundaciones en Mallorca (octubre, 2018)

- Una **inundación** es cualquier desbordamiento de agua que cubre zonas normalmente secas.
- Causas principales:
  - **Deshielos rápidos** en primavera.
  - **Eventos meteorológicos extremos** (huracanes, DANA o "gotas frías").
- Subraya que **la acción humana** (deforestación, urbanización en zonas fluviales) agrava las consecuencias.
- Ejemplos recientes:
  - **Mallorca (2018)** y **Aldea del Fresno, Madrid (2023)**.
- Conclusión: las inundaciones no son solo "naturales"; muchas se deben al **mal uso del territorio**.

Riesgos naturales: Deslizamientos



- Los deslizamientos son movimiento de una **masa de tierra o roca ladera abajo** por la acción de la gravedad.
- Factores desencadenantes:
  - Lluvias intensas, excavaciones, sismos o inestabilidad del terreno.
- Ejemplo citado: **deslizamiento en el funicular de Montjuïc (Barcelona, 2014)**.
- Enseñanza: el conocimiento del tipo de suelo y su estabilidad **evita tragedias urbanas**.



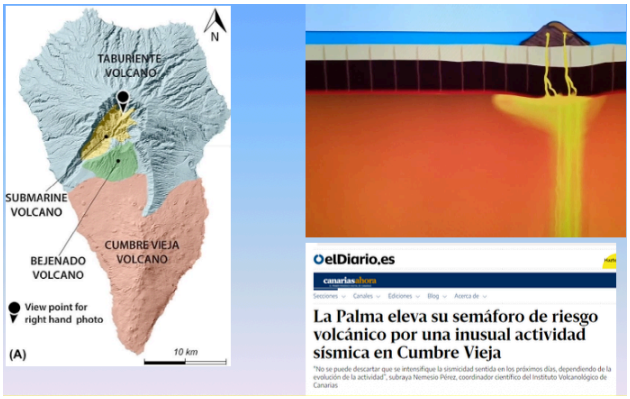
Riesgos naturales: Aludes

- Un **alud** es el desplazamiento de una gran masa de nieve pendiente abajo, arrastrando vegetación y suelo.
- Ejemplo: **alud de Arinsal (Andorra, 1996)**.

- Muestra el poder destructivo del manto nival cuando se desestabiliza.
- Destaca la importancia de la **monitorización meteorológica y topográfica** en zonas de montaña.

Riesgos naturales: Volcanes

- Caso de estudio: **La Palma (2021)**.
- Se explica la disposición de los volcanes de la isla (Taburiente, Bejenado y Cumbre Vieja) y el origen de la erupción.
- Cita del medio *elDiario.es*: aumento de la sismicidad previa a la erupción.
- Enseñanza: las erupciones **no son repentinas**; la geología puede anticiparlas mediante **vigilancia sísmica y geoquímica**.



TERREMOTOS Y VULNERABILIDAD SÍSMICA

53. Imagen del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

- Fotografía aérea de la erupción de La Palma.
- Ejemplo visual de la **actividad volcánica contemporánea** y la labor científica de observación.



Terremotos recientes en el mundo (2010–2011)



- Datos del **USGS** (Servicio Geológico de EE. UU.):
  - Haití (>200.000 muertos, 2010),
  - Chile (>500 muertos, 2010),
  - Japón (>20.000 muertos, 2011),
  - Lorca (8 muertos, 2011).
- Conclusión: los terremotos son **frecuentes y devastadores**, pero su impacto depende del nivel de preparación social y constructiva.

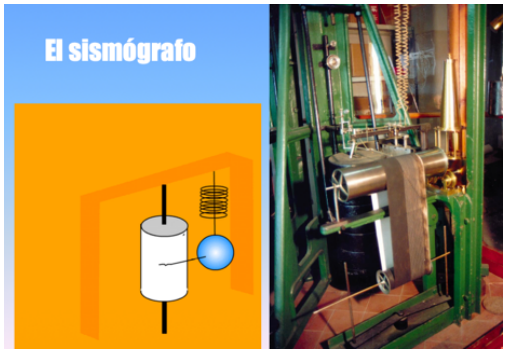
Qué es un terremoto

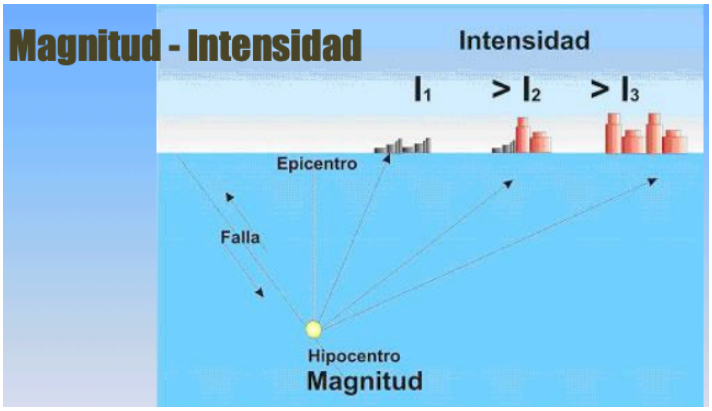
- Definición clara:

"Sacudida brusca de las capas superficiales de la Tierra causada por el desplazamiento de grandes bloques a lo largo de una fractura o falla." T**oda energía liberada en el subsuelo se propaga en ondas sísmicas**, que se perciben en superficie como temblores.

El sismógrafo

- Explica cómo funciona el instrumento que **registra los movimientos sísmicos**.
- Un cilindro con una aguja suspendida por un muelle registra el desplazamiento sobre papel.
- Este registro permite calcular la **magnitud y duración del sismo**.





Magnitud e Intensidad

- Diferencia fundamental:
  - **Magnitud:** energía liberada (escala de Richter).
  - **Intensidad:** efectos sobre personas y estructuras (escala de Mercalli).

- El **epicentro** es el punto en superficie sobre el **hipocentro**, donde se origina el terremoto.
- Esquema ilustrativo muy claro: la magnitud es un dato físico, la intensidad un dato perceptible.



Cómo protegerse

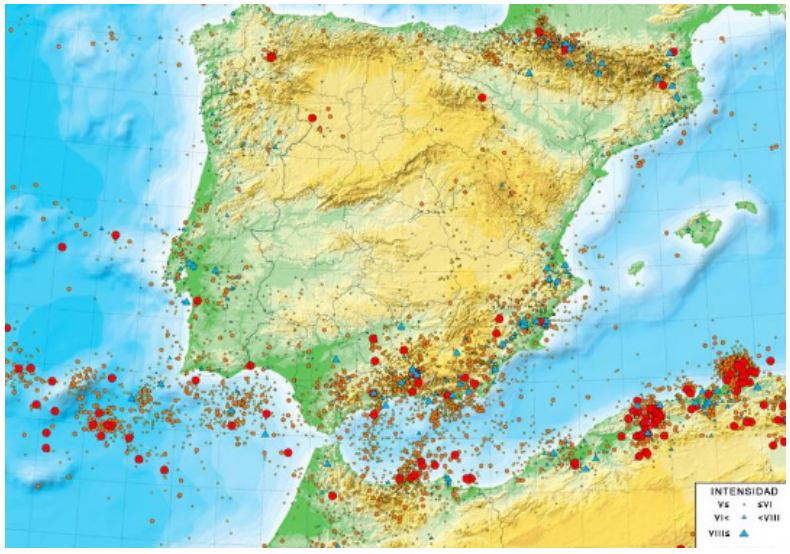
- Mensaje educativo:

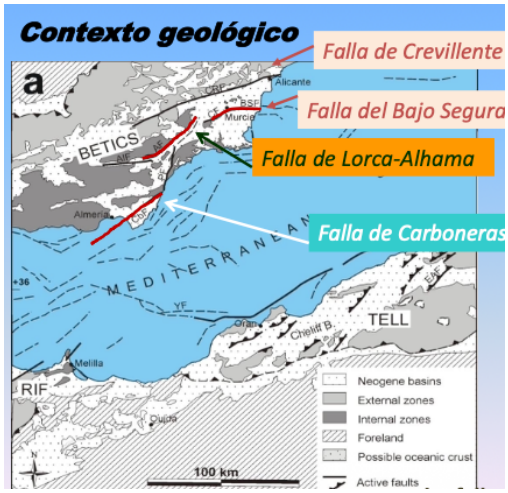
"La mejor forma de protegerse de un terremoto es estar bien informado y preparado."

- Ilustra prácticas seguras (refugiarse bajo una mesa, alejarse de ventanas).
- Enfatiza la **educación preventiva** como herramienta clave para reducir víctimas.

Terremotos en la península Ibérica

- Mapa del **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**:
  - Registra los sismos históricos (1048–1919) por intensidad.
  - Y los instrumentales (1920–2003) por magnitud.
- Zonas más activas: **Andalucía oriental, Murcia, Alicante y Pirineos**.
- Enseñanza: España no es inmune; existe **riesgo sísmico moderado**, especialmente en el sureste peninsular.





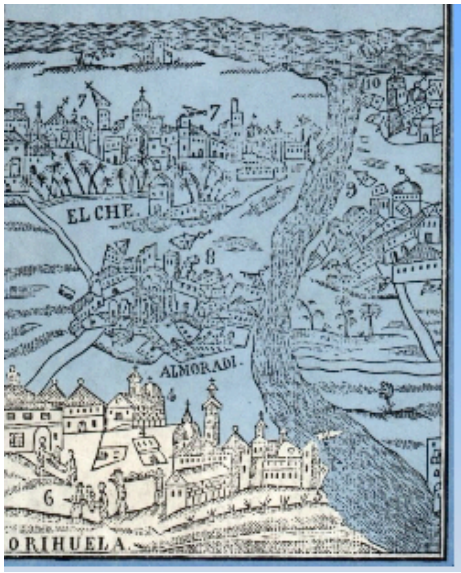
El terremoto de Lorca: contexto geológico

- Se muestra el sistema de fallas del sureste:
  - **Falla de Lorca-Alhama**, **de Carboneras**, **del Bajo Segura** y **de Crevillente**.
- La de Lorca-Alhama se desplaza **unas décimas de milímetro al año**, pero suficiente para acumular energía durante siglos.
- Conclusión: la **geología explica la causa del sismo** y demuestra la necesidad de **mapas de riesgo actualizados** para las ciudades.

TERREMOTOS HISTÓRICOS EN ESPAÑA

Terremotos de Torrevieja (1829) y Andalucía (1884)

- Se muestran fotografías y registros de dos de los **terremotos más destructivos** de la historia española:





Terremoto	Fecha	Localización	Intensidad / Magnitud	Consecuencias
Torrevieja	21 marzo 1829	Ciudad de Orihuela (Alicante)	Intensidad X, Magnitud 6,3–6,9	389 muertos, destrucción de la iglesia de San Agustín.
Arenas del Rey (Granada)	25 diciembre 1884	Andalucía oriental	Intensidad X, Magnitud 6,5	840 muertos y numerosos pueblos destruidos.

Estos ejemplos muestran que **España ha sufrido sismos graves**, aunque la memoria social de ellos se ha perdido con el tiempo.

Terremoto de Lorca (2011): intensidad VII

- Recordatorio visual del sismo reciente: imágenes de grietas, fachadas derrumbadas y ciudadanos en las calles.
- Sirve como **comparación con los históricos**: su magnitud fue menor, pero las pérdidas humanas fueron evitables.



- Enseña que los **efectos dependen tanto de la intensidad como de la preparación y el tipo de construcción**.

"Cuando los terremotos son noticia"

- Muestra titulares de prensa que repiten el patrón:

"Sorpresa, desconcierto, miedo, improvisación."

- Subtexto: la sociedad **solo presta atención a la geología cuando ocurre una tragedia**, y después la olvida.
- Mensaje educativo: hay que pasar de la reacción a la **prevención**.

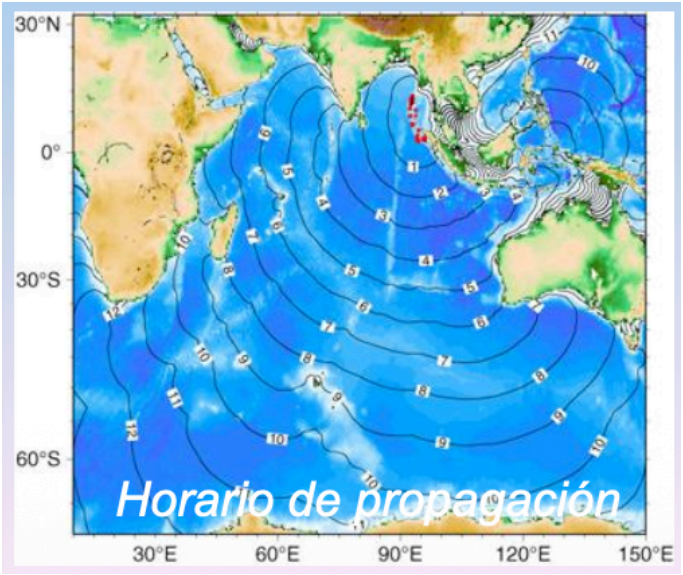
TSUNAMI DEL ÍNDICO (2004) Y EDUCACIÓN PREVENTIVA

"¿Pudo evitarse la catástrofe?"

- Se refiere al **terremoto y tsunami del Índico del 26 de diciembre de 2004** (más de 230.000 muertos).
- Pregunta clave: *"¿Es lógico que en el siglo XXI sigamos atribuyendo los desastres a las 'fuerzas imprevisibles de la Naturaleza'?*"
- Conclusión: **no se pudo evitar el sismo**, pero **sí se habría podido reducir la magnitud del desastre**:
  - Con un **sistema de alerta temprana**,
  - Y con una **población informada y formada**.

"Falló la comunicación"

- Los centros sismológicos detectaron el terremoto rápidamente, conocían su magnitud y sabían que podía generar un tsunami.
- Pero **no se comunicó la alerta a tiempo**.
- Se muestra un mapa de propagación del tsunami: las olas tardaron **horas en alcanzar África y Australia**.
- Enseñanza: el conocimiento científico no basta; es necesario un **sistema de transmisión eficaz de la información**.



Escenarios del tsunami

- Se representan tres **escenarios de comportamiento del mar** tras un gran sismo submarino:
  1. **Zona próxima al epicentro:** impacto casi inmediato de la primera ola.
  2. **Zona del retroceso del mar:** el agua se retira antes de regresar violentamente.
  3. **Zona donde llega la cresta de la ola:** las primeras olas no siempre son las más destructivas.



- Mensaje esencial: **una población formada sabría reconocer estas señales naturales** y huir a tiempo.



Escenario 1: zona próxima al epicentro



- Explicación práctica:
  - Si vives en la costa y notas un **terremoto fuerte que agrieta muros**, **aléjate de la playa de inmediato**.
  - El tsunami puede llegar en **10–20 minutos**.
- Cita del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS (2001):

"Si sientes un sismo lo bastante fuerte como para agrietar paredes, podría producirse un tsunami en los próximos veinte minutos."

- Enseñanza: **reaccionar rápido salva vidas**.

Escenario 2: retroceso del mar



- Describe el fenómeno previo a muchas olas de tsunami: El **mar se retira bruscamente** antes del impacto de la ola principal.
- Imagen: la línea de costa avanza 350 metros mar adentro antes del regreso violento del agua.
- En muchos lugares del Índico, la gente **se acercó curiosa al mar cuando retrocedía**, ignorando el peligro.
- Mensaje: **reconocer las señales naturales** es la primera defensa.

Escenario 3: llegada de las olas sucesivas



- Los tsunamis suelen tener **múltiples olas**, a veces más de diez en 12 horas.
- La primera ola **no siempre es la más destructiva**; el peligro puede durar todo el día.
- Consejos: mantenerse en zonas altas, tener abrigo, proteger a los niños y **no regresar hasta la orden oficial**.
- Reafirma el lema: **información y educación = protección.**

EDUCACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA

"¡La educación salva vidas!"

- Este es el mensaje central a tener siempre en cuenta.

"La educación geológica y la cultura científica son las mejores armas contra los desastres naturales."

- La ignorancia, en cambio, **multiplica las víctimas**.

El verdadero reto: la incultura geológica

- Reflexión profunda:
  - La mayoría de la población **no sabe qué es la geología ni para qué sirve**.
  - Esto genera desinterés también en las **administraciones públicas**, que invierten poco en prevención.
- La solución propuesta es clara:

"Esto solo se arregla con más personal cualificado. → Educación."

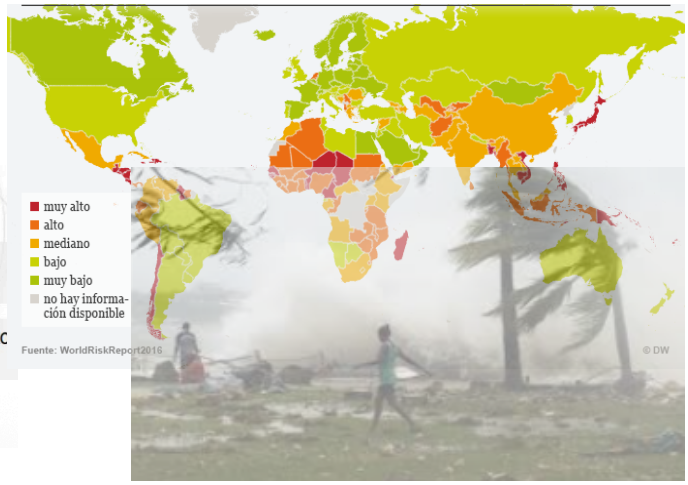
- Por todo ello hay que combatir el **déficit estructural de cultura científica** ya que es la raíz del problema.

Cultura científica y educación



- En la diapositiva se muestra con un fondo colorido la palabra **"EDUCACIÓN"** repetida en todas direcciones y entremezclada con **"CULTURA CIENTÍFICA"**.
- De esta manera queda representada visualmente la **necesidad de integrar ciencia y sociedad**.
- La alfabetización geocientífica no es un lujo académico, sino una **responsabilidad colectiva**.
- Y nunca olvidar que cuando vamos de vacaciones hay que considerar, además del ocio y el bienestar, otras cosas muy importantes para evitar desgracias irreparables.





Conclusión

"La Geología permite valorar muchos de los riesgos a los que estamos sometidos, así como los impactos de las actividades humanas sobre la Geosfera."

En resumen, el tema enseña que la **alfabetización geológica es una forma de ciudadanía responsable**.

COMPRENDER LA TIERRA ES COMPRENDERNOS A NOSOTROS MISMOS DENTRO DE ELLA

MÉTODO CIENTÍFICO (ESQUEMA COMPLETO)



1. **La Geología es una ciencia formal**:
   No se basa en intuiciones, sino en un proceso estructurado y riguroso.
2. El esquema muestra que el método científico **no es lineal**, sino **iterativo**:
   – Se parte de una **duda o problema**.
   – Se formula una **hipótesis**.
   – Se hace un **diseño experimental** (en geología puede ser análisis de muestras, cartografía, dataciones…).
   – Se obtienen **resultados**.
   – Se **evalúan**.
   – Se llega a conclusiones que pueden **refutar o apoyar** la hipótesis.
   – Si se refuta, se vuelve a empezar (**reformulación**, **revisión**).
3. La presencia de **"ley / principio / teoría"** indica que:
   – En geología no suele haber "leyes" universales como en física.
   – Se construyen **teorías que resumen procesos naturales complejos** (tectónica de placas, deriva continental…).
4. Es nos muestra que la geología **avanza despacio, por acumulación de evidencias**, porque estudia procesos enormes en tiempo y espacio.

INDUCTIVO / DEDUCTIVO: DOS CAMINOS PARA CONSTRUIR CIENCIA

En este punto partimos de dos bloques:

- **Observaciones → Hipótesis → Teoría** (inductivo)
- **Hipótesis → Observaciones → Teoría** (deductivo)

¿Qué nos quiere transmitir?

1. **El razonamiento inductivo**:
   – Es el más clásico en geología.
   – El geólogo observa un paisaje, un afloramiento, una estructura… y formula una explicación.
   – Ejemplo: veo estratos doblados → deduzco que ha habido presión y tiempo → formulo una teoría sobre la formación de un pliegue.
2. **El razonamiento deductivo**:
   – Más moderno y propio de la geodinámica.
   – Se parte de una hipótesis general y luego se buscan datos que la confirmen o la derriben.
   – Ejemplo: creo que dos placas chocan aquí → busco terremotos, volcanes, alineación de montañas…
3. Esto nos muestra que **la geología utiliza ambos métodos**, y que la teoría se construye:
   – Recogiendo datos.
   – O poniendo a prueba ideas previas.
4. También evidencia que la ciencia **no es solo recopilar datos**, sino **interpretarlos dentro de un razonamiento coherente**.

⇒ Ejemplos reales:

Esta imagen muestra un conjunto de formaciones afiladas, densas y repetitivas que de entrada podrían ser **estalactitas o formaciones calcáreas en superficie.**

El **método científico en geología empieza por observar** algo extraño o llamativo.

Aquí, el geólogo se pregunta:

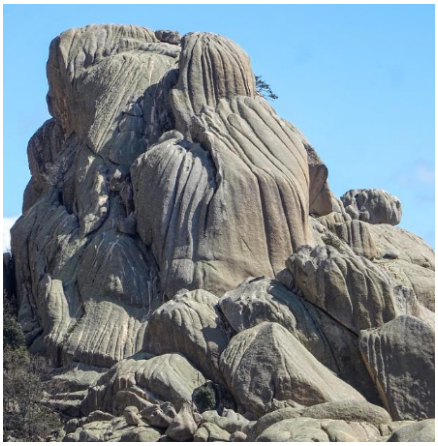


– ¿Por qué estas formaciones tienen esta forma?
– ¿Qué proceso las genera?
– ¿Qué condiciones ambientales las producen?

Es un ejemplo de **"fenómeno natural que despierta duda y genera hipótesis"**.

GRAN AFLORAMIENTO ROCOSO (MACIZO GRANÍTICO)

Aquí se ve un bloque enorme de rocas redondeadas, típico de **granito meteorizado** (podría ser similar a La Pedriza, Madrid).



Qué quiere transmitir:
La geología estudia **estructuras masivas**, no pequeñas muestras.
Esta imagen obliga a plantearse:

– ¿Qué tipo de roca es?
– ¿Cómo se ha fracturado y redondeado?
– ¿Qué esfuerzos y qué tiempo han sido necesarios para formar ese paisaje?

Aquí se ilustra la necesidad de **interpretar formas grandes y complejas a partir de la observación**.

MONTÍCULO AISLADO EN UN VALLE

Se ve una "colina" solitaria en una llanura verde. Podría ser un **pingo** (típico en zonas periglaciares), un **túmulo glaciar**, un **montículo sedimentario**, etc.



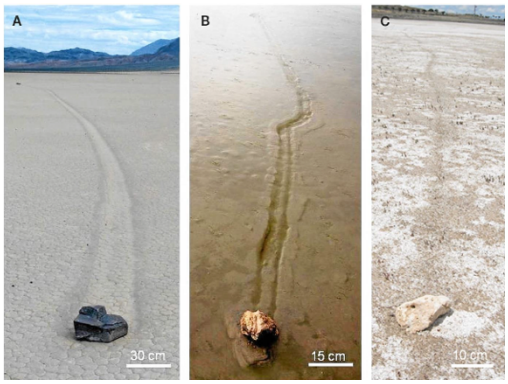
Qué quiere transmitir:
La observación de un relieve anómalo obliga al geólogo a **investigar el origen del relieve**, preguntándose:

– ¿Por qué hay una elevación aislada en un terreno plano?
– ¿Es natural? ¿Qué proceso la ha creado?
– ¿Qué historia del terreno revela?

Esta imagen muestra cómo **el paisaje es un libro que se interpreta con preguntas**.

ROCAS QUE "SE MUEVEN" EN UN LAGO SECO

Estas son las famosas **piedras deslizantes del Racetrack Playa (California)**. Se observan rocas en una superficie lisa con largas huellas detrás.



Qué quiere transmitir:
Un ejemplo clásico de fenómeno **misterioso** que requiere método científico:

– ¿Cómo se han movido las rocas sin intervención humana?
– ¿Por qué los surcos son rectos o curvos?
– ¿Qué condiciones lo permiten?

Hoy sabemos que el agua de lluvia o el deshielo llenan la llanura con una fina capa de agua que se congela por la noche, formando finas placas de hielo que envuelven a las rocas. Por la mañana, el sol derrite parcialmente el hielo, y el viento empuja estas finas placas de hielo, que a su vez desplazan las rocas a lo largo de la superficie de barro y arcilla, dejando un rastro tras de sí.

La clave del profesor: **observar → plantear hipótesis → investigar → resolver**.

BOCETO GEOLÓGICO CLÁSICO (ESTRATOS PLEGADOS)

Aquí tenemos un dibujo antiguo de geólogos del siglo XIX o principios del XX: estratos inclinados, posiblemente pliegues o discordancias.



Qué quiere transmitir:
Antes de las fotografías y drones, la geología se hacía **a mano**, observando y dibujando.
Este dibujo representa:

– La necesidad de **describir con precisión lo observado**.
– Que la geología implica trabajar en campo, interpretar estructuras y registrarlas.

La intención es mostrar que **la observación cuidadosa ha sido siempre la base de la geología**.

GRABADO DE ACANTILADOS Y GEÓLOGOS EN LA COSTA

Una escena antigua con naturalistas estudiando un acantilado.



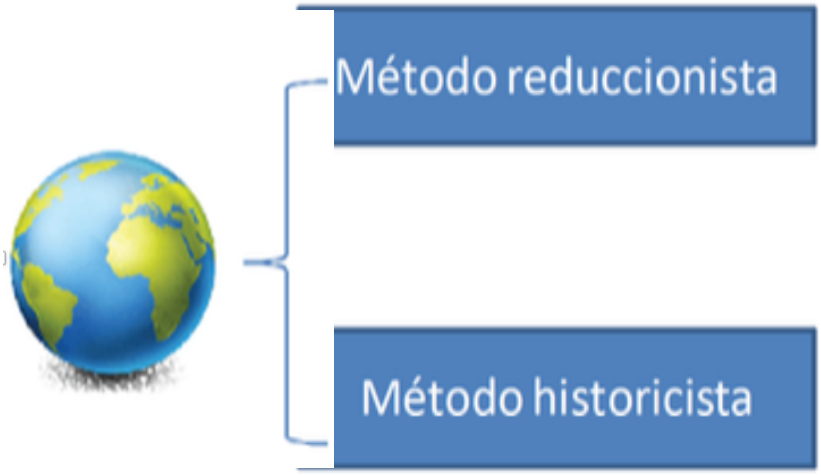
Qué quiere transmitir:
La geología nace como ciencia **en el campo**, observando estratos al descubierto, midiendo pendientes, tomando muestras.
Este grabado representa:
– El valor histórico de la observación.
– Cómo se interpretaban estratos, fallas o pliegues antes del instrumental moderno.
– Que la relación entre **paisaje y ciencia** es esencial.
Es una llamada a entender que **para pensar como geólogo hay que mirar, comparar y deducir**.

REDUCCIONISMO E HISTORICISMO

La geología estudia dos dimensiones distintas de la Tierra:
– **Cómo funciona** (procesos físicos y químicos).
– **Cómo ha cambiado** con el tiempo.

Para ello se han utilizado dos métodos:

1. **El método reduccionista** representa el enfoque "de laboratorio" buscando explicar los sistemas geológicos complejos y dividirlos en sus componentes más simples y analizando sus propiedades básicas (minerales, presión, temperatura, composición química) y piensa en reacciones, deformaciones, cristalización… explicando **el mecanismo**.



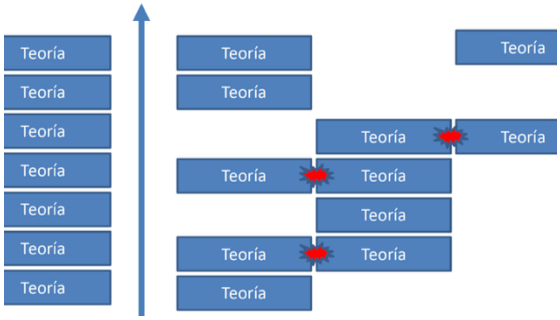
2.**El método historicista** representa el enfoque "de historiador de la Tierra" estudiando sus transformaciones, desde su formación hasta la actualidad, basándose en la **estratigrafía** y la **paleontología** para reconstruir los eventos pasados. Se apoya en el **principio de la datación relativa**, que ordena los eventos geológicos basándose en la superposición de capas de rocas, y la **datación absoluta**, que usa la radiactividad para determinar la edad exacta de las rocas.

De esta manera:
– Ordena eventos.
– Determina qué ocurrió antes y después.
– Reconstruye el pasado geológico.

3. El profesor deja claro que **ambos métodos son necesarios**:
– La **geodinámica** se entiende con el reduccionismo.
– La **estratigrafía** y **paleontología** con el historicismo.

AVANCE CIENTÍFICO: BLOQUES DE TEORÍAS

Vamos a analizar la manera de trabajar con las distintas cajas de "Teoría" que tenemos alineadas vertical y horizontalmente.



Qué quieren transmitir

1. La geología **no avanza limpiando teorías antiguas**, sino **acumulándolas**, conectándolas y sustituyéndolas poco a poco.
2. El campo vertical de teorías muestra **la evolución histórica**: nuevas teorías se apoyan en las antiguas, pero no las eliminan del todo.
3. El campo horizontal muestra **cambios de paradigma**: cuando una teoría antigua es reemplazada o reorganizada por otra mejor fundamentada.

4. Los “asteriscos rojos” indican **momentos de ruptura**: descubrimientos que obligan a revisar todo lo anterior (por ejemplo, la tectónica de placas).
5. El mensaje: La geología es **una ciencia que corrige y adapta**, no dogmática.
6. Es importante considerar que **las teorías geológicas conviven entre sí**.
7. **No hay una sola teoría que explique todo**:
   – unas se especializan en volcanes,
   – otras en montañas,
   – otras en fósiles,
   – otras en dinámica interna…

⇒ El profesor Insiste en que la ciencia **crece como un mosaico**, no como un edificio lineal.

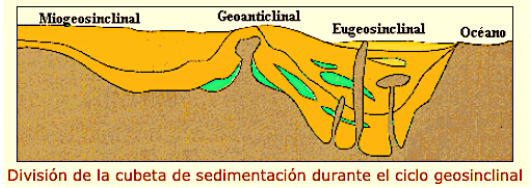
EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS GEOLÓGICOS

El geosinclinal, el fijismo y el movilismo son conceptos que evolucionaron hasta convertirse en la actual teoría de la tectónica de placas.

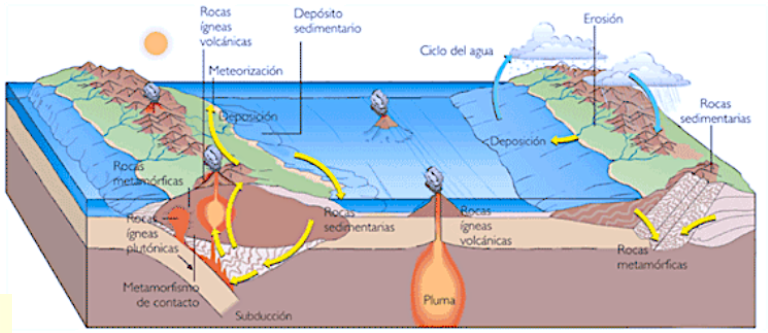
GEOSINCLINAL	FIJISMO	MOVILISMO	TECTÓNICA DE PLACAS
Teoría que explicaba que las montañas, por la acumulación de sedimentos se hundían y plegaban.	Teoría que sostiene que los continentes y los seres vivos han permanecido inalterables desde su creación y no han evolucionado.	Corriente de pensamiento que rechaza la idea de que el mundo geográfico ha permanecido estático, proponiendo que las masas terrestres se han desplazado y reorganizado a lo largo de la historia.	Teoría científica que explica que la **litosfera** (la capa más externa de la Tierra) está dividida en varias placas rígidas que se mueven constantemente sobre la **astenosfera**, una capa de roca caliente y semilíquida en el manto.

Qué nos trasmite

1. **Modelos antiguos** (geosinclinal y fijismo):
   – Intentos iniciales de explicar cómo se formaban montañas y continentes.
   – Hoy están superados.
2. **Movilismo**:
   – Primeras ideas de **Alfred Lothar Wegener (1880-1930),** meteorólogo y geofísico alemán sobre deriva continental.
   – En su época fue ridiculizado porque no se conocía un mecanismo físico para mover continentes.
3. **Tectónica de placas** (modelo moderno):
   – El gran cambio de paradigma (años 60–70). Explica volcanes, terremotos, cordilleras, nuevos océanos, cierre de mares…
   – Es la teoría integradora actual.



División de la cubeta de sedimentación durante el ciclo geosinclinal

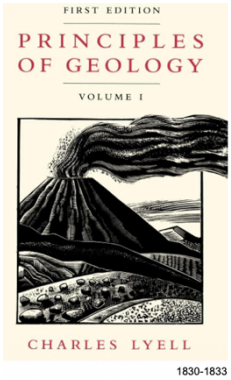


El mensaje es claro:

La geología ha cambiado profundamente en el último siglo.

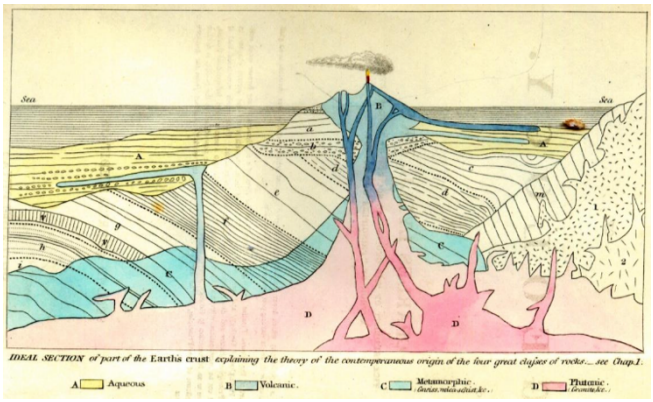
CHARLES LYELL (1830–1833)

Portada de su libro *Principles of Geology*



Qué quiere transmitir:

1. **Charles Lyell (1797-1875)**, geólogo británico y paleontólogo, es considerado uno de los fundadores de la geología moderna y padre del **uniformismo**, el **gradualismo** y el **actualismo**, principios científicos y filosóficos que sostiene que los procesos geológicos, biológicos y físicos que observamos hoy en día son los mismos que han actuado a lo largo de la historia de la Tierra, y que el presente es la clave para entender el pasado, a la vez que sostenía la idea de que el cambio ocurre en pequeños pasos o procesos lentos y continuos, en lugar de cambios abruptos



Su frase: *"El presente es la clave del pasado"*.

2. Su obra enseñó a pensar que los procesos lentos (erosión, sedimentación) acumulados durante millones de años explican el paisaje actual.
3. Es la base del pensamiento geológico contemporáneo.
4. Su dibujo de estratos inclinados ilustra cómo **Lyell** interpretaba afloramientos con una lógica moderna.

CATASTROFISMO – UNIFORMISMO - NEOCATRASTOFISMO



1. **El catastrofismo fue la explicación dominante antes del siglo XIX**:

Se creía que la historia de la Tierra estaba marcada por **grandes catástrofes puntuales**: diluvios, incendios globales, terremotos devastadores, etc.

2. Esta imagen del diluvio no es casual:

Se ha estado **mezclando la ciencia y la religión** en la interpretación del mundo natural antes de la geología moderna.

3. El catastrofismo afirmaba que las extinciones ocurrían por **eventos súbitos** que barrían la vida.
4. Esta idea fue importante en su momento, pero **insuficiente** para explicar la mayoría de los procesos geológicos.



La ciencia, sin embargo, se fue haciendo fuerte en sus investigaciones y descubrimientos dando paso al:

- **Uniformismo**:

– Uniformidad de leyes físicas
– Uniformidad de procesos
– Uniformidad de ritmo
– Uniformidad de condiciones

1. **Contraste entre dos visiones del tiempo geológico**:
    - El **catastrofismo**: grandes eventos rápidos.
    - El **uniformismo**: procesos lentos, constantes y acumulativos.

2. La foto del **Gran Cañón** sirve de ejemplo del uniformismo:
   – Kilómetros de estratos acumulados por **erosión lenta**, sedimentos sucesivos y millones de años.
   – Todo eso no se explica mediante un único evento brusco.
3. Las cuatro uniformidades explican la base del pensamiento geológico moderno:
   – Las leyes físicas no cambian.
   – Los procesos actuales (ríos, mareas, viento) son los mismos del pasado.
   – El ritmo es constante, salvo excepciones.
   – Las condiciones cambian, pero dentro de límites razonables.
4. Por todo ello, es importante entender que **el uniformismo fue la revolución científica previa a la tectónica de placas**.



NEOCATASTROFISMO

1. La geología moderna **integra ambas visiones**:
   – La Tierra funciona sobre todo mediante procesos lentos (**uniformismo**).
   – Pero **a veces** hay eventos catastróficos reales: impactos, supervolcanes, megatsunamis.
2. El impacto meteorítico (similar al que extinguió a los dinosaurios) simboliza el **neocatastrofismo**:
   – Reconoce la existencia de catástrofes naturales, pero las inserta dentro de una evolución geológica lenta y continua.
3. Es una postura **equilibrada** y científica, basada en pruebas y no en mitos.
4. De modo que, **los extremos (solo catástrofes o solo lentitud) son insuficientes**.

ACTUALISMO, UNIFORMISMO Y EQUILIBRIO DINÁMICO

Veamos estos tres conceptos clave:

- **Actualismo**: el presente explica el pasado.
- **Uniformismo**: los procesos antiguos son los mismos que los actuales.
- **Equilibrio dinámico**: creación y destrucción constantes.

Por todo ello:

1. Es imprescindible diferenciar claramente actualismo y uniformismo (que a menudo se confunden).
   – Actualismo = método de interpretación.
   – Uniformismo = afirmación sobre la naturaleza de los procesos.
2. El **equilibrio dinámico** es una visión moderna:
   – Nada en la Tierra es estático.
   – Se crean montañas, se erosionan, se sedimentan cuencas, se hunden litosferas…
3. La Tierra es un sistema **autoajustado**: toda creación lleva aparejada destrucción y viceversa.

MORFOGÉNESIS Y EXTINCIONES

Charles Lyell, en su obra "Principios de Geología" distingue dos procesos básicos de la morfogénesis geológica, dos procesos que se habrían producido periódicamente, compensándose el uno al otro:

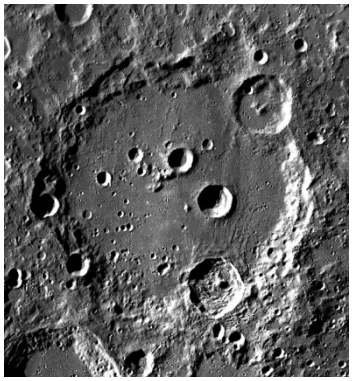
- **Procesos acuosos** (erosión + sedimentación)
- **Procesos ígneos** (volcánicos + sísmicos)
- **Extinciones y creación de especies**

⇒ Esto le sirvió más tarde a **Darwin** para publicar en 1859 su obra "El origen de las especies".

Todos estos avances científicos transmitían que:

1. La historia de la Tierra se explica combinando **dos grandes fuerzas**:
   – Agua (modelado superficial)
   – Magma (modelado interno)
2. Ambas fuerzas actúan **cíclicamente**, compensándose:
   – El agua desgasta.
   – El vulcanismo crea nueva corteza.
3. En la vida ocurre algo similar:
   – Extinciones cíclicas.
   – Creación o aparición de nuevas especies.
   – Grandes cambios climáticos provocados por el movimiento continental.
4. El pensamiento geológico influyó en la evolución biológica. Una Tierra antigua permitía la evolución lenta de las especies.

De esta manera vemos que **la geología y la biología evolucionista están íntimamente unidas**.



NUEVAS TÉCNICAS, NUEVOS DESCUBRIMIENTOS

1. La geología es una ciencia **viva**, que sigue expandiéndose con nuevas tecnologías.
2. El análisis de imágenes de alta resolución (como esta, probablemente de Marte o la Luna) permite:
   – Comparar procesos terrestres con procesos planetarios.
   – Entender impactos, vulcanismo, fracturas…
3. La geología moderna es también **planetaria**:
   – Usa sondas, vehículos robotizados, radar, espectrometría…
   – Interpreta superficies de otros mundos.

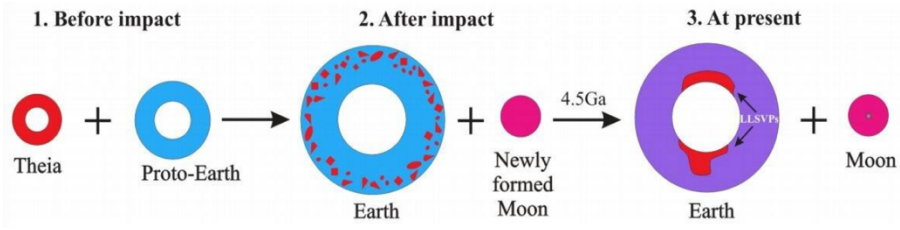
La geología moderna no está "acabada"; se renueva constantemente.



1. Estudia **procesos gigantescos**, incluidos los del origen de los planetas.
2. Investiga la hipótesis del **impacto gigante** que formó la Luna.
3. Las teorías geológicas incorporan información de:
   – Física,
   – Astronomía,
   – Geoquímica,
   – Modelización computacional.
4. La geología abarca desde lo microscópico a lo planetario.

FORMACIÓN DE LA LUNA (THEIA + PROTO-TIERRA)

Infografía por etapas:
1. Antes del impacto
2. Impacto
3. Después del impacto
4. Formación de la Luna



Qué quiere transmitir:
1. Explica visualmente el modelo actual aceptado para el origen de la Luna.
2. Enseña que la geología **reconstruye procesos de hace 4.500 millones de años**.
3. Muestra que con técnicas modernas podemos entender eventos que nunca veremos.
4. Subraya la **interdisciplinariedad** de la geología.

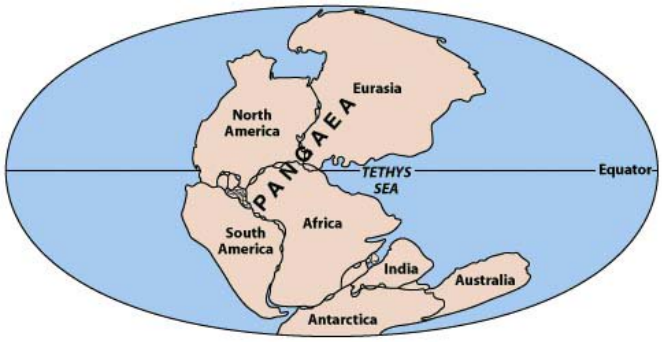
Tema 3: PROCESOS INTERNOS: TECTÓNICA DE PLACAS

CONTENIDOS DEL TEMA:

1. De la separación de los continentes a la tectónica de placas
2. Bordes divergentes
3. Bordes convergentes
4. Bordes transformantes
5. Pruebas de la tectónica de placas
6. Medición del movimiento de las placas
7. Agentes implicados en el movimiento
8. Evolución de las placas
9. Terremotos
10. Terremotos y tectónica
11. Interior de la Tierra

LA SEPARACIÓN DE LOS CONTINENTES: WEGENER

La imagen muestra una representación del supercontinente **Pangea**, que existió hace aproximadamente 335 millones de años, antes de comenzar a fragmentarse.



Qué nos quiere transmitir

- **Wegener** propuso en 1915 que todos los continentes estuvieron unidos en un bloque llamado **Pangea**.
- Pangea empezó a fragmentarse hace **200 millones de años**.
- Los continentes se desplazaron hasta su posición actual.
- Entre ellos hoy hay **corteza oceánica**, no solo mares.
- La fragmentación de Pangea dio lugar a la formación de nuevos océanos y mares, y alteró significativamente los climas globales.

De esta manera se empieza a profundizar en la idea fundamental: **los continentes se mueven**.

Evidencia 1: AJUSTE GEOMÉTRICO

Aquí vemos la famosa coincidencia entre la forma de Sudamérica y África.

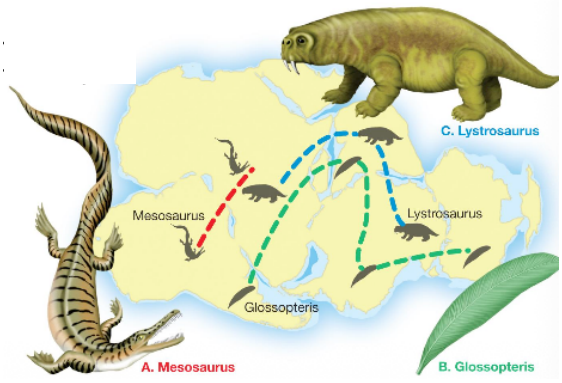


¿Esto qué probó?

- El encaje casi perfecto entre ambos continentes no es casual.
- Las pruebas de **Wegener** para la teoría de la deriva continental se agrupan en geográficas, paleontológicas, geológicas y paleoclimáticas. Estas evidencias incluyen el encaje de los continentes (especialmente África y Sudamérica), la coincidencia de fósiles y formaciones geológicas a través de océanos, y la presencia de evidencias de climas antiguos (como glaciares y depósitos de carbón) en lugares que hoy no corresponderían a esos climas. **Wegener** lo consideró una evidencia de su separación a partir de un bloque único.

Evidencia 2: <u>FÓSILES IGUALES EN LUGARES HOY SEPARADOS</u>

Especies fósiles idénticas aparecieron en continentes actualmente muy distantes. Ejemplos notables se encontraron en el reptil acuático *Mesosaurus*, cuyos fósiles se localizaron en Sudamérica y el sur de África, y el reptil terrestre *Lystrosaurus*, encontrado en África, India y la Antártida.

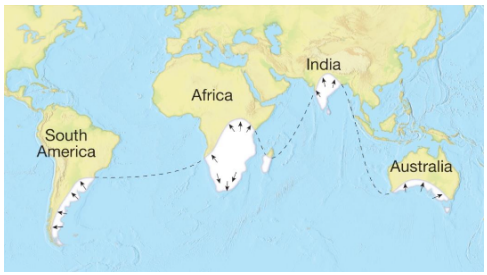


- Estos organismos no podían cruzar océanos actuales, por ello ⇒ **los continentes estaban unidos**.

Evidencia 3: <u>ROCAS Y MONTAÑAS COINCIDENTES</u>

En esta imagen se muestra similitud de rocas y estructuras geológicas de la misma edad en continentes actualmente separados y cadenas montañosas que continúan de un continente a otro (Apalaches–Caledónides).





Esto nos indica que:

- Rocas iguales y montañas alineadas aparecen en continentes separados.
- La única explicación coherente: antes estaban juntos en el mismo borde.



Evidencia 4: <u>PALEOCLIMAS</u>

Existen indicios de glaciaciones antiguas que coinciden en regiones hoy lejanas, y evidencias de climas similares en regiones actualmente muy separadas.

Ésto, ¿Qué nos indica?

- Las señales climáticas idénticas en zonas separadas, solo encaja si en el pasado estaban próximas y en otras latitudes.

<u>EL PROBLEMA DE WEGENER</u>

- Wegener tenía excelentes evidencias de su tesis, pero no pudo exponer el mecanismo científico convincente que explicara cómo los continentes se movían a través de la corteza oceánica.
- La comunidad científica rechazó su hipótesis hasta la segunda mitad del siglo XX.

<u>NACE LA TEORÍA MODERNA: TECTÓNICA DE PLACAS</u>

- Más ajustada a las evidencias científicas
- Relacionada con la capa rígida más externa de la Tierra:
  - Esa capa se denomina **Litosfera**
  - Dividida en diversas placas:
    - Las placas se mueven lentamente
    - La placa más grande es la placa pacífica
- La **Astenosfera**:
  - Es una capa de la Tierra situada bajo la litosfera

- Más caliente y deformable que la litosfera
- Permite el movimiento de la litosfera

• Los bordes de las placas:
- Las mayores interacciones entre las placas ocurren en los bordes de las placas
- Diferentes tipos de bordes:
  - Bordes convergentes o destructivos
  - Bordes divergentes o constructivos
  - Bordes de falla transformante

Resumiendo:

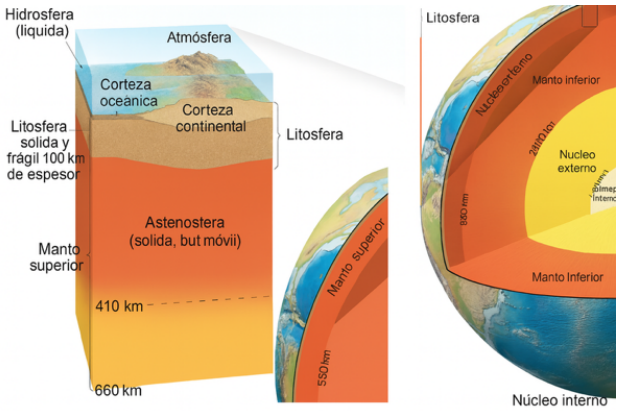
- La **litosfera** es rígida y está formada por placas.
- Estas **se mueven lentamente**.
- Bajo ellas está la **astenosfera**, más caliente y plástica, que permite el movimiento.
- Existen **tres tipos de bordes**: divergentes, convergentes y transformantes.

CORTE INTERNO DE LA TIERRA

En esta imagen se ven diferentes capas: corteza oceánica, corteza continental, litosfera, astenosfera, manto superior.

Qué quiere transmitir

- La tectónica de placas depende de la **estructura física** de la Tierra.
- El manto superior tiene partes rígidas (litosfera) y partes plásticas (astenosfera).
- La movilidad se origina por diferencias térmicas internas.

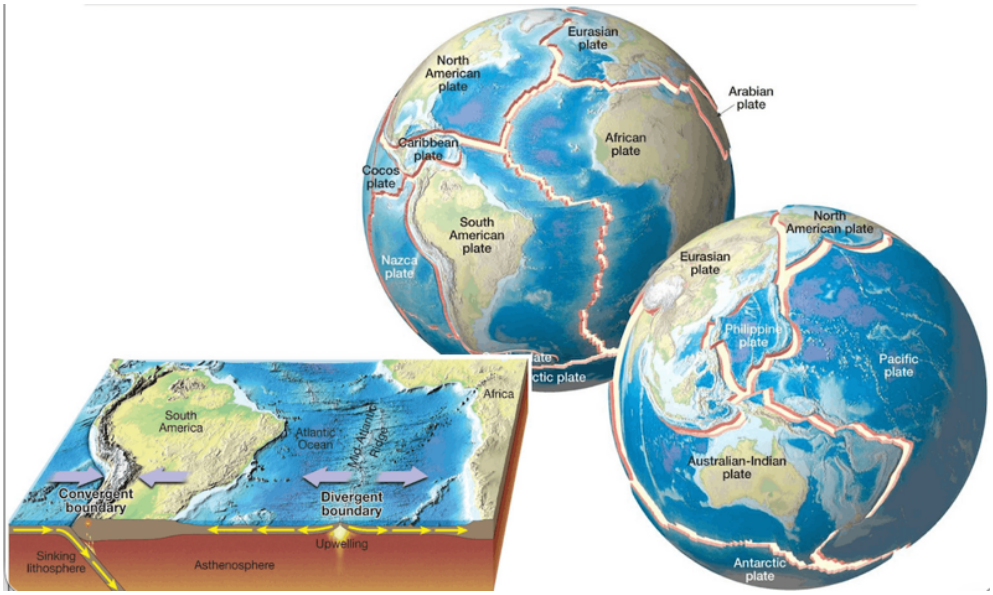


MAPA DE LAS PLACAS LITOSFÉRICAS

Aquí podemos observar placas como: Pacífica, Africana, Indo-Australiana, Sudamericana…

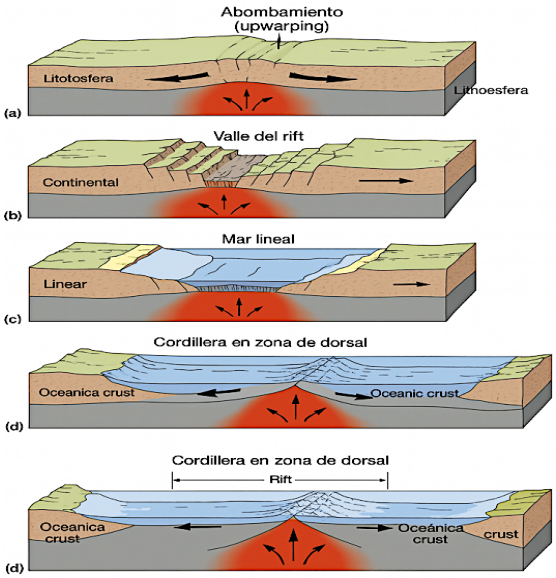
De esta manera vemos que:

- La Tierra está dividida en grandes placas.
- Se aprecia claramente dónde están los bordes y cómo encajan entre sí.
- La placa del Pacífico es la **más grande**.



BORDES DIVERGENTES CONTINENTALES: VALLES DEL RIFT

Los bordes divergentes son las **dorsales oceánicas**, donde dos placas tectónicas se separan creando nueva litosfera oceánica. Este proceso se debe al ascenso de magma desde el manto que, al solidificarse, forma corteza en forma de **expansión del fondo oceánico**. Las dorsales son "bordes constructivos" debido a esta formación de litosfera, y presentan actividad volcánica y sísmica.



Este es el proceso:

- Dos placas se separan.
- Asciende magma que forma **nueva corteza oceánica**.
- La dorsal se eleva por la disminución de presión.
- Zona volcánica, con alto flujo térmico.

Ejemplo: **Dorsal Mesoatlántica**.

- Se ve la evolución Rift → Mar Rojo → Océano Atlántico.

Separación continental:

• Se inicia por la existencia de material fundido procedente del manto que intenta alcanzar la superficie.

• La zona se deforma (hinchándose) y fracturándose, por donde se producen procesos volcánicos y el inicio de la fracturación del continente.

• Se forman valles alargados con intensa actividad volcánica (Fase Valle del Rift)

• Al extenderse, el valle puede quedar inundado formándose un mar alargado (Fase Mar Rojo)

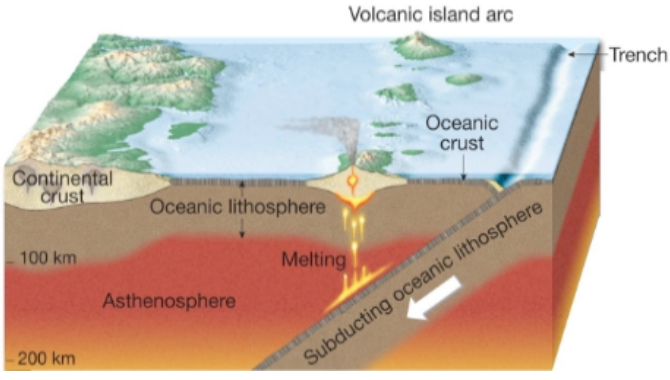
• Los bordes se separan formándose un océano entre ambas secciones (Fase Océano Atlántico)

Ejemplo clásico: **África oriental → Mar Rojo → Océano Índico**.

https://www.youtube.com/watch?v=9EyVzcq8GoI&t=724s

CONVERGENCIA OCÉANO-OCÉANO

- Este proceso geológico genera nueva corteza oceánica en las dorsales oceánicas a medida que las placas tectónicas se separan. El magma del manto asciende, se solidifica y se convierte en nueva corteza, que luego se desplaza lateralmente, arrastrando consigo a los continentes y expandiendo así las cuencas oceánicas.
- Aparecen **arcos de islas volcánicas**.

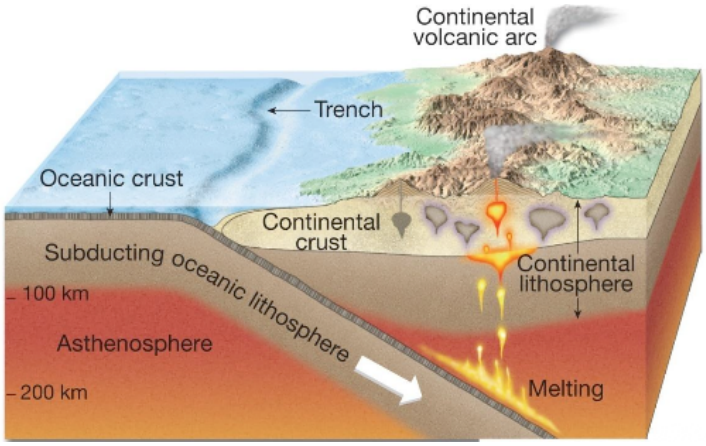


Ejemplos de islas: Marianas, de Tonga, Aleutianas.

CONVERGENCIA OCÉANO-CONTINENTE

La convergencia océano-continental ocurre cuando una placa oceánica choca con una placa continental. La placa oceánica, más densa, se hunde bajo la placa continental en un proceso llamado

subducción, formando una zona de subducción con una fosa oceánica profunda. Este proceso produce terremotos y crea una cadena de volcanes en la placa continental, conocida como arco continental.



- **Subducción:** La placa oceánica, más densa, se desliza bajo la placa continental menos densa.
- **Zona de subducción:** El área donde ocurre este hundimiento.
- **Fosa oceánica:** Se forma una fosa profunda en la zona de subducción.
- **Arco continental:** A medida que la placa oceánica se funde en el manto, el magma resultante asciende y erupciona, creando una cordillera volcánica paralela a la costa en la placa continental.
- **Terremotos:** La fricción entre las placas genera terremotos frecuentes.

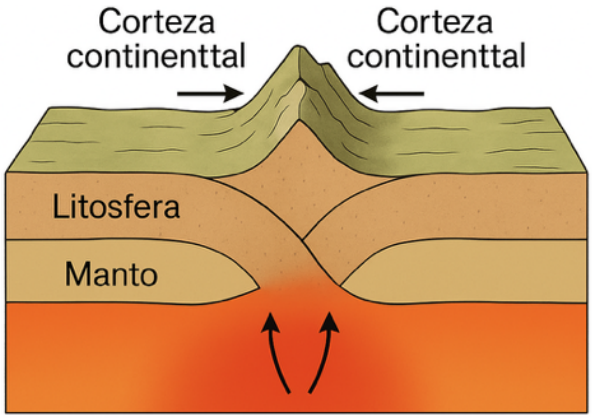
- **Ejemplo:** La Cordillera de los Andes, a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, es un ejemplo de este tipo de límite convergente.

CONVERGENCIA CONTINENTE-CONTINENTE

Esto ocurre cuando dos placas tectónicas con corteza continental chocan. Dado que ambas son de baja densidad, ninguna se hunde (subduce) bajo la otra. En su lugar, el material es empujado hacia arriba, formando grandes cordilleras montañosas y generando plegamientos y deformaciones en las rocas. El Himalaya es un ejemplo prominente de este proceso, que resulta de la colisión entre las placas de la India y Eurasia.

⇒ **Características principales:**

- **Colisión de placas:** Dos placas con corteza continental se mueven una hacia la otra y chocan.
- **Falta de subducción:** Ninguna de las placas se hunde por completo debido a su baja densidad.
- **Formación de cordilleras:** La presión resultante del choque empuja la corteza hacia arriba, creando enormes cadenas montañosas.



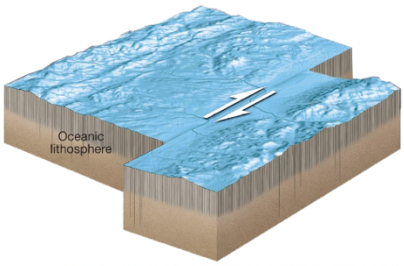
- **Plegamiento y deformación:** Las rocas se pliegan, se deforman y se metamorfosean debido a las enormes fuerzas de la colisión.
- **Ausencia de volcanes:** A diferencia de otros tipos de convergencia, no hay volcanes asociados a la colisión continental-continental, ya que la corteza es demasiado gruesa y no se produce magma que pueda atravesarla.
- **Sismos:** Se producen terremotos debido a las tensiones acumuladas en las placas durante la colisión.

Ejemplos:

- **Himalaya:** Resultado de la colisión entre la placa de la India y la placa Euroasiática.
- **Alpes:** Formados por la colisión entre las placas africana y euroasiática.
- **Pirineos y Urales:** Otros ejemplos de cordilleras formadas por este tipo de convergencia.

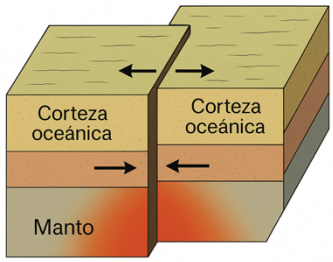
BORDES TRANSFORMANTES

Los bordes transformantes son uno de los tres tipos principales de límites de placas tectónicas.



⇒ **Características Principales:**

- **Definición:** Son límites donde dos placas tectónicas **se deslizan lateralmente** una respecto a la otra.
- **Movimiento:** El movimiento es de **desplazamiento horizontal** (falla de desgarre).
- **Litosfera:** A diferencia de los otros límites, en los bordes transformantes **ni se crea ni se destruye** litosfera (corteza). Por eso a veces se les llama **bordes pasivos**.
- **Actividad Sísmica:** Son zonas de alta actividad sísmica. El roce y la fricción entre las placas causan una gran acumulación de tensión que se libera en forma de **terremotos masivos**.



Ejemplo Famoso:

El ejemplo más conocido a nivel mundial de un borde transformante es la **Falla de San Andrés** en California, Estados Unidos.

- En esta falla, la **Placa del Pacífico** se desliza junto a la **Placa de Norteamérica**.

https://www.youtube.com/watch?v=A8pwd35-ahE

PRUEBAS: SONDEOS OCEÁNICOS

Las pruebas que sustentan la **Teoría de la Tectónica de Placas** se clasifican principalmente en evidencias basadas en la **Deriva Continental** (propuesta por **Alfred Wegener**) y evidencias posteriores que explican el **mecanismo** del movimiento en el fondo oceánico.

⇒ **Pruebas Oceánicas (Expansión del Fondo Marino)**

Estas evidencias surgieron después de la Segunda Guerra Mundial gracias al mapeo de los fondos marinos y explicaron el motor del movimiento de las placas.

- **Bandeado Magnético (Paleomagnetismo):** Las rocas volcánicas en el fondo oceánico registran la polaridad del campo magnético terrestre en el momento de su formación. Se observan **bandas simétricas** de magnetización normal e invertida a ambos lados de las **dorsales oceánicas**, lo que indica que se está creando nueva corteza de manera constante y simétrica en el centro de la dorsal.
- **Edad de la Corteza Oceánica:** La edad de las rocas del fondo marino aumenta progresivamente **a medida que nos alejamos de la dorsal oceánica**. Las rocas más jóvenes se encuentran justo en el eje de la dorsal, mientras que las más antiguas (de hasta unos 200 millones de años) están cerca de las zonas de subducción, y los sedimentos más antiguos del océano tienen <180 Ma.
- **Distribución de Sismos y Volcanes:** La gran mayoría de la actividad sísmica (terremotos) y volcánica en el mundo **no se distribuye al azar**, sino que se concentra a lo largo de estrechas franjas que delimitan las placas tectónicas (los bordes de placa).
- **Medición Directa del Movimiento:** Tecnologías modernas como el **GPS** y la interferometría de muy larga base (VLBI) permiten medir con precisión y en tiempo real el movimiento actual de las placas, confirmando que se desplazan a velocidades que varían entre 1 y 16 cm al año.

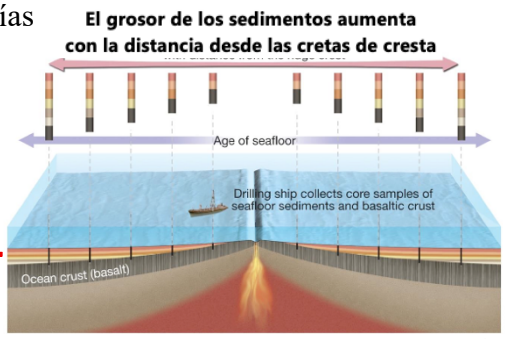
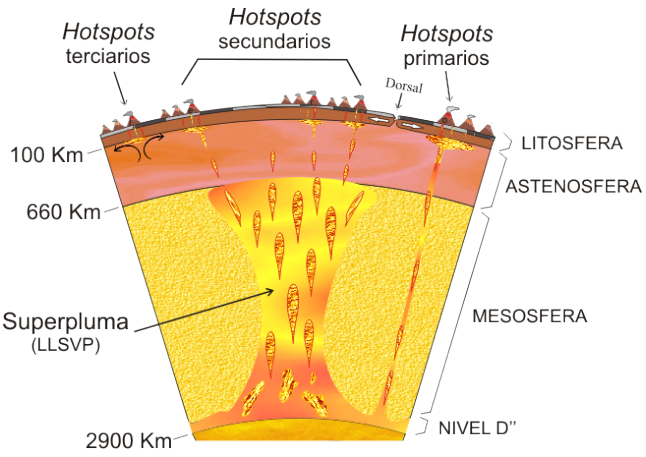


Imagen del espesor de los sedimentos respecto a la dorsal

PUNTOS CALIENTES Y PLUMAS DEL MANTO

Las **plumas del manto** y los **puntos calientes** son fenómenos de **vulcanismo intraplaca** que proporcionan una explicación para la actividad volcánica que ocurre lejos de los límites de las placas tectónicas.



⇒ **Plumas del Manto**

Una pluma del manto es una **columna ascendente de material caliente y menos denso** que se origina en las profundidades del manto terrestre, posiblemente cerca del límite entre el núcleo y el manto (capa D").

- **Composición y Movimiento:** Aunque el material es caliente, se considera que asciende en **estado sólido** y no líquido, comportándose como una corriente de convección vertical.
- **Morfología:** Se piensa que tienen una estructura de "hongo", con una **cabeza** más ancha (la parte superior que choca con la litosfera) y un **conducto** estrecho o **cola** que la conecta con su origen profundo.
- **Efecto:** Al alcanzar la base de la litosfera, la disminución de la presión (descompresión) sobre el material caliente de la cabeza de la pluma provoca su **fusión parcial**, generando grandes volúmenes de **magma** (generalmente basáltico).

⇒ **Puntos Calientes**

Un punto caliente es la **manifestación superficial** o el lugar donde el magma generado por una pluma del manto perfora la litosfera y produce vulcanismo.

- **Ubicación Fija:** Se cree que, en general, los puntos calientes o su fuente (la pluma) permanecen en una **posición relativamente fija** en el manto profundo durante millones de años.
- **Vulcanismo Intraplaca:** Son la causa del vulcanismo que no está asociado con la expansión de las dorsales (límites divergentes) o la subducción (límites convergentes).
- **Formación de Cadenas Volcánicas:** Debido a que la pluma del manto se mantiene fija mientras que la **placa litosférica suprayacente se mueve** sobre ella, el punto caliente crea una **cadena de volcanes alineados**. Los volcanes más activos son los que están directamente sobre la pluma, mientras que los más antiguos se van extinguiendo a medida que son arrastrados por el movimiento de la placa.

- **Ejemplos Famosos:**
  - **Islas Hawái (Oceánica):** La cadena Hawái-Emperador es el ejemplo clásico del movimiento de la Placa del Pacífico sobre un punto caliente fijo.
  - **Yellowstone (Continental):** Un punto caliente debajo de la Placa de Norteamérica, responsable de un sistema volcánico muy grande y complejo.

Este video ilustra muy bien cómo el movimiento de la placa sobre la pluma del manto da lugar a una cadena de islas volcánicas como Hawái:

https://www.youtube.com/watch?v=yEptxU08yf8

PALEOMAGNETISMO

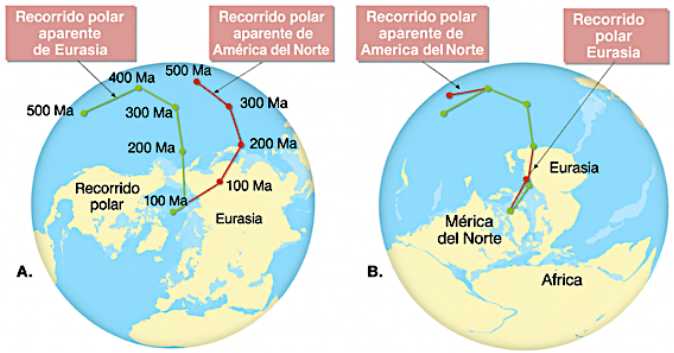
El **Paleomagnetismo** es la disciplina geofísica que estudia el **campo magnético terrestre registrado en las rocas** a lo largo de la historia geológica. Es una de las pruebas más sólidas y fundamentales de la Teoría de la Tectónica de Placas, especialmente para validar la hipótesis de la **expansión del fondo oceánico**.

⇒ Principios Clave del Paleomagnetismo

- **Magnetismo Remanente:** Ciertas rocas, especialmente las volcánicas (ígneas) ricas en minerales ferromagnéticos como la **magnetita**, conservan un registro del campo magnético de la Tierra en el momento de su formación.
- **Punto de Curie:** Cuando el magma se enfría y solidifica por debajo de una temperatura crítica (el **punto de Curie**), los minerales magnéticos se **alinean** con la dirección y la polaridad del campo geomagnético de ese instante. Esta orientación queda "congelada" en la roca, constituyendo su **magnetismo termorremanente**.
- **Polaridad Magnética:** A lo largo de la historia de la Tierra, el campo magnético ha experimentado **inversiones periódicas** de polaridad. Es decir, los polos Norte y Sur magnéticos han intercambiado sus posiciones de forma irregular, alternando entre polaridad **normal** (similar a la actual) y **reversa**.

⇒ Evidencia de la Expansión del Fondo Oceánico

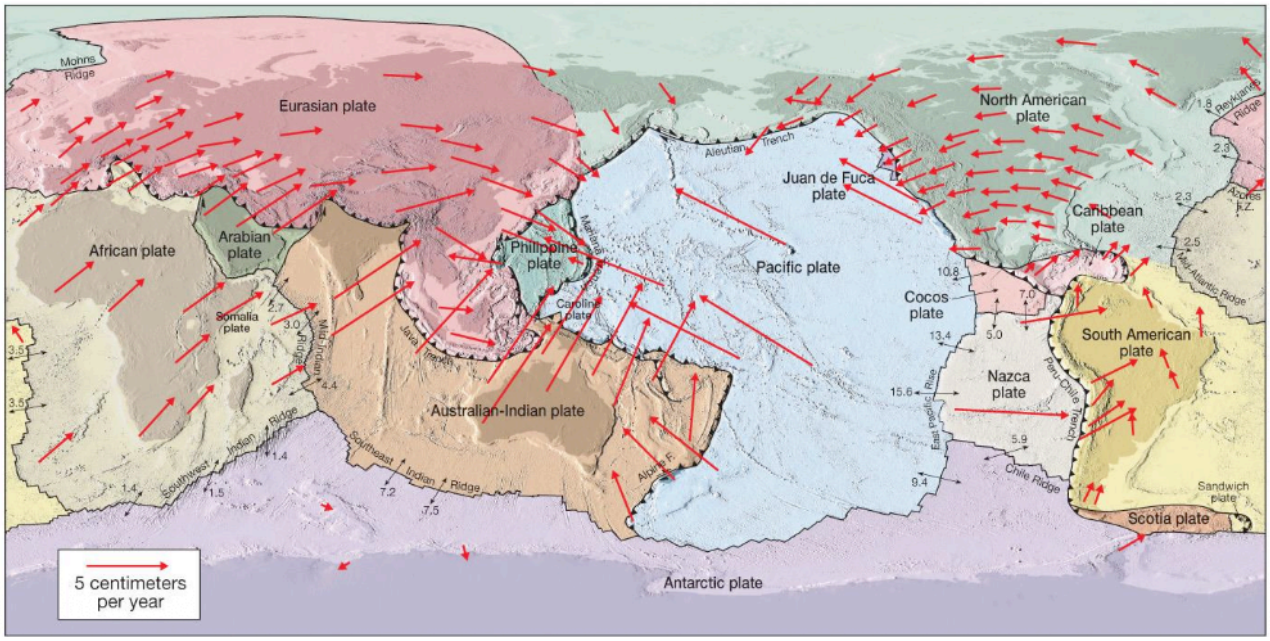
El mayor aporte del paleomagnetismo a la Tectónica de Placas es la evidencia de las **bandas magnéticas simétricas** en el fondo oceánico, que demuestran el proceso de creación de nueva corteza en las dorsales oceánicas.



1. **Formación en la Dorsal:** En el eje de una dorsal oceánica (límite divergente), el magma asciende, se enfría y se solidifica, registrando la polaridad magnética del momento.
2. **Desplazamiento:** A medida que las placas se separan, esta nueva corteza se mueve lateralmente, y nuevo magma asciende para formar más corteza en el centro.
3. **Patrón Simétrico:** Dado que las inversiones de polaridad son un fenómeno global, la corteza formada durante un período de polaridad **normal** deja una franja de magnetización normal, y la formada durante una polaridad **reversa** deja una franja de magnetización inversa. Este proceso se repite, creando un patrón de **bandas paralelas y simétricas** a ambos lados de la dorsal.
4. **Confirmación:** La coincidencia de las franjas magnéticas del fondo marino con la escala de tiempo de las inversiones magnéticas conocidas, combinada con la datación radiométrica de las rocas, probó que la corteza es más joven cerca de la dorsal y más antigua a medida que se aleja. Esto es la prueba directa y cuantitativa de que el **fondo oceánico se está expandiendo**.

- **Resumen:**
  - El campo magnético se invierte periódicamente.
  - Las bandas magnéticas alternadas a ambos lados de la dorsal son **idénticas**.
  - Es la prueba absoluta de que el suelo oceánico **se expande** desde la dorsal.

MEDICIÓN DEL MOVIMIENTO DE LAS PLACAS



⇒ **Qué quiere transmitir**

- Las flechas rojas muestran las direcciones de desplazamiento.
- Hoy se mide con **GPS e interferometría**.
- Las placas se mueven 5 centímetros al año por cada 1,5 centímetros representados en las flechas.

AGENTES IMPLICADOS EN EL MOVIMIENTO

⇒ **Mecanismos de la tectónica de placas**

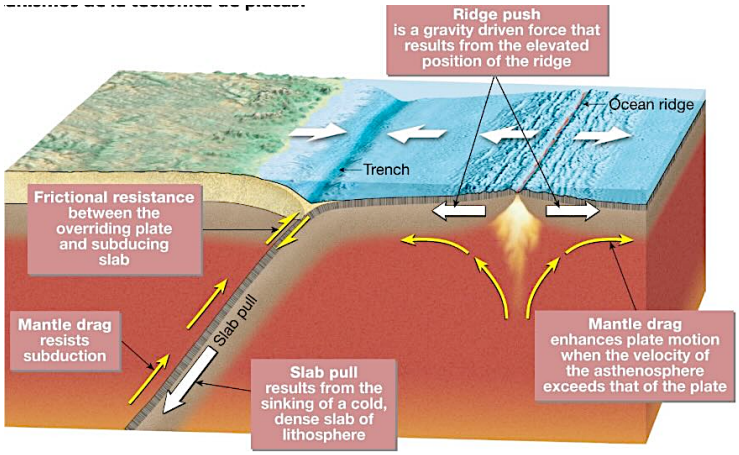
El movimiento de las placas tectónicas es impulsado por la **energía térmica** interna de la Tierra, lo que genera un sistema de circulación en el manto que, a su vez, mueve la litosfera.

Los mecanismos principales son una combinación de fuerzas gravitacionales que "empujan" y "tiran" de las placas, además del flujo del manto que las "arrastra".

1. Convección del Manto (La Fuerza Subyacente)

La **convección del manto** es la fuerza impulsora básica y fundamental.

- **Ciclo de Calor:** El calor generado en el núcleo y el manto inferior (principalmente por la desintegración radiactiva de elementos) provoca que el material del manto (roca sólida, pero plástica a largo plazo) se caliente, se vuelva menos denso y **ascienda**.
- **Corrientes:** Cerca de la litosfera, el material se enfría, se vuelve más denso y **desciende** nuevamente, creando un ciclo de corrientes de convección.



- **Movimiento de Placa:** Estas corrientes lentas y deslizantes actúan como una "cinta transportadora" que **arrastra** (o, más precisamente, facilita el movimiento de) la litosfera suprayacente, siendo el motor inicial del movimiento.

2. Tracción de Losa (Slab-Pull)

Esta es considerada por muchos investigadores como la **fuerza dominante** que impulsa el movimiento de las placas más rápidas.

- **Proceso:** Ocurre en los **límites convergentes** donde la litosfera oceánica (la "losa" o *slab*) se enfría con la edad y se vuelve más densa que la astenosfera subyacente.
- **Gravedad:** Debido a su mayor densidad, la losa se hunde bajo la otra placa en el proceso de **subducción**, y la fuerza de la gravedad la **tira hacia abajo** en el manto.

- **Efecto:** Este "tirón de la losa" arrastra consigo el resto de la placa conectada, actuando como un ancla pesada que jala la placa completa.

3. Empuje de la Dorsal (Ridge-Push)

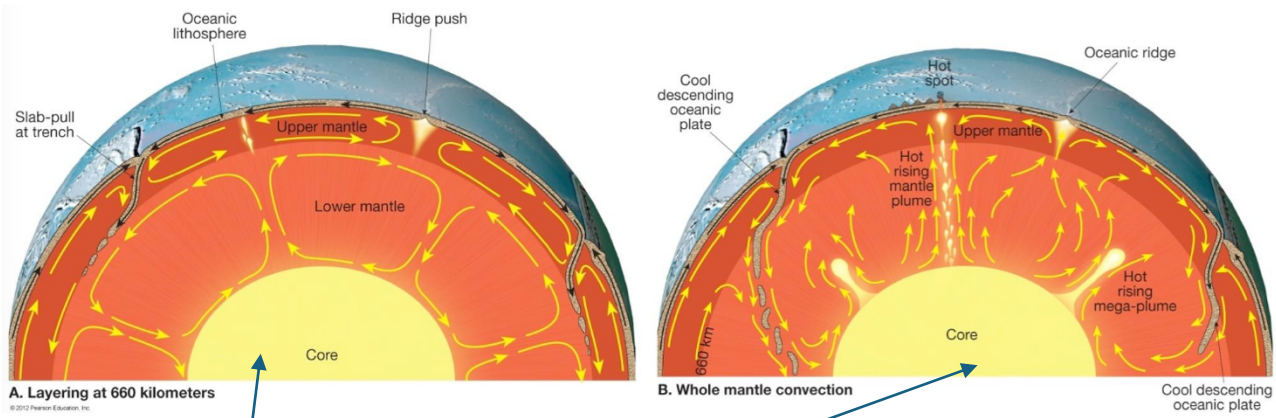
Esta fuerza complementa el movimiento, actuando como un mecanismo que "empuja" la placa desde su lugar de origen.

- **Proceso:** Se produce en los **límites divergentes** (dorsales oceánicas) donde el material caliente del manto asciende y crea nueva corteza.
- **Elevación:** La corteza recién formada es caliente, menos densa y, por lo tanto, se **eleva topográficamente** por encima del fondo oceánico circundante.
- **Gravedad:** La gravedad hace que esta porción elevada de la placa se deslice o **empuje lateralmente** hacia afuera desde la cresta de la dorsal, forzando a la placa entera a moverse.

https://www.youtube.com/watch?v=AUPBLNWsKUg

En resumen, el movimiento de las placas es un sistema complejo donde la **Tracción de Losa** (tirón hacia abajo en las zonas de subducción) y el **Empuje de la Dorsal** (empuje hacia afuera en las dorsales) son las fuerzas gravitacionales directas que actúan sobre la placa litosférica, mientras que la **Convección del Manto** es el motor térmico subyacente que genera el movimiento general.

CONVECCIÓN DEL MANTO



Esta imagen ilustra dos modelos de **convección del manto** terrestre, que es el proceso por el cual el calor interno de la Tierra asciende y se transfiere moviendo el manto impulsando la tectónica de placas.

- El modelo A muestra la "convección por capas a 660 kilómetros", donde las células de convección están confinadas al manto superior y al manto inferior por separado.
- El modelo B representa la "convección de todo el manto", donde las plumas calientes ascendentes desde cerca del núcleo y las placas oceánicas frías descendentes (subducción) circulan a través de todo el manto.
- Ambos modelos muestran mecanismos clave de la tectónica de placas, como el "*slab-pull*" (tirón de la losa en la trinchera) y el "*ridge push*" (empuje de la dorsal oceánica).

- La convección del manto es un proceso fundamental que ha influido en la evolución de la Tierra y la formación de su superficie

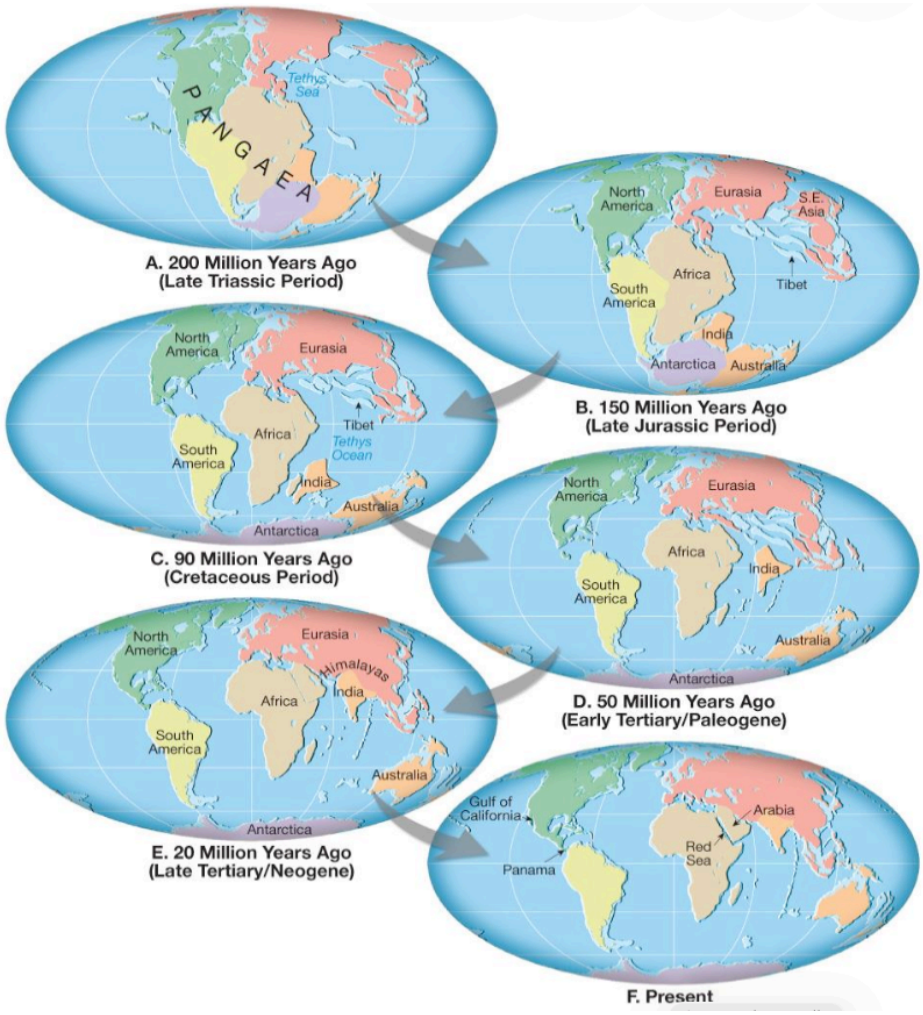
  ⇒ Esta teoría que muestra el profesor no toma partido: solo muestra la complejidad real.

EVOLUCIÓN DE LAS PLACAS

Aquí se presenta la secuencia desde hace 200 Ma hasta hoy.

- De esta manera podemos ver de forma más clara que la Tierra es dinámica:
  ⇒ Pangea → Jurásico → Cretácico → Terciario → Actualidad.

- Puede visualizarse cómo los continentes se han ido separando y chocando.



TERREMOTOS: CONCEPTO, ONDAS Y SISMOGRAMAS

- Un terremoto es una vibración de la Tierra que se produce por una liberación rápida de energía.
- La energía liberada se distribuye de forma radial en todas las direcciones desde el foco.
- El epicentro es el punto de la superficie del planeta situado directamente sobre el foco del terremoto.
- La energía se traslada en forma de ondas.
- Esta energía puede ser registrada por instrumentos científicos situados alrededor de todo el mundo.
- Los terremotos suelen estar asociados a grandes facturas (fallas) en la corteza del Planeta.
- Gran parte de los movimientos de las fallas pueden ser explicados por la Tectónica de placas.



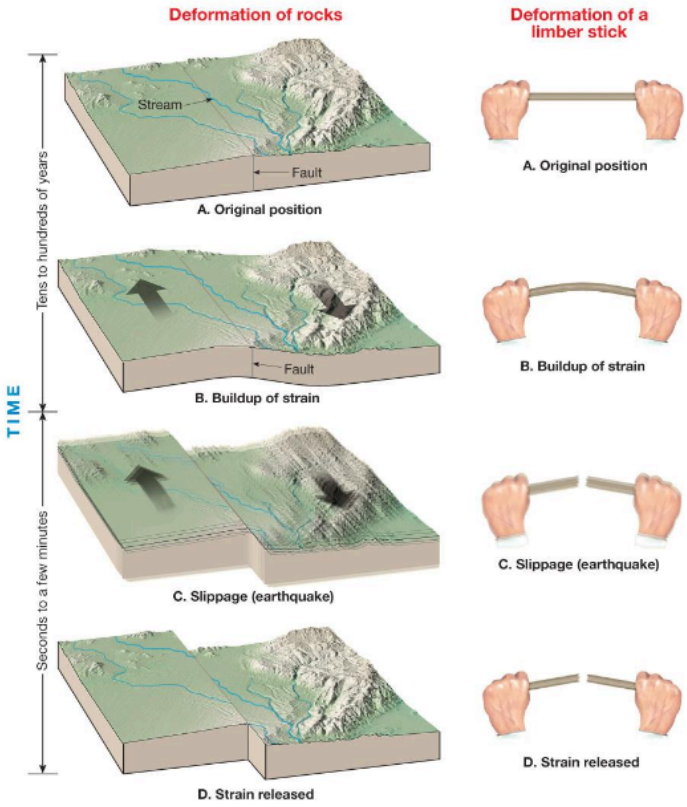
Terremoto de San Francisco

⇒ **Mecanismos**:

• El rebote elástico:

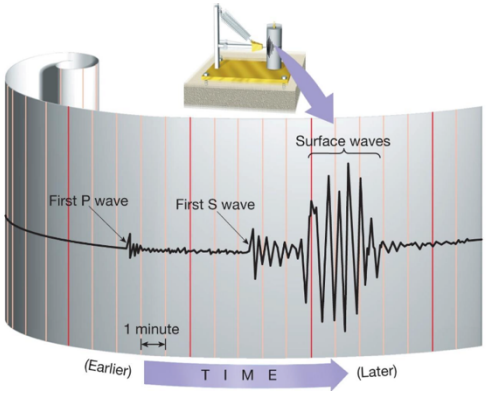
- Las rocas a ambos lados de una falla se deforman almacenando energía elástica.
- Esta energía se libera cuando es mayor que la resistencia y la fricción entre las rocas de la falla.

- Precursores y réplicas:
  - En ocasiones se producen liberaciones parciales de la energía (precursores)
  - Tras el terremoto principal, pueden producirse reajustes y liberaciones secundarias de energía que provocan terremotos denominados réplicas.



⇒ **La sismología**

- El estudio de los terremotos comenzó hace unos 2000 años en China.



- Los sismógrafos son instrumentos científicos que registran las ondas generadas por el terremoto.
- Registran el movimiento de una masa fija sobre un tambor que va girando.
- Existen distintos tipos de sismógrafos, capaces de medir las ondas en 1, 2 o 3 componentes espaciales (X, Y, Z).

⇒ Los registros se denominan sismogramas.

⇒ **Ondas Sísmicas**

Las **ondas sísmicas** son oscilaciones o vibraciones que se propagan desde una fuente (como un terremoto o una explosión) a través de un medio elástico (la Tierra), transportando **energía mecánica**.

Se clasifican en dos grandes grupos: **Ondas de Cuerpo** (que viajan por el interior) y **Ondas Superficiales** (que viajan por la superficie).

1. Ondas de Cuerpo (Internas)

Se originan en el **hipocentro** o foco del sismo y viajan a través de las capas internas de la Tierra. Son cruciales para estudiar la estructura interna del planeta.

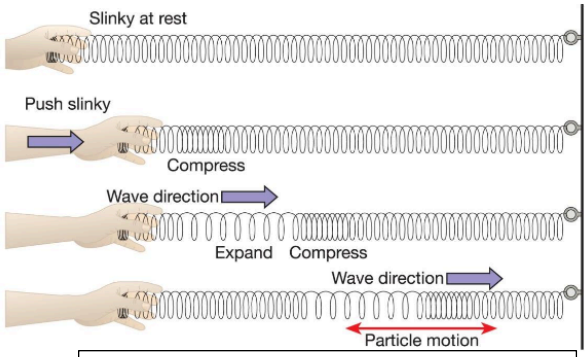
A. Ondas P (Primarias)

- **Velocidad:** Son las **más rápidas** (de ahí su nombre, Primarias), siendo las primeras en ser registradas por un sismómetro.
- **Movimiento:** Son ondas **longitudinales** (o de compresión). Las partículas de roca se comprimen y dilatan en la **misma dirección** en la que viaja la onda, de forma similar al sonido.
- **Medios:** Pueden viajar a través de **sólidos, líquidos y gases**. Su velocidad cambia según el medio que atraviesan (refracción).

B. Ondas S (Secundarias)

- **Velocidad:** Son **más lentas** que las Ondas P, llegando en segundo lugar al sismómetro.

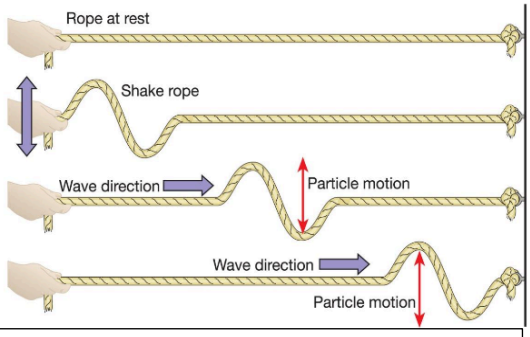
- **Movimiento:** Son ondas **transversales** (o de cizalla). Las partículas se mueven **perpendicularmente** a la dirección de propagación de la onda, creando un movimiento de cizallamiento.
- **Medios:** Solo pueden viajar a través de **sólidos**. Su incapacidad para atravesar medios líquidos (como el núcleo externo terrestre) fue una prueba fundamental para determinar la composición interna de la Tierra.



Ondas P generadas usando un slinky

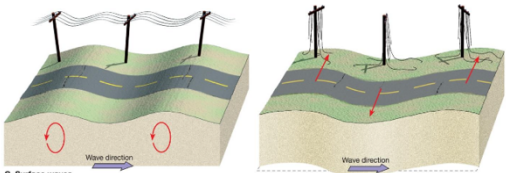
2. Ondas Superficiales

Se generan cuando las Ondas P y S alcanzan la superficie de la Tierra (el **epicentro**) y se propagan a lo largo de ella. Son las **más lentas**, pero generalmente las que causan el **mayor daño** estructural.



Ondas S generadas usando una cuerda

A. Ondas de Love (L)



- **Movimiento:** Hacen que el suelo se mueva **horizontalmente** (de lado a lado) de forma perpendicular a la dirección de propagación.
- **Efecto:** Causan desplazamientos laterales del terreno.

B. Ondas de Rayleigh (R)

- **Movimiento:** Generan un movimiento **elíptico y retrógrado** en el suelo, similar a las olas del mar.
- **Efecto:** Producen un movimiento ondulante vertical y horizontal que disminuye con la profundidad.

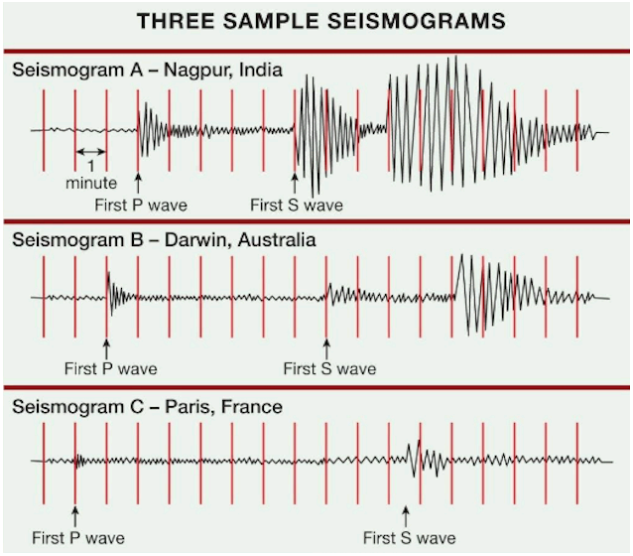
Característica	Onda P (Primaria)	Onda S (Secundaria)	Ondas Superficiales
Velocidad	Más rápida	Intermedia (aprox. la mitad de P)	Más lenta
Tipo de Onda	Longitudinal (Compresión)	Transversal (Cizalla)	Compleja (Love y Rayleigh)
Medio de Propagación	Sólido, Líquido, Gas	Solo Sólido	Superficie
Poder Destructivo	Bajo	Moderado	**Alto**

Concretando:

- Los terremotos son liberaciones bruscas de energía acumulada por deformación.
- Las ondas P y S viajan por el interior; las superficiales causan los daños.
- Los sismógrafos permiten estudiar el interior del planeta.

⇒ **LOCALIZACIÓN DEL EPICENTRO**

Esta imagen nos muestra el **método completo para localizar el epicentro de un terremoto** usando **sismogramas**, **curvas tiempo–distancia**, y finalmente **triangulación** sobre el globo.



1. Los sismogramas (izquierda) proporcionan esta información:

Vemos **tres sismogramas reales** procedentes de tres estaciones situadas en lugares muy distantes:

- **Nagpur, India**
- **Darwin, Australia**
- **París, Francia**

Cada sismograma tiene dos marcas fundamentales:

A. Llegada de las ondas P (Primarias)

- Son las primeras que alcanzan la estación.
- Viajan más rápido.
- En el gráfico se ven como son las primeras oscilaciones más pequeñas (picos menos intensos).

B. Llegada de las ondas S (Secundarias)

- Llegan después.
- Son más lentas y producen oscilaciones más amplias.
- En los sismogramas se ve claramente un aumento de la amplitud cuando llegan las S.

→ **El dato clave que se extrae aquí:**

El tiempo que pasa entre la llegada de las P y la llegada de las S. Ese intervalo se señala claramente en los tres registros, y **nos dice a qué distancia está la estación del foco del terremoto**, pero **NO** la dirección.

Observaciones importantes:

- En Nagpur, la separación entre P y S es grande.
- En Darwin, algo menor.
- En París, todavía más pequeña.

Esto significa:

👉 Nagpur está **más lejos** del epicentro.

👉 Darwin está a **distancia intermedia**.

👉 París está **más cerca**.

2. Curva tiempo–distancia (arriba a la derecha): muestra cómo se convierte el tiempo en kilómetros:

La gráfica representa:

- **Eje vertical:** tiempo en minutos (de llegada desde el terremoto).
- **Eje horizontal:** distancia en kilómetros (o millas).
- Dos curvas: una de ondas **P** (azul) y otra de ondas **S** (roja).

→ **Con esta gráfica** se busca en el eje vertical la **diferencia de tiempo P–S** observada en cada estación.

Ejemplo (visual):

- Si la diferencia es de 5 minutos → buscamos 5 en el eje vertical.
- Allí vemos cuántos kilómetros corresponden según las curvas (se ve una línea punteada indicando un ejemplo).

Este proceso es esencial para convertir el tiempo del sismograma en **distancia exacta al epicentro**.

3. La triangulación (abajo a la derecha): localizar el epicentro:

Una vez sabemos las distancias:

- Desde Nagpur, India
- Desde Darwin, Australia
- Desde París, Francia

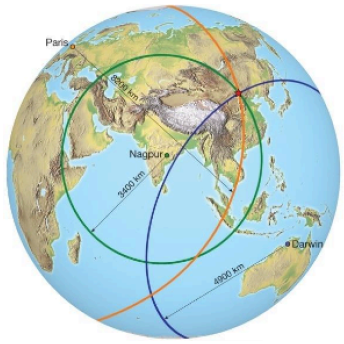
→ Cada distancia se representa en el mapa como **un círculo** alrededor de cada estación.

Regla geológica fundamental: El epicentro estará **en algún punto del círculo**, pero no sabemos en cuál.

Al dibujar tres círculos:

- Uno desde Nagpur
- Uno desde Darwin
- Uno desde París

👉 **El único punto donde los tres círculos se cruzan es el epicentro del terremoto.**



Esto se ve claramente en el globo:

- Los tres círculos (de colores distintos) se cruzan en un punto concreto.
- Ese punto es la localización precisa del terremoto.

Es el método oficial usado por todos los institutos sismológicos.

→ **Resumen riguroso del proceso completo:**

1. **Cada estación registra las ondas sísmicas.**
   Se identifica la llegada de P y después de S.
2. **Se calcula la diferencia temporal P–S.**
   Ese intervalo crece con la distancia.
3. **Se usa la gráfica tiempo–distancia** para convertir ese intervalo en kilómetros.
4. **Se trazan círculos** alrededor de cada estación con su radio correspondiente.
5. **El punto donde coinciden los tres círculos es el epicentro.**

Este método se llama **triangulación sísmica** y es la técnica estándar en sismología moderna.

⇒ **EL TAMAÑOS DE LOS TERREMOTOS: MAGNITUD E INTENSIDAD**

Existen dos formas de medir el tamaño de los terremotos:

- **Magnitud:** estima la cantidad de energía liberada en el foco del terremoto.
- **Intensidad**: mide el tamaño del terremoto en un punto determinado en función de los efectos y destrozos en superficie causados por el terremoto.

Para ello:

- Escala Richter
- Escala de Mercalli
- Magnitud del momento (Mw) es la escala moderna más fiable.

- Energía liberada
- Frecuencia de terremotos

→ **EL TAMAÑO DE LOS TERREMOTOS**:

- **Escalas de magnitud:**
  - La **Escala de Richter (ML)** está basada en la mayor amplitud de las ondas sísmicas:

$$M = \log_{10} A + 3\log_{10}(8\Delta t) - 2.92 = \log_{10}\left(\frac{A \cdot \Delta t^3}{1.62}\right)$$

  - Tiene en cuenta la disminución de la amplitud en función de la distancia al epicentro.
  - La mayor magnitud registrada ha sido de 8.9.
  - Las intensidades menores de 2 no son sentidas por el ser humano.
  - Cada unidad de la escala implica un incremento de diez veces la amplitud de la onda y 32 veces en la energía liberada.
  - La **magnitud de momento (Mw)** se determina a partir del momento sísmico, que es una cantidad proporcional al área de ruptura (i.e., al tamaño de la falla geológica que rompió) y al deslizamiento que ocurra en la falla.

Intensidad	Magnitud
I	1 a 2
II	2 a 3
III	3 a 4
IV	4
V	4 a 5
VI	5 a 6
VII	6
VIII	6 a 7
IX	7
X	7 a 8
XI	8
XII	Mayor a 8

Relación intensidad-magnitud de los sismos

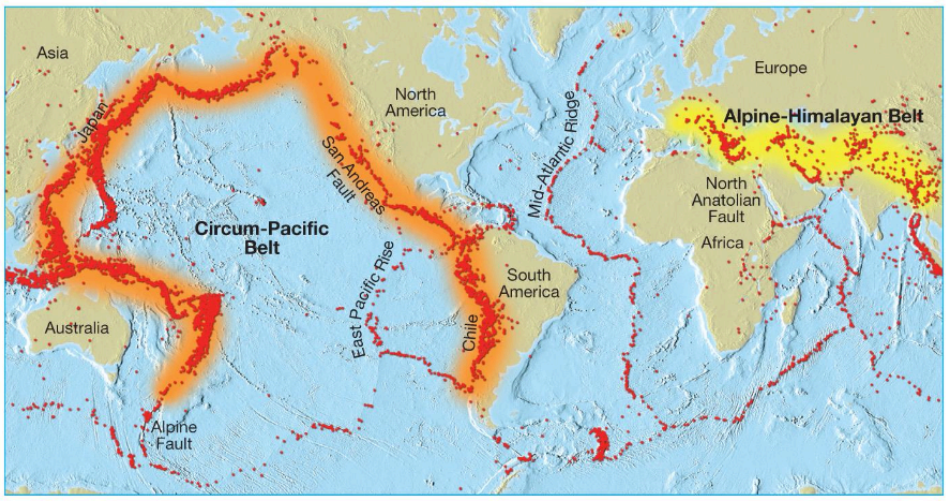
- **Escalas de intensidad:**
  - **Escala Modificada de Mercalli** desarrollada a partir del grado de destrucción de los edificios por los terremotos de California (Estados Unidos).
  - La intensidad resultante puede no mostrar el grado real del terremoto.

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	
I. Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II. Muy Leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
VI. Fuerte	Sentido por todos
VII. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII. Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general.
X. Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
XI. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
XII. Catastrófico	Destrucción total

⇒ **PREDICCIÓN Y CINTURÓN DE TERREMOTOS**

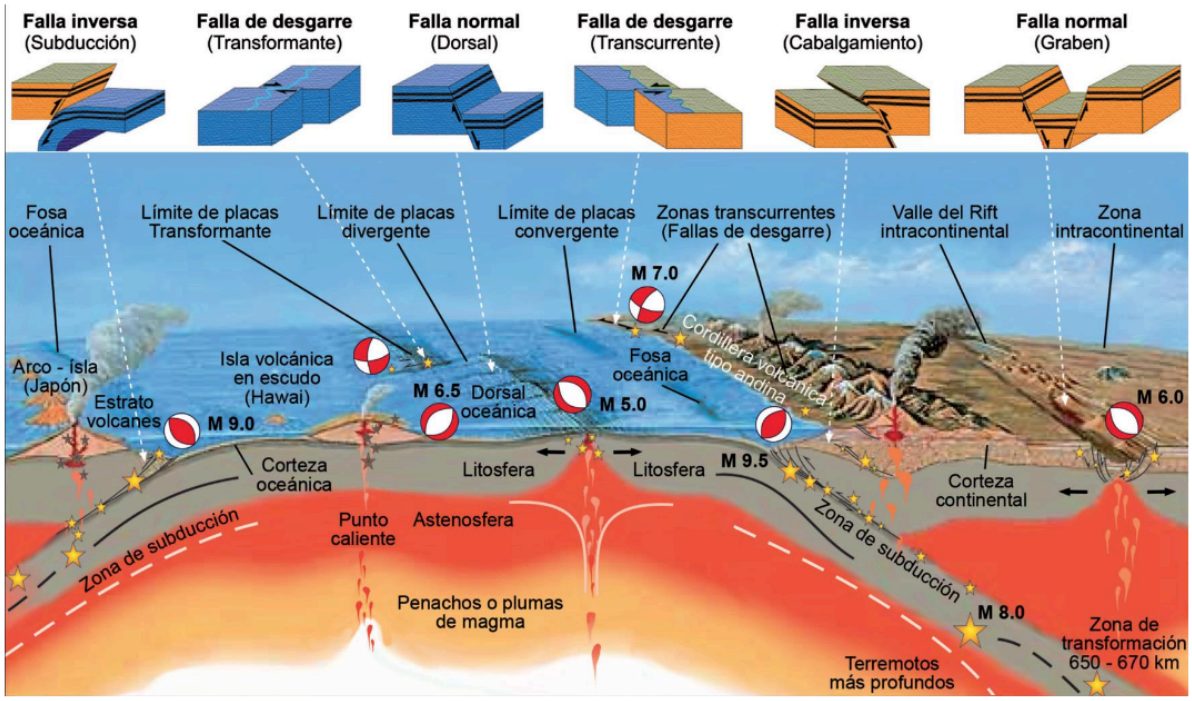
Aquí vemos el cinturón de los terremotos:

- Los terremotos grandes son difíciles de predecir.
- El 95% de la energía sísmica es liberada en:
  - El cinturón Circumpacífico, conocido como "Anillo de Fuego".
  - La región del Mediterráneo hasta el complejo de la cordillera de los Himalaya.
  - Las dorsales oceánicas.



⇒ **PROFUNDIDAD DE LOS TERREMOTOS**

- Los terremotos ocurren a profundidades de entre 5 y 700 km.
- El foco de los terremotos se clasifica en someros o superficiales (menos de 70 km de profundidad), intermedios (entre 70 y 300 km de profundidad), y profundos (más de 300 km de profundidad).
- Existen patrones en la distribución de los terremotos según su profundidad:
  - Los terremotos someros ocurren asociados a las dorsales oceánicas.
  - Prácticamente todos los terremotos profundos ocurren en el cinturón Circumpacífico y en particular a lo largo de las grandes fosas oceánicas.
- Por tanto, la distribución de los terremotos está fuertemente relacionada con los límites de las placas litosféricas y el tipo de borde.
- Esta es una de las evidencias que apoyan la teoría de la Tectónica de Placas.



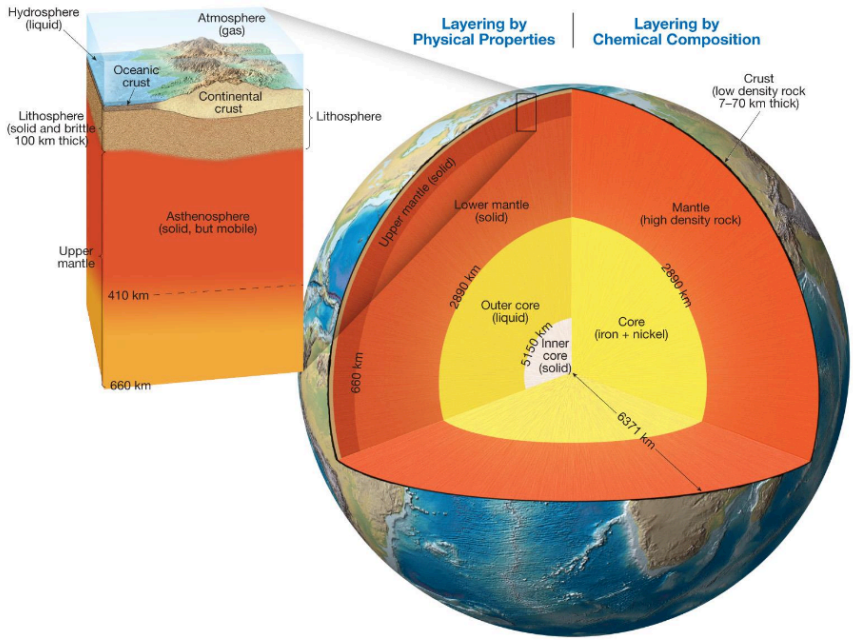
→ **Qué quiere transmitir**
- Terremotos someros → dorsales.
- Intermedios y profundos → zonas de subducción.
- La profundidad sísmica es prueba clara de la tectónica de placas.

⇒ **INTERIOR DE LA TIERRA**

Estructura interna según la <u>composición</u> de sus capas:

- Corteza (continental y oceánica) ⟶ Hasta los 70 km de profundidad
  - → Continental:
    - Ligera
    - Granítica
    - 7 km
  - → Oceánica:
    - Densa
    - Basáltica
    - 70 km
- Manto ⟶ hasta los 2900 km de profundidad.
  - → Semisólida a sólida
  - → Composición: peridotita

- Núcleo ⟶ hasta los 6370 km de profundidad.
  → El externo es líquido
  → El interno es sólido
  → Composición: Hierro y Níquel



Estructura según las <u>propiedades físicas</u> de sus capas:

- Litosfera: hasta 250 km de profundidad
  → Sólido y rígido
  → Corteza y manto superior
- Astenosfera: hasta los 600 km de profundidad
  → Semifundido y plástico
  → Manto superior
- Manto inferior: hasta los 2900 km de profundidad
  → Sólido muy caliente
  → Cierta capacidad de flujo
- Núcleo exterior: hasta los 5100 km de profundidad
  → Líquido y metálico a alta temperatura
  → En convección
- Núcleo interior:
  → Sólido y metálico, a alta temperatura
  → Comportamiento rígido

¿Cuál es el resumen?:

- El planeta es químicamente estratificado.
- Su comportamiento mecánico explica el movimiento de las placas.
- Las ondas sísmicas permiten saberlo.

Tema 4: MINERALOGÍA Y PETROLOGÍA: DE LOS ÁTOMOS A LAS ROCAS

CONTENIDOS DEL TEMA: Mineralogía y Petrología: de los átomos a las rocas"

👉 **El tema comienza desde lo microscópico (átomos, minerales) hasta lo macroscópico (rocas y ciclo geológico)**.

Bloques principales:

1. **Definiciones básicas**
2. **Minerales formadores de rocas**
3. **Clasificación de las rocas**
4. **Rocas ígneas**
5. **Rocas sedimentarias**
6. **Rocas metamórficas**
7. **Ciclo de las rocas**

Este es un tema **estructural**, y fundamental para entender todo lo demás en Geología.

⇒ **DEFINICIONES BÁSICAS**

Las rocas constan de cristales o granos más pequeños denominados minerales.

→ **Ideas fundamentales:**

1. **Una roca NO es una sustancia simple**
   Es un **agregado** de minerales.
2. **Los minerales pueden ser:**
   - microscópicos (no visibles a simple vista),
   - macroscópicos (cristales visibles).
3. **La roca depende de sus minerales**
   - su color,
   - su dureza,
   - su resistencia,
   - su aspecto.
4. **Textura**
   Se define como:
   - tamaño,
   - forma,
   - disposición de los minerales.

   👉 La textura **no es estética**, es información geológica.
5. **Mensaje clave del profesor**
   La textura es el reflejo de los procesos geológicos que la crearon.

Es decir: **mirando una roca se puede deducir su historia**.

⇒ **DEFINICIONES FUNDAMENTALES**

Estos son los conceptos básicos que se deben de manejar con precisión.

→ **MINERAL**

Sustancia:

- sólida,
- inorgánica,

- natural,
- con **composición química definida**,
- con **estructura cristalina tridimensional ordenada**.



👉 Esta definición excluye:

- líquidos (mercurio),
- materiales artificiales (vidrio),
- sustancias orgánicas (petróleo).

→ **CRISTAL**

Es **la forma geométrica externa** que adopta un mineral **cuando crece libremente**.

Importante:

- No todos los minerales aparecen como cristales bien formados.
- El cristal refleja la **estructura interna**.

→ **VIDRIO**

Sólido inorgánico **amorfo**:

- no tiene estructura cristalina,
- ejemplo típico: vidrio volcánico (obsidiana).

👉 Esto es clave para diferenciar **minerales** de **vidrios**.

→ **ROCA**

Agregado natural:

- coherente o no,
- formado por uno o más componentes sólidos:
  - minerales,
  - clastos,
  - fósiles, etc.



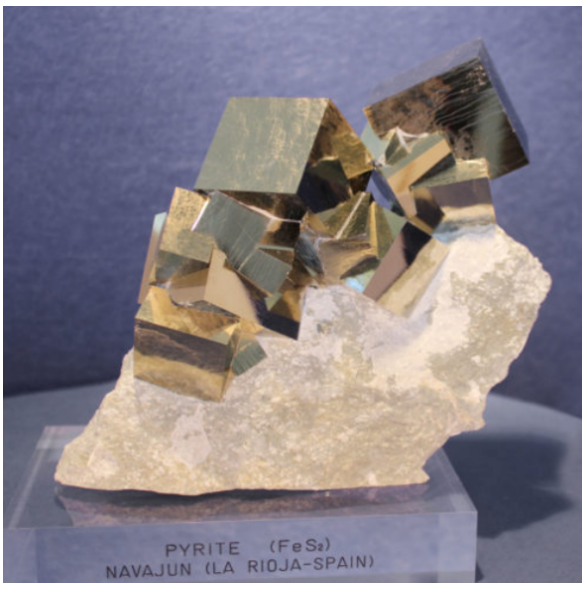
Las fases minerales y sus relaciones texturales reflejan los ambientes físico-químicos por los que ha pasado la roca.

Es decir: **la roca es un archivo geológico**.

⇒ **MINERALES FORMADORES DE ROCAS**

Para entender las rocas, primero hay que dominar los minerales, para ello vamos a estudiar los minerales desde cinco puntos de vista:

1. **4.2.1. Los minerales y su estructura**
   → cómo están organizados los átomos.
2. **4.2.2. La formación de minerales**
   → cómo se generan en la naturaleza.
3. **4.2.3. Propiedades de los minerales**
   → cómo los reconocemos e identificamos.
4. **4.2.4. Clasificación de los minerales**
   → cómo se ordenan en grandes grupos químicos.
5. **4.2.5. Los minerales como recurso**
   → utilidad económica, industrial y energética.



→ Etimología de la Pirita: Procede su nombre del vocablo griego "*pyr*" que significa fuego, ya que al golpearla con cualquier otro mineral hace saltar chispas.

- Dureza: 6-6,5
- Color: Amarillo, pajizo
- La Raya: Verdoso-negro
- Lustre: Metálico
- Fractura: Concoidea, irregular

⇒ LOS MINERALES Y SU ESTRUCTURA (DEFINICIÓN RIGUROSA)

Esta es la **definición completa y académica de mineral**, que se debe de manejar con precisión.

→ Definición esencial

Un mineral es una sustancia que cumple **todas** estas condiciones:

1. **Sólido a temperatura ambiente**
   - Se excluyen líquidos (mercurio) y gases.
   - El hielo es un caso discutido, pero se suele aceptar.
2. **Origen natural**
   - No se consideran minerales los materiales artificiales:

vidrio, porcelana, diamantes sintéticos.

3. **Inorgánico**
   - No procede directamente de seres vivos.
   - No incluye compuestos orgánicos típicos (petróleo, carbón, ámbar).
4. **Estructura cristalina**
   - Los átomos están ordenados en una **red tridimensional repetitiva**.
   - Por eso se excluyen los **vidrios volcánicos**.
5. **Composición química definida y homogénea**
   - Fórmula química concreta (con pequeñas variaciones).
   - Cualquier fragmento del mineral es químicamente igual a otro.

Idea clave para retener:

👉 **Si falla una sola de estas condiciones, NO es un mineral.**

→ Elementos químicos y enlace en los minerales

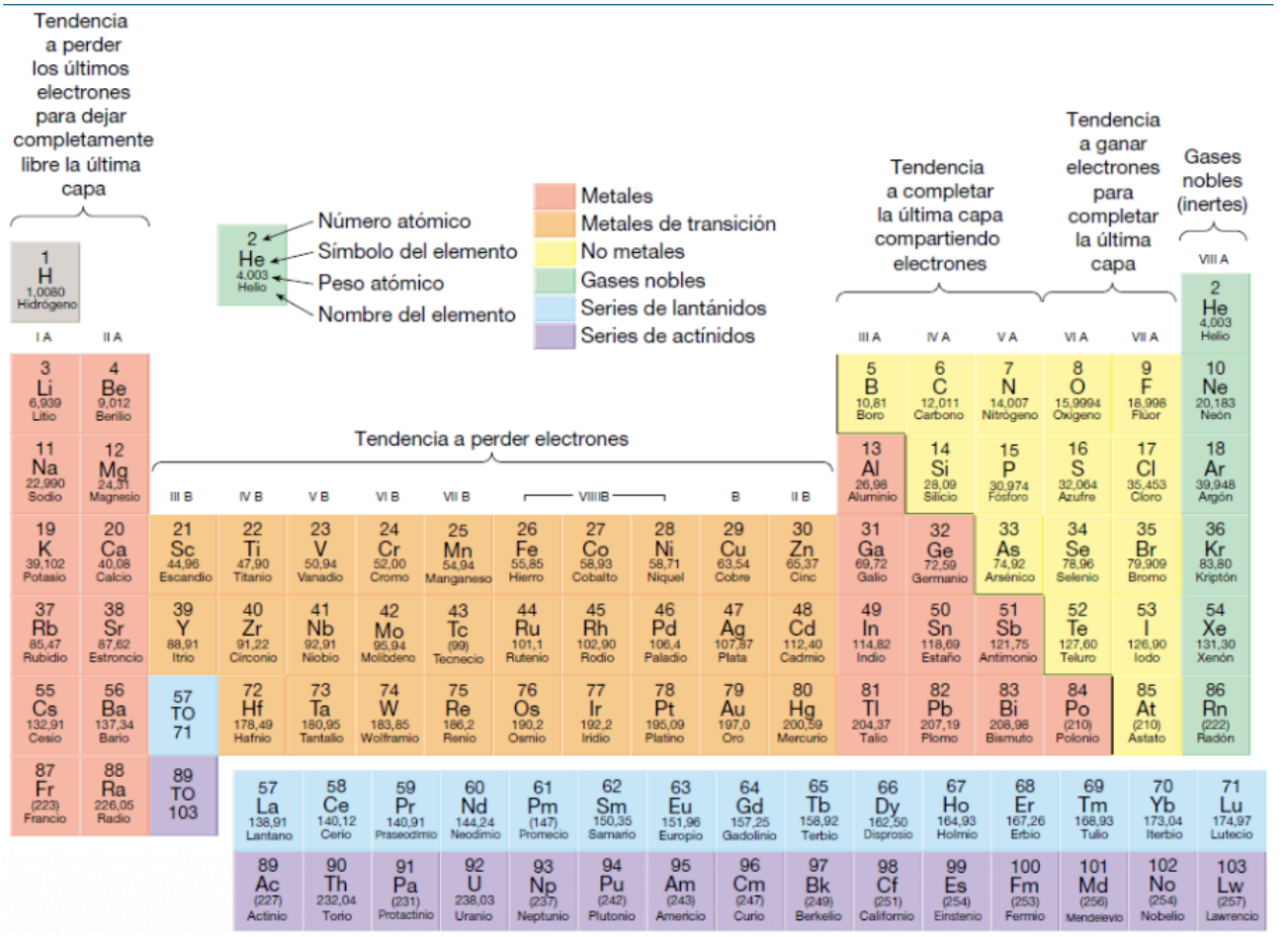
Aquí entramos en la **base atómica** de los minerales.

Ideas fundamentales

1. **Elementos naturales**
   - De los 112 elementos conocidos, **92 aparecen de forma natural**.
2. **La mayoría de los minerales son compuestos**
   - Formados por **dos o más elementos**.
   - Excepto los elementos nativos: Au (oro), S (azufre), C (carbono).
3. **Regla del octeto**
   - Los átomos tienden para alcanzar estabilidad a:
     - ganar,
     - perder,
     - o compartir electrones
4. **Iones**
   - Un **ion** es un átomo o molécula que ha ganado o perdido uno o más electrones, adquiriendo así una carga eléctrica positiva (catión) o negativa (anión).
   - Los enlaces iónicos neutralizan la repulsión eléctrica.

5. **Número atómico**
    - Igual al número de protones.
    - Determina el comportamiento químico del elemento.

👉 **La estructura de los minerales depende de cómo se enlazan los átomos**, no solo de qué átomos hay.



⇒ LA FORMACIÓN DE MINERALES

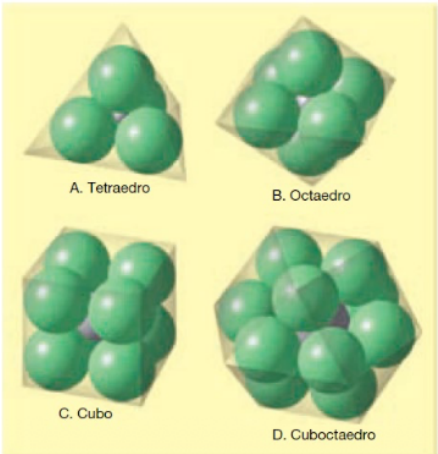
Veamos ahora cómo se organizan los átomos cuando se forma un mineral.

→ Ideas fundamentales

1. **La estructura cristalina no es aleatoria**

La disposición de los átomos sigue **reglas físicas y químicas muy estrictas**.

2. **Neutralidad eléctrica**
    - Cada ion se rodea del **mayor número posible de iones de carga contraria**.
    - El conjunto debe ser eléctricamente neutro.
    - Esto explica por qué ciertos iones siempre aparecen asociados.
3. **Red cristalina**
    - Los átomos se repiten de forma regular en el espacio.
    - Esa repetición genera una **estructura tridimensional ordenada**.
    - La repetición explica:
        - la forma externa del cristal,
        - la exfoliación,



- la dureza,
- muchas propiedades físicas.

→ **La forma del cristal es consecuencia directa de la organización interna de los átomos.**

→ **Polimorfismo e isomorfismo**

Estos conceptos son **muy importantes**:

👉 **Polimorfos**

- **Misma composición química**,
- **estructura cristalina diferente**.



Ejemplo clásico:

- **Diamante** y **grafito**

Ambos son carbono puro, pero:

- el diamante es extremadamente duro,
- el grafito es blando.

👉 La diferencia está **solo en cómo se ordenan los átomos**.

👉 **Isomorfos**

- **Composición química distinta**,
- **estructura cristalina igual**.



Ejemplo:

- **Halita (NaCl-cloruro de sodio)**
- **Galena (PbS- azufre y plomo)**

👉 Tienen estructuras similares porque los iones encajan de manera parecida. **La estructura cristalina puede ser más importante que la composición química.**

⇒ **PROPIEDADES DE LOS MINERALES (VISIÓN GENERAL)**

⇒ **Cómo identificar minerales en la práctica**.

Propiedades observables o medibles fácilmente:

⇒ **Forma cristalina**: Expresión externa del orden interno. Solo se desarrolla bien si el cristal crece con espacio suficiente.

⇒ **Brillo:** Aspecto de la luz reflejada:

- Metálico.
- No metálico: vítreo, perlado, sedoso, resinoso, mate.

⇒ **Color:** Inherente: propio del mineral.

- Exótico: debido a impurezas (muy común).
- ⚠️ El color puede engañar.

⇒ **Raya:** Color del mineral en polvo. Es mucho más fiable que el color externo.

⇒ **Dureza:** Resistencia al rayado. Se mide con la **escala de Mohs**.

⇒ **Exfoliación o fractura:**

- Exfoliación: rotura según planos definidos.
- Fractura: rotura irregular.
- No confundir con la forma cristalina.

⇒ **Peso específico:** Relación entre el peso del mineral y el del agua. Ayuda a distinguir minerales visualmente parecidos.

👉 Además, hay otras **propiedades especiales**:

- magnetismo,
- sabor (halita),
- tacto,
- olor,
- elasticidad,
- reacción con ácidos,
- birrefracción.

⇒ **Forma cristalina: ejemplos de tres minerales clásicos:**



Cuarzo

- Sistema trigonal.
- Estructura: hélices de tetraedros SiO_2.
- Forma típica: prismas hexagonales con pirámides.



Halita

- Sistema cúbico.
- Red de Na^+ (sodio con carga positiva) y Cl^- (cloro con carga negativa.
- Forma típica: cubos perfectos.



Calcita

- Sistema romboédrico.
- Capas de CO_3^{2-} con Ca^{2+}.
- Formas: romboedros y escalenoedros.

👉 **La forma externa de cada uno refleja la estructura interna.**

⇒ **Propiedad: dureza según la escala de Mohs**

- La escala de Mohs es una relación de diez minerales ordenados por su dureza, de menor a mayor. Se utiliza como referencia de la dureza de un material dado.
- Es una escala **relativa**, no absoluta.
- Un mineral raya a los que están por debajo.

Dureza de Mohs	Mineral	Comentario
1	Talco	Se puede rayar facilmente con la uña
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre
4	Flourita	Se puede rayar con un cuchillo de acero
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo
6	Ortosa	Se puede rayar con una lija para el acero
7	Cuarzo	Raya el vidrio
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de silicio
10	Diamante	El material más duro en esta escala (rayado por otro diamante).



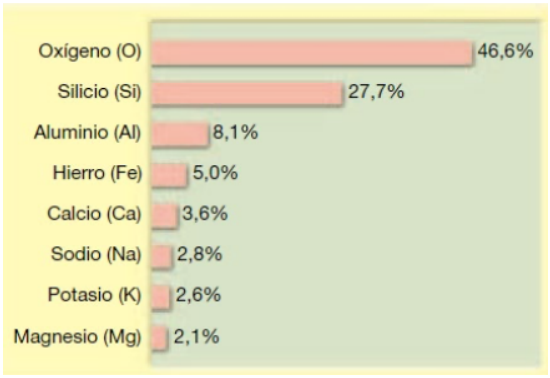
Ejemplo:

- Cuarzo (7) raya al feldespato (6).
- El diamante (10) raya a todos.

⇒ CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES (VISIÓN GENERAL)

Entramos en el **criterio químico** para ordenar los minerales.

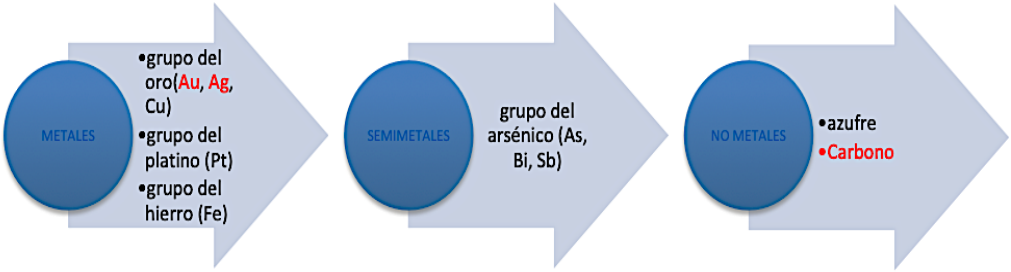
1. Se conocen **más de 5.300 minerales**, pero **solo una docena** son realmente abundantes y **formadores de rocas**.
2. **Ocho elementos:** O (oxígeno), Si (silicio), Al (aluminio), Fe (hierro), Ca (calcio), Na (sodio), K (potasio), Mg (magnesio) son los que constituyen la mayor parte de la corteza terrestre.
3. La clasificación clásica del geólogo, mineralogista, J. D. Dana, 1837, clasificó los minerales en base a sus **radicales aniónicos**[1].
4. Forman dos grandes grupos:
   - **Silicatos** (los más abundantes; >90% de la corteza).
   - **No silicatos** (todos los demás).



👉 **Mensaje de fondo:** para entender la Tierra, hay que dominar **los silicatos**.

⇒ **Clase I: Elementos nativos:** Minerales formados por **un solo elemento químico** sin combinarse con otros o en pequeñas cantidades.

Subgrupos:
- **Metales**
- **Semimetales**
- **No metales**



👉 Suelen ser **escasos**, pero pueden concentrarse en **placeres**[2] por procesos sedimentarios.

---

[1] El **radical aniónico** es un anión (un grupo de átomos con carga negativa) que, además, posee un electrón desapareado.
Características principales:
- **Carga Negativa:** Como anión, tiene un exceso de electrones, lo que le confiere una carga negativa neta.
- **Electrón Desapareado:** La presencia de un electrón "soltero" (indicado con un punto, como en OH·) es lo que define su naturaleza radicalaria.
- **Alta Reactividad:** Esta característica lo hace muy inestable y propenso a reaccionar para completar su octeto electrónico, a menudo actuando como electrófilo o nucleófilo.
- **Origen:** Se forman por la pérdida de uno o más átomos de hidrógeno de un ácido, o por la adición de un electrón a una molécula neutra, como el radical hidroxilo (·OH) que gana un electrón para formar el anión hidróxido (OH^-).

Ejemplos:
- **Radical hidroxilo (·OH):** Un radical neutro con un electrón desapareado. Al ganar un electrón se convierte en el ión hidróxido **(OH^-)**, que es un anión pero ya no un radical.
- **Radical benceno (C_6H_5·):** Un radical neutro; si gana un electrón se convierte en el anión benceno ($C_6H_5^-$), un radical aniónico.
- **Radicales de ácidos:** Al ionizar un ácido, se forman radicales que son aniones, por ejemplo, del ácido clorhídrico (HCl) se forma el radical cloruro (Cl^-).

[2] Un **placer** (o yacimiento de tipo placer) es una acumulación de minerales valiosos mezclados con arena o grava en el lecho de un río, una playa o un desierto.
Imaginemos que el oro está esparcido en una montaña dentro de toneladas de roca común. El "placer" es el lugar donde ese oro se ha juntado después de que la montaña se desgastara.

⇒ **Clase II: Sulfuros:** Combinación de **metal + azufre (S^{2-})**.

Importancia

- Muchos son **menas metálicas** (hierro, cobre, plomo, zinc…).

Argentita	SAg_2
Calcosina	SCu_2
Niquelita	AsNi
Pirita	**S_2Fe**
Millerita	SNi
Cobaltina	SAs(CoFe)
Bornita	S_4Cu_5Fe
Pentlandita	S(Fe,Ni)
Marcasita	S_3Fe
Galena	**SPb**
Covelina	Scu
Arsenopirita	SAsFe

Arsenopirita	SAsFe
Pentlandita	S(Fe,Ni)
Marcasita	S_3Fe
Covelina	Scu
Arsenopirita	SAsFe
Blenda	SZn
Cinabrio	**SHg**
Molibdenita	S_3Mo
Calcopirita	S_2CuFe
Rejalgar	SAs
Calaberita	Te_3Au
Estanina	S_4Cu_2FeSn

Oropimente	S_3As_2
Silvanita	$Te_{3((}Au,Ag)$
Greenockita	SCd
Estibina	S_3Sb_2
Scutterudita	$As_3(Co,Ni,,Fe)$
Pirrotina	SFe_{1-x}
Bismutina	S_3Bi_2

Ejemplos destacados

- **Pirita (FeS_2), Galena (PbS), Blenda (ZnS), Calcopirita ($CuFeS_2$), Cinabrio (HgS)**.

Rasgo común: brillo metálico y alta densidad.

Pirargirita	**S_3SbAg_3**
Proustita	S_3AsAg_3
Tetraedrita	$S_{13}Sb_4Cu_{12}$
Tennantita	$S_{13}As_4Cu_{12}$
Enargita	S_4AsCu_3
Bournonita	$S_3SbPbCu$
Jamesonita	$S_{14}Sb_6Pb_4Fe$

⇒ **Clase III: Sulfosales**

Minerales compuestos por un metal + un **semimetal (As, Sb, Bi)** + azufre.



Clave distintiva

- **Estructura cristalina más compleja** que los sulfuros.

Ejemplos

- **Pirargirita**, **Proustita**, **Tetraedrita**, **Enargita**.

⇒ **Clase IV: Óxidos e hidróxidos**

Los óxidos e hidróxidos son minerales en los que el oxígeno (O^{2-}) o el grupo hidroxilo (OH^-) se combina con uno o varios metales.

- Son **menas** de muchos metales ya que son considerados de gran importancia económica.

Ejemplos:

- **Hematites (Fe_2O_3), Magnetita (Fe_3O_4), Corindón (Al_2O_3), Rutilo (TiO_2)**.
- Hidróxidos: **Goethita**, **Bauxita**.

$TIPO\ A_2O$	Cuprita Cu_2O	Cincita ZnO					
$TIPO\ AB_2O_4$	Espinela $ZnAl_2O_4$	Ganhita $MgAl_2O_4$	**Magnetita Fe_3C_4**	Franklinita $(Zn,Fe,Mn)(Fe,Mn)_2O_4$	Cromita $FeCr_2O_4$	Crisoberilo $BeAl_2O_4$	Columbita $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$
$TIPO\ A_2O_3$	**Hematites Fe_2O_3**	Corindón Al_2O_3	Ilmenita $FeTiO_3$				
$Tipo\ AO_2$	Rutilo TiO_2	**Pirolusita MnO_2**	Casiterita SnO_2	Uraninita UO_2			
HIDROXIDOS	Brucita $Mg(OH)_2$	Manganita MnO(OH)	Psilomelana $(Ba,H_2O)_2Mn_5O_{10}$	Diaspora HAlO2	Gohetita $HFeO_2$	Bauxita hidratos de Al	





⇒ **Clase V: Haluros**

La clase química de los haluros se caracteriza por el predominio de iones halógenos electronegativos: Metal + **halógeno** (Cl^-, F^-, Br^-, I^-).

Halita	**ClNa**
Silvina	**ClK**
Querargirita	ClAg
Criolita	AlF_6Na_3
Fluorita	**F_2Ca**
Atacamita	$ClCu_2(OH)_3$
Carnalita	$Cl_3KMg•6H_2O$



Rasgos:

- **Suaves,** de **baja dureza** y **solubles** en agua.

Ejemplos

- **Halita (NaCl)**, **Fluorita (CaF_2)**, **Silvina (KCl)**.

⇒ **Clase VI: Carbonatos**

Estos minerales se caracterizan por tener un anión complejo formado por carbono combinado con oxígeno, generalmente con cationes metálicos.

Anión **CO_3^{2-}**.

Importancia:

- Son muy comunes y con gran valor económico.

GRUPO DE LA CALCITA	
Calcita	**CO_3Ca**
Magnesita	CO_3Mg
Siderita	CO_3Fe
Rodocrosita	**CO_3Mn**
Smithsonita	CO_3Zn





GRUPO DEL ARAGONITO	
Aragonito	**CO_3Ca**
Witherita	CO_3Ba
Estroncianita	CO_3Sr
Cerusita	CO_3Pb



Malaquita	**$CO_3Cu_2(OH)_2$**
Azurita	$(CO_3)_2Cu_3(OH)_2$

GRUPO DE LA DOLOMITA	
Dolomita	**$(CO_3)_2CaMg$**
Ankerita	$(CO_3)_2CaFe$



Grupos:

- **Calcita ($CaCO_3$)** y afines.
- **Dolomita $(CO_3)_2$ CaMg**.
- **Malaquita**, **Azurita**.

⇒ **Clases VII y VIII: Nitratos y Boratos**

El nitrógeno pentavalente forma con el oxígeno grupos iónicos planos, triangulares, muy parecidos al grupo de los carbonatos.

Nitratos (NO_3^-)

- Ejemplos: **Nitratina (nitrato de Chile) NO3Na**, Nitro (**Salitre**) **NO3K**.
- Ambientes áridos.





Boratos (BO_3^{3-})

Los boratos son susceptibles de formar grupos aniónicos polimerizados en forma de hojas, cadenas y grupos múltiples aislados.

- Ejemplos:

Borax	**$B_4O_7•10H_2O$**
Ulexita	$B_5O_9NaCa•8H_2O$
Colemanita	$B_5O_{11}Ca_2•5H_2O$



⇒ **Clase IX: Fosfatos, arseniatos y vanadatos**

El fósforo pentavalente, forma un grupo tetraédrico con el oxígeno PO4-3. El Arsénico y el Vanadio forman unidades similares.

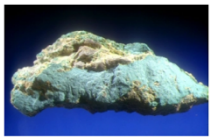
Ejemplos clave:

- **Apatito** (fundamental en biología y geología),

GRUPO DEL APATITO	
Apatito	**$(PO_4)_3Ca_5(F,Cl,OH)$**
Piromorfita	$(PO_4)_3Pb_5Cl$
Vanadita	$(VO_4)_3Pb_5Cl$
Vivianita	$(PO_4)_2Fe_3 \bullet 8H_2O$
Eritrina	$(AsO_4)_2CO_3 \bullet 8H_2O$
Ambligonita	$(PO_4)_2LiAlF$
Lazulita	$(PO_4)_2(Mg,Fe)Al_3(OH)_2$
Escorzalita	$(PO_4)_2(Fe,Mg)Al_3(OH)_2$
Wavellita	$(PO_4)_2Al_3(OH)_3 \bullet 5H_2O$
Turquesa	**$(PO_4)_4(OH)_8CuAl_6 \bullet 2H_2O$**
Autunita	$(PO_4)_2Ca(UO_2)_2 \bullet 10H_2O$
Carnotita	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \bullet 3H_2O$

Trifilita	$PO_4(Fe,Mn)Li$
Liofilita	$PO_4(Mn,Fe)Li$
Monacita	$PO_4(Ce,La,Y,Th)$





⇒ **Clase X: Sulfatos y cromatos**

El enlace azufre-oxígeno de este grupo iónico es muy fuerte y **covalente** (tipo de enlace químico donde dos átomos **comparten uno o más pares de electrones** para lograr estabilidad, formando moléculas).

El radical sulfato SO4 2- es la unidad estructural fundamental de los sulfatos minerales.





Ejemplos:

SULFATOS ANHIDROS	
GRUPO DE LA BARITINA	
Baritina	**SO_4Ba**
Celestina	SO_4Sr
Anglesita	SO_4Pb
Anhidrita	SO_4Ca
Crocoita	CrO_4Pb

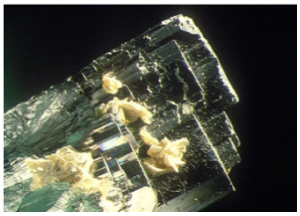
SULFATOS HIDRATADOS	
Antlerita	$SO_4Cu_3(HO)_4$
Yeso	**$SO_4Ca \bullet 2H_2O$**
Epsomita	$SO_4Mg \bullet 7H_2O$
Calcantita	$SO_4Cu \bullet 5H_2O$
Alunita	$(SO_4)_2 \bullet 2KAl_3(OH)_6$

⇒ **Clase XI: Tungstanatos y molibdatos**

Los iones hexavalentes de Tungsteno y Molibdeno son mucho mayores que los del azufre hexavalente y el fósforo pentavalente, por lo que cuando forman con el oxígeno grupos iónicos, los cuatro oxígenos coordinados no ocupan los vértices de un tetraedro regular, sino que forman un grupo algo aplastado de contorno cuadrado.

Rasgo

- Estructuras "aplastadas", no tetraédricas.



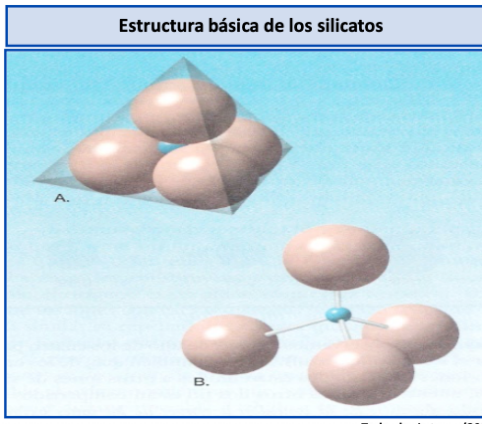
Ejemplos

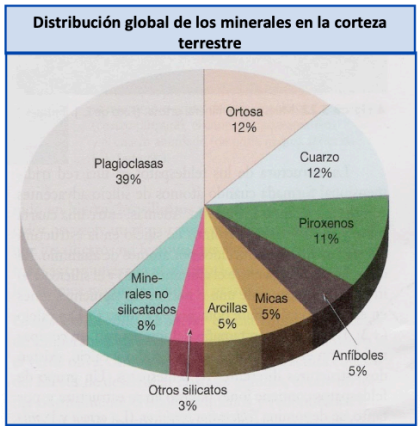
Wolframita	**$WO_4(Fe,Mn)$**
Scheelita	WO_4Ca
Wulfenita	MoO_4Pb

⇒ **Clase XII: Silicatos**

Idea central:

- Son **el grupo más abundante de la tierra**.
- Todos ellos tienen una estructura básica: **tetraedro SiO_4^{4-}**.





- Constituyen **>90% de la corteza**.

⇒ **Clasificación de los silicatos en función de la estructura cristalina**

Según cómo se enlazan los **tetraedros**:

- **Nesosilicatos** (aislados),
- **Inosilicatos** (cadenas),
- **Filosilicatos** (láminas),
- **Tectosilicatos** (redes).

Además:

- **Silicatos claros** (ricos en Si, Al, Na, K).
- **Silicatos oscuros** (ricos en Fe, Mg).

	Mineral		Fórmula idealizada	Exfoliación	Estructura de silicatos
Nesosilicatos	Olivino		$(Mg, Fe)_2SiO_4$	Ninguna	Tetraedro simple
Inosilicatos	Grupo de los piroxenos (augita)		$(Mg,Fe)SiO_3$	Dos planos en ángulos rectos	Cadenas sencillas
	Grupo de los anfíboles (hornblenda)		$Ca_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Dos planos a 60° y 120°	Cadenas dobles
Filosilicatos	Micas	Biotita	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Un plano	Láminas
		Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$		
	Feldespatos	Ortosa	$KAlSi_3O_8$	Dos planos a 90°	Redes tridimensionales
		Plagioclasa	$(Ca,Na)AlSi_3O_8$		
Tectosilicatos	Cuarzo		SiO_2	Ninguna	

⇒ **Grupo del olivino**



Rasgos distintivos

- Oscila entre el color verde oliva y el negro.
- Brillo vítreo.
- **Fractura concoidea**.
- Típico de rocas máficas y ultramáficas.

⇒ **Grupo de los piroxenos**





Rasgos distintivos (ej. augita)

- Color negro y opaco.
- **Dos exfoliaciones de ~90°**.
- Cristales cortos y achatados.

⇒ **Grupo de los anfíboles**



Rasgos destacados (ej. hornblenda)

- Color del verde oscuro al negro.
- **Exfoliaciones en ángulos de 60° y 120°**.
- Cristales alargados.



⇒ **Biotita**

- Mica oscura.
- **Exfoliación perfecta en una dirección**.
- Láminas brillantes.

⇒ **Moscovita**



- Mica clara.
- Brillo perlado.
- Excelente exfoliación en una dirección
- Láminas finas, transparentes.

⇒ **Feldespatos**





Rasgos

- Dos planos de exfoliación ~90°.
- Dureza ~6 escala Mohs.
- Brillo vítreo/perlado.
- Forma rectangular, caras lisas y brillantes.

⇒ **Cuarzo**









Rasgos

- Duro y resistente.
- **Sin exfoliación**.
- Fractura concoidea.
- Cristales hexagonales con extremos piramidales.
- Color por impurezas.

⇒ LOS MINERALES COMO RECURSOS (MENAS METÁLICAS)

⇒ **Idea central:**



Muchos minerales son **fuente de metales**. Cuando un mineral permite extraer un metal con rentabilidad económica se le denomina **mena**.

Ejemplos clave (qué metal se obtiene)

- **Hierro**: magnetita, oligisto (hematites), limonita
- **Aluminio**: bauxita
- **Mercurio**: cinabrio
- **Cobre**: calcopirita
- **Titanio**: rutilo
- **Estaño**: casiterita
- **Zinc**: blenda
- **Plomo**: galena
- **Tántalo y niobio**: coltán



👉 Por todo ello se puede decir que la geología es base de la **industria metalúrgica**.

⇒ **Minerales industriales no metálicos**

Hay minerales que proporcionan importantes materias primas para la industria, pero no son metales. De modo que no todos los minerales útiles son metálicos.

Ejemplo de usos destacados:

- **Cuarzo**: componentes electrónicos y placas fotovoltaicas
- **Yeso**: en la construcción (cementos, enlucidos, escayolas) y en medicina para inmovilizar fracturas y moldes dentales.
- **Halita**: condimentos de alimentación y conservante alimentario
- **Azufre**: plaguicidas, ácido sulfúrico o pólvora

Clave: enorme impacto económico y social.

⇒ **Minerales para obtener energía**

Entre los minerales involucrados en la obtención de energía destacan la uraninita o pechblenda, de la que se extrae el uranio usado en las centrales nucleares, o la lepidolita, ambligonita-montebrasita, de las que se extraen el litio con el que se fabrican las pilas y baterías.

⇒ **Minerales para uso ornamental**

Son cristales de algunos minerales, cuya dureza y transparencia permiten su uso en joyería. Las cuatro gemas principales son el rubí y el zafiro (variedades de corindón), la esmeralda (variedad de berilo) y el diamante.



👉 Los minerales, como se ve, también tienen valor **estratégico y cultural**.

⇒ INTRODUCCIÓN A LA CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

→ **Ideas clave**

- Los **minerales** son los componentes básicos de las rocas.
- Las **rocas** son agregados naturales formados por uno o más minerales.
- El microscopio permite identificar minerales y **texturas** no visibles a simple vista.

⇒ 4.3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

- Roca = agregado mineral.
- La **textura** y la **composición** permiten clasificar rocas.

⇒ 4.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

→ **Tres grandes grupos:**

1. **Ígneas (magmáticas)**
2. **Sedimentarias**
3. **Metamórficas**

→ **Distribución de la corteza**

- **Superficie**: predominan las rocas sedimentarias, el 66% de la superficie total de la corteza. El restante 34% se lo reparten casi por igual rocas magmáticas y metamórficas.
- **Volumen de la corteza**: las rocas sedimentarias solo suponen el 4,8%.
- **Volumen global de la Tierra**: sedimentarias ~0,013–0,027%.

Clave: lo que vemos en superficie no refleja el volumen real.

⇒ ROCAS ÍGNEAS Y MAGMATISMO (ÍNDICE)

Subbloques:
- Conceptos básicos
- Clasificación general
- Texturas
- Composición
- Clasificación específica
- Origen y evolución de magmas

⇒ 4.4.1. Conceptos básicos

→ Ideas esenciales
- Las rocas **ígneas** se forman mediante la **solidificación y enfriamiento de magma o lava**.
- El magma se genera por **fusión parcial** en corteza y manto superior.
- Asciende por **flotación** (menor densidad); cuando alcanza la superficie es **lava**.
- El magma se enfría lentamente dentro de la corteza y el manto superior, favoreciendo el crecimiento de los cristales (cristalización). Los minerales que cristalizan primero son de mayor tamaño.

→ Componentes del magma:
- Fase líquida (fundido)
- Fase sólida (silicatos)
- Fase gaseosa (volátiles- metamorfismo)

⇒ CLASIFICACIÓN GENERAL DE ROCAS ÍGNEAS

- **Plutónicas (intrusivas)**: Solidificación del magma en el subsuelo (altas temperaturas y presiones) en periodos dilatados de tiempo. Enfriamiento lento, grano grueso.
- **Volcánicas (extrusivas)**: Solidificación del magma en la superficie (temperaturas y presiones ambientales) por enfriamiento rápido y grano fino.
- **Subvolcánicas (filonianas)**: Conductos de emisión del magma hacia la superficie. Características intermedias.

→ Textura ígnea: factores de control

Se clasifican por su textura y composición mineral.

Textura: descripción del aspecto general de la roca en función del tamaño, forma y ordenamiento de sus cristales.

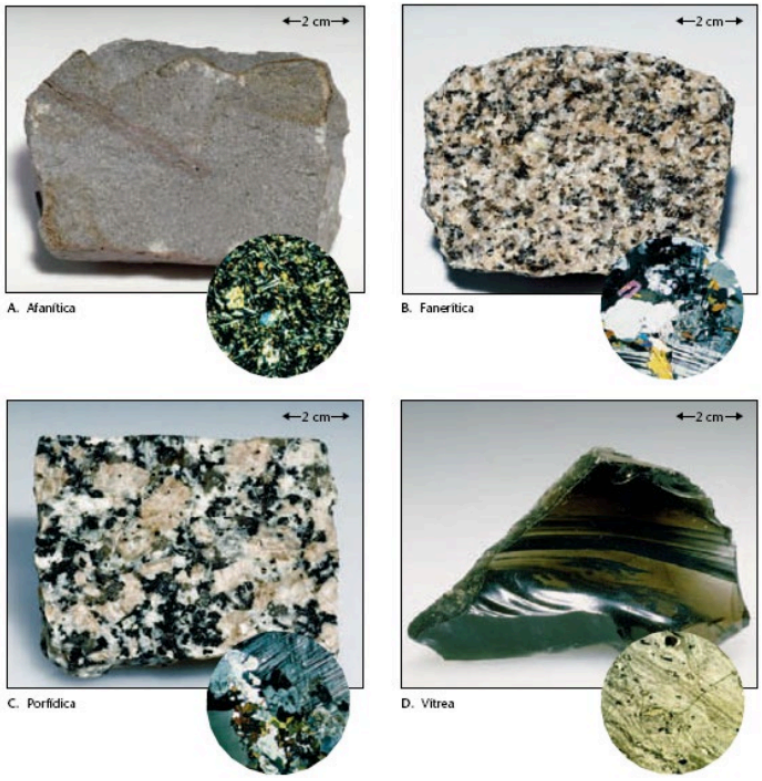
→ Factores que controlan la textura:
- **Velocidad de enfriamiento:** movilidad de iones – núcleos cristalinos. Vidrios (sin red cristalina).
- **Cantidad de sílice:** se forman estructuras largas y en cadena antes de que la cristalización sea completa, impidiendo el transporte iónico y aumentando la viscosidad del magma.
- **Cantidad de gases disueltos: a**l escaparse del magma originan huecos denominados vesículas.

⇒ TIPOS DE TEXTURAS ÍGNEAS (I)

- **Afanítica (grano fino):** los cristales que constituyen las rocas afaníticas son demasiado pequeños para que los minerales individuales se distingan a simple vista. Descripción según color.

  Presencia de vesículas. Parte superior de las coladas o masas pequeñas superficiales.

- **Fanerítica (grano grueso):** cristales del mismo tamaño y reconocibles a simple vista. Masas en profundidad.
- **Porfídica**: grandes cristales incrustados en una matriz de cristales más pequeños.
- **Fenocristales – pasta**. Roca = pórfido. **Cambios de condiciones de presión y temperatura**.
- **Vítrea**: aspecto similar a una pieza oscura de vidrio corriente o manufacturado. **Erupciones, lavas viscosas**.



⇒ **Tipos de texturas ígneas (II)**

- **Piroclástica**: fragmentos de roca angulares englobados en una matriz de cenizas de color claro. Texturas más parecidas a rocas sedimentarias. **Erupciones**.

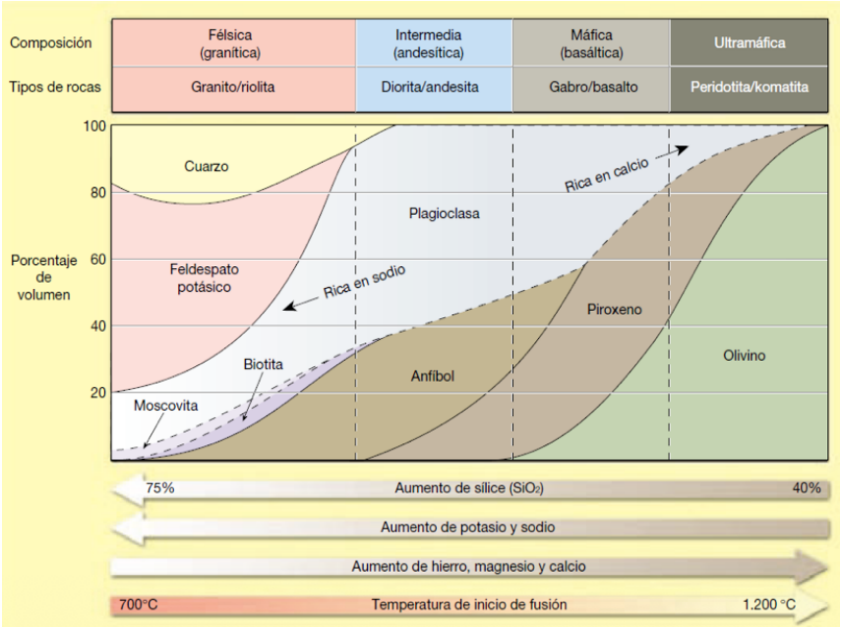


- **Pegmatítica**: cristales interconectados todos mayores de un centímetro de diámetro. **Márgenes de rocas plutónicas, venas en la roca huésped.**



⇒ **COMPOSICIÓN ÍGNEA**

- La composición de las rocas ígneas se refiere a la mezcla química y mineralógica que se forma cuando el magma o la lava se enfrían. Lo más importante para clasificarlo es la cantidad de **silicatos** presente.
- Elementos principales: Si, O, Al, Ca, Na, K, Mg (suponen ≈98% en peso de muchos magmas).



⇒ **Minerales Félsicos vs. Máficos**

La composición química determina qué minerales crecerán. Se dividen en dos familias principales:

- **Minerales Félsicos (Silicatados Claros):** Son ricos en potasio, sodio y calcio. El término viene de **Fel**despato y **Sí**lice. *Ejemplos:* Cuarzo, moscovita y feldespatos.

- **Minerales Máficos (Silicatados Oscuros):** Son ricos en hierro (**Ma**gnesio y **Fe**rrum). Son más densos y pesados. *Ejemplos:* Olivino, piroxeno, anfíbol y biotita.

⇒ CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS

👉 Ejemplos y tablas:

Composición química		Granítica (félsica)	Andesítica (intermedia)	Basáltica (máfica)	Ultramáfica
Minerales dominantes		Cuarzo Feldespato potásico Plagioclasa rica en sodio y calcio	Anfíbol Plagioclasa rica en sodio y calcio	Piroxeno Plagioclasa rica en calcio	Olivino Piroxeno
Minerales accesorios		Anfíbol Moscovita Biotita	Piroxeno Biotita	Anfíbol Olivino	Plagioclasa rica en calcio
TEXTURA	Fanerítica (grano grueso)	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
	Afanítica (grano fino)	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita (poco común)
	Porfídica	«Porfídico» precede cualquiera de los nombres anteriores siempre que haya fenocristales apreciables			Poco comunes
	Vítrea	Obsidiana (vidrio compacto) Pumita (vidrio vacuolar)			
	Piroclástica (fragmentaria)	Toba (fragmentos de menos de 2 mm) Brecha volcánica (fragmentos de más de 2 mm)			
Color de la roca (basado en el % de minerales oscuro)		0% a 25%	25% a 45%	45% a 85%	85% a 100%



- **Obsidiana**, **pumita**, **andesita**, **diorita**.



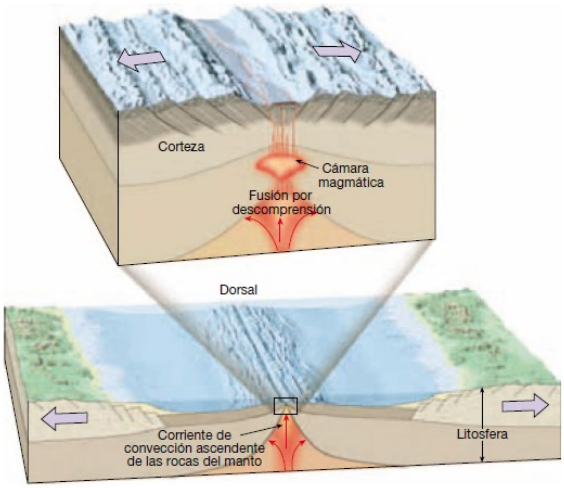


- **Rocas piroclásticas**: toba, brecha volcánica.
- Están compuestas por fragmentos expulsados durante una erupción volcánica.

- **Criterios**: textura + composición.

⇒ ORIGEN DE LOS MAGMAS

Los magmas se generan por fusión de rocas sólidas en la corteza y el manto superior.

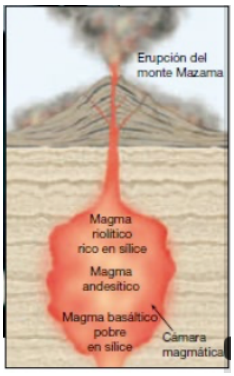




Factores que favorecen la fusión:

- **Calor** (gradiente geotérmico 20-30 ºC / km).
- **Presión** (Mayor presión = mayor Tiempo de fusión. Presión de confinamiento. Fusión por descompresión).
- **Volátiles** (el agua y otros volátiles bajan el punto de fusión. Mayor presión = incremento en la acción de los volátiles).

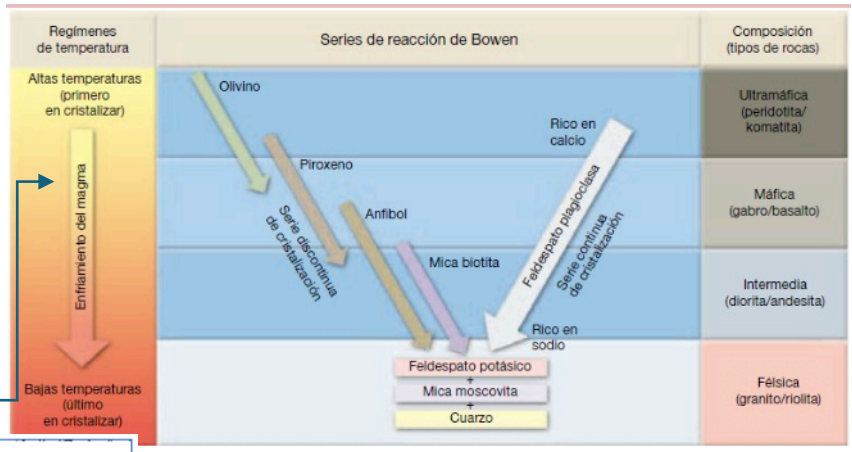
⇒ EVOLUCIÓN DE LOS MAGMAS



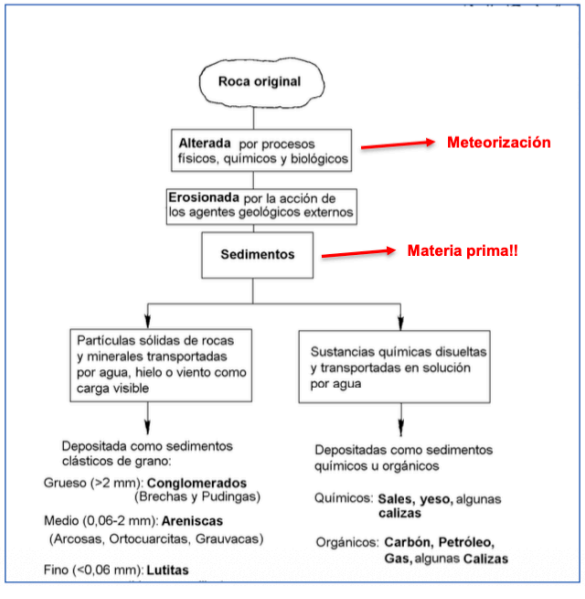
Procesos:

- Diferentes rocas ≠ diferentes magmas
- **Enriquecimiento** en sílice a medida que evoluciona un magma.
- **Evolución de los minerales** que siguen en contacto con el fundido.

- **Serie de reacción de Bowen:** Enriquecimiento progresivo en sílice.



(Laboratorio – composición media).



⇒ ROCAS SEDIMENTARIAS - INTRODUCCIÓN

→ Ideas clave

- **Meteorización**: fragmentación física (desintegración) o alteración química de las rocas.
- **Erosión**: eliminación física del material por agentes dinámicos como el agua, el viento o el hielo.
- Se acumulan en capas planas
- Aportan información de la historia de la Tierra (fósiles, ambientes).

⇒ METEORIZACIÓN

METEORIZACIÓN FÍSICA

Realizada por fuerzas físicas. Conservan las características del material original.

Resultado: Aumento de la superficie de contacto entre la roca y los agentes exógenos

Mecanismos:
- Gelifracción (cuñas de hielo)
- Descompresión (lajeamiento)
- Expansión térmica
- Actividad biológica (humanos, raíces, animales)

RESULTADOS DE LA METEORIZACIÓN

Partículas disgregadas que pueden ser sedimentadas
Iones en solución
Suelos y mantos de meteorización
Depósitos residuales

→ **Física:**
- Gelifracción, descompresión, expansión térmica, biológica.
- Aumenta superficie de ataque.

METEORIZACIÓN QUÍMICA

Transformación química

Resultado: Puesta en disolución de iones y creación de nuevos minerales estables en condiciones atmosféricas

Mecanismos:
- Disolución
- Hidrólisis: reemplazo de iones por H
- Oxidación: reacción del O con Fe. Hematita y Limonita.

Temperaturas cálidas y humedad.

→ **Química:**
- Disolución, hidrólisis, oxidación.
- Climas cálidos y húmedos.
- Descamación esférica.
- Hidratación de arcillas.

⇒ PROCESOS DE LITIFICACIÓN

- **Compactación**: Expulsión de los fluidos. Cierre de poros.
- **Cementación**: Precipitación entre los granos de una roca detrítica de un cemento. Calcita, sílice y óxido de hierro son los más comunes.
- **Diagénesis**: Ajustes estructurales y químicos del sedimento a ambientes de mayor presión y temperatura.

⇒ CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS

→ Detríticas



- Originadas a partir del material que se origina y es transportado en forma de clastos sólidos derivados de la meteorización mecánica y química (detritos).
- Sus componentes principales son el cuarzo y los minerales de arcilla.
- La presencia de **feldespato** y **micas** indican una rápida erosión y depositación.
- Se clasifican de acuerdo con el tamaño de grano. También da información acerca del ambiente deposicional.

Rocas sedimentarias detríticas

Textura clástica Tamaño del clasto		Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Grueso (más de 2 mm)		Grava (clastos redondeados)	Conglomerado
		Grava (clastos angulosos)	Brecha
Medio (de 1/16 a 2 mm)		Arena (Si el feldespato es abundante la roca se denomina arcosa)	Arenisca
Fino (de 1/16 a 1/256 mm)		Limo	Limolita
Muy fino (menos de 1/256 mm)		Arcilla	Lutita

→ No Detriticas



→ Originadas a partir del material soluble producido en gran medida mediante meteorización química, que luego precipita mediante procesos orgánicos o inorgánicos (sedimento químico).

→ Puede precipitar desde el agua de mar.

→ **Rocas silíceas (Sílex)**

- Se trata de una serie de rocas muy compactas y duras compuestas de sílice (SiO2) microcristalina.
- Los depósitos aparecen como nódulos de forma irregular en la caliza (origen inorgánico) y como capas de roca (origen orgánico – diatomeas y radiolarios).



Pedernal

Presencia de materia orgánica.



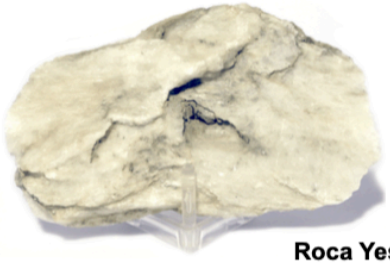
Presencia de óxido de hierro



Bandeada

→ **Evaporitas**

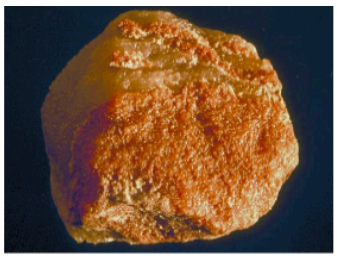
- Se generan por la saturación y posterior deposición salina en cuerpos de agua someros con conexión al mar (retroalimentación).
- Los minerales van precipitando de acuerdo con su solubilidad a medida que avanza la evaporación.



Roca Yeso
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$

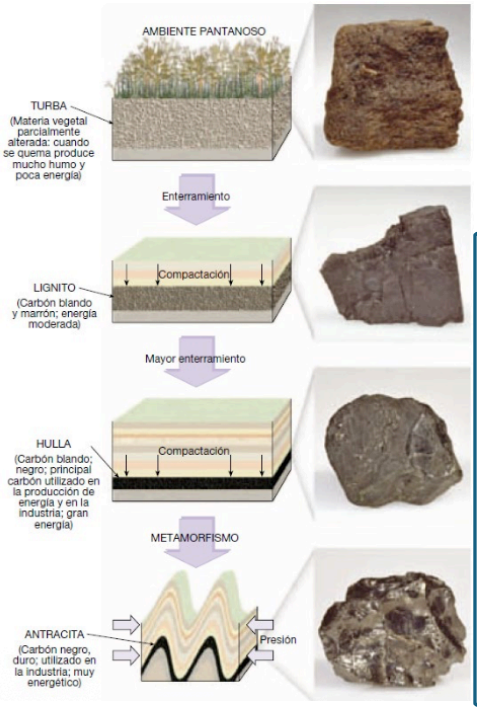


Salgema
NaCl



Silvita
(KCl)

→ **Carbón**



- Está compuesto de materia orgánica. Pueden diferenciarse estructuras vegetales.
- Es necesario un ambiente anóxico o anaeróbico (pantano).
- **Lignito** y **Hulla** son rocas sedimentarias. **Antracita** es una roca metamórfica.



⇒ USOS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

→ Construcción, industria, energía (carbón), ornamentación, etc.

GRAVAS:

- **CONSTRUCCIÓN:** áridos en hormigones prefabricados
- **PAVIMENTACIÓN:** áridos de carreteras

ARENAS:

- **CONSTRUCCIÓN: áridos en morteros y revocos**
- **FABRICACIÓN DE VIDRIO**
- **MATERIALES REFRACTARIOS: ladrillos**
- **CORRECTIVO DE SUELOS, FERTILIZANTES**
- **ABRASIVOS, FILTROS…**

ARENISCAS:

en bloque:

- **CONSTRUCCIÓN: muros y escolleras, sillería y losetas**

triturada:

- **CONSTRUCCIÓN: áridos, balasto, prefabricados**
- **FABRICACIÓN DE VIDRIO**
- **MATERIALES REFRACTARIOS: ladrillos**
- **ABRASIVOS…**

ARCILLAS Y LUTITAS:

- **MATERIALES CERÁMICOS:** lozas, porcelanas, tejas, ladrillos
- **MATERIALES REFRACTARIOS: ladrillos**
- **ARCILLAS ABSORBENTES:** fangos de sondeos (bentonitas, tierras de batán) desengrasantes
- **FABRICACIÓN DE CEMENTO**
- **ÁRIDOS LIGEROS**
- **ADITIVOS Y CARGAS…**

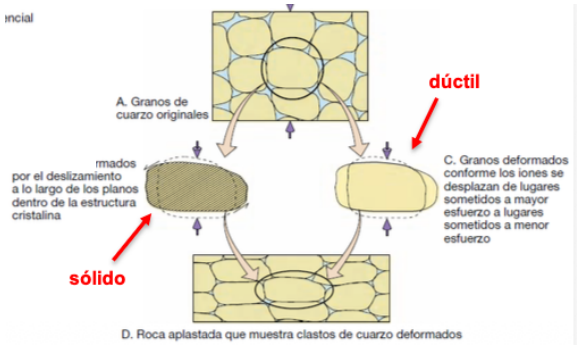
⇒ ROCAS METAMÓRFICAS

→ Metamorfismo

- Proceso que implica cambios mineralógicos, texturales y/o en la composición química de una roca en estado sólido.
- Adaptación de la roca a condiciones físicas que difieren de aquellas bajo las que la roca madre se formó.
- Los agentes del metamorfismo son la temperatura (recristalización, polimorfismo), la presión (polimorfismo, aplanamiento-alargamiento) y la introducción de fluidos químicamente activos (recristalización – metasomatismo en roca de caja).

→ Foliación

- Se dice así cuando una roca muestra una orientación preferente de sus minerales. Es producto de los esfuerzos compresivos.
  - Rotación de los granos minerales alargados o de hábito planar hacia una nueva orientación.
  - Recristalización de granos que crecen en la dirección de la orientación preferente.
  - Cambios de forma en granos equidimensionales a formas alargadas



Clasificación De Rocas Metamórficas

Filita	Aumento del metamorfismo	Foliada	Fino	Se rompe a lo largo de superficies onduladas, brillo satinado	Pizarra
Esquisto			Medio a grueso	Predominan los minerales micáceos, foliación escamosa	Filita
Gneis			Medio a grueso	Bandeado composicional debido a la segregación de los minerales	Esquisto, granito o rocas volcánicas
Migmatita			Medio a grueso	Roca bandeada con zonas de minerales cristalinos claros	Gneis, esquisto
Milonita		Poco foliada	Fino	Cuando el grano es muy fino, parece sílex, suele romperse en láminas	Cualquier tipo de roca
Metaconglomerado			De grano grueso	Cantos alargados con orientación preferente	Conglomerado rico en cuarzo
Mármol		No foliada	Medio a grueso	Granos de calcita o dolomita entrelazados	Caliza, dolomía
Cuarcita			Medio a grueso	Granos de cuarzo fundidos, masiva, muy dura	Cuarzoarenita
Corneana			Fino	Normalmente, roca masiva oscura con brillo mate	Cualquier tipo de roca

⇒ AMBIENTES METAMÓRFICOS

El metamorfismo es el proceso de transformación de una roca preexistente (llamada **protolito**) en una nueva roca con una textura y composición mineral diferente, debido a cambios drásticos en el ambiente físico y químico.

Lo más importante que se debe recordar es que el metamorfismo ocurre siempre en estado sólido. Si la roca llega a fundirse por completo, ya no es metamorfismo, sino que pasamos al ciclo de las rocas ígneas (magma).

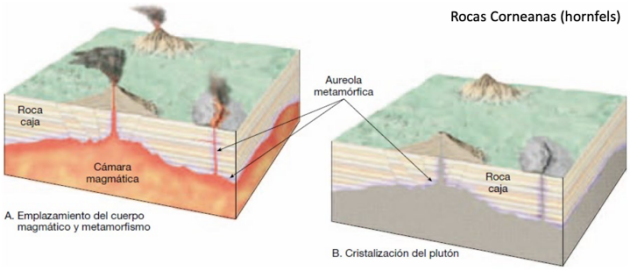
→ Según el factor dominante:

- **Temperatura**: Metamorfismo Térmico
- **Presión**: Metamorfismo bárico. Dinamometamorfismo
- **Fluidos**: Metasomatismo

→ Según el ambiente geológico:

- **Metamorfismo de contacto**

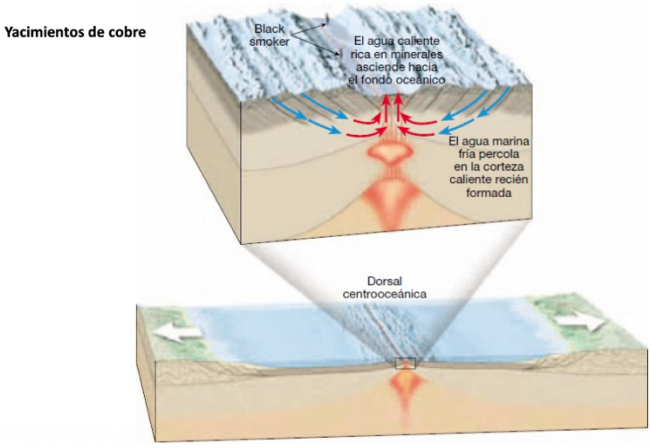
El **metamorfismo de contacto** (también llamado metamorfismo térmico) es aquel que ocurre cuando una roca preexistente entra en contacto o se encuentra muy cerca de una masa de magma en ascenso (como una intrusión ígnea o un plutón).



Básicamente, el magma "cocina" la roca circundante debido a las altísimas temperaturas, transformando su estructura y composición.

El factor determinante es la **temperatura**. El calor del magma rompe los enlaces químicos de los minerales de la roca original. Los átomos se reorganizan para formar nuevos minerales que sean estables a altas temperaturas.

- **Metamorfismo hidrotermal**

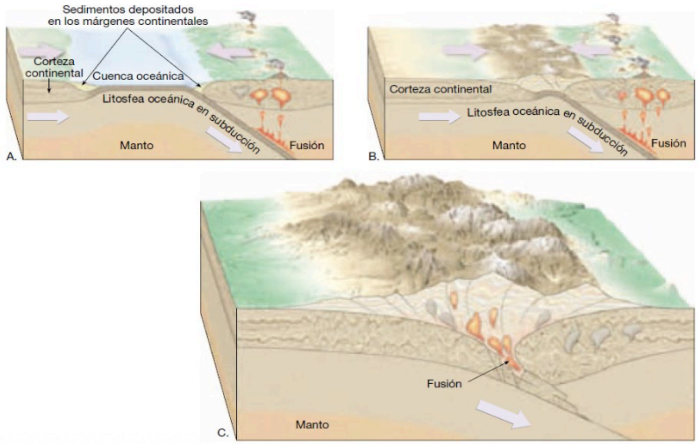


Es un proceso geológico en el que las rocas sufren cambios estructurales y mineralógicos debido principalmente al **calor extremo**, sin que la presión juegue un papel determinante.

Este fenómeno ocurre cuando una masa de magma (una intrusión ígnea como un plutón o un dique) se abre paso hacia la corteza terrestre y entra en contacto con las rocas preexistentes (llamadas "rocas caja"). El calor del magma "cocina" las rocas circundantes.

- **Metamorfismo Regional**

El **metamorfismo regional** es el tipo más común y destructivo (en el sentido de transformación) de la corteza terrestre. No ocurre en puntos aislados, sino que afecta a **grandes extensiones de roca** (miles de kilómetros cuadrados).

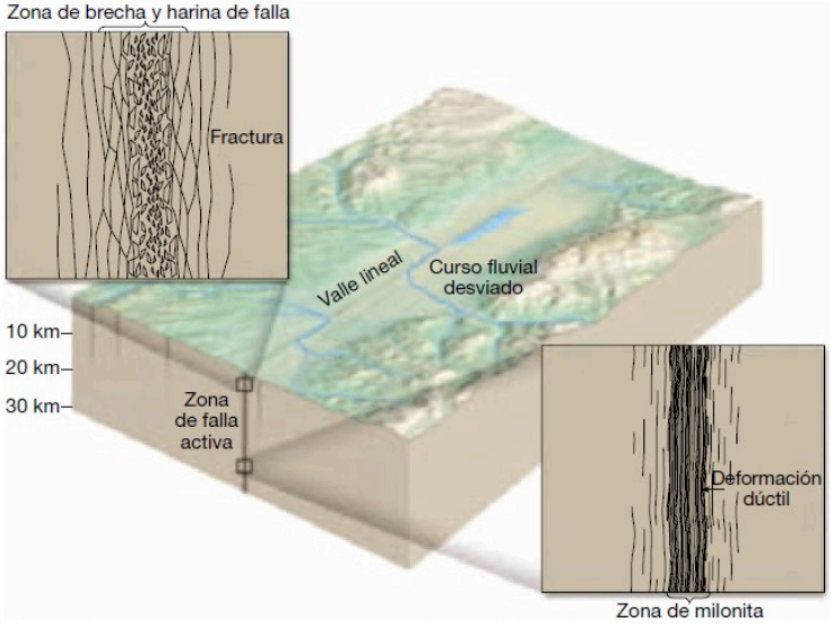


Ocurre principalmente en los límites de placas convergentes, donde las placas colisionan para formar cordilleras (orogénesis) o donde una placa se hunde bajo otra (subducción).

En estos entornos, las rocas son sometidas a dos fuerzas masivas:

- **Presión dirigida:** El "aplastamiento" tectónico.
- **Alta temperatura:** Debido a la profundidad y al calor interno de la Tierra.

- **Dinamometamorfismo**



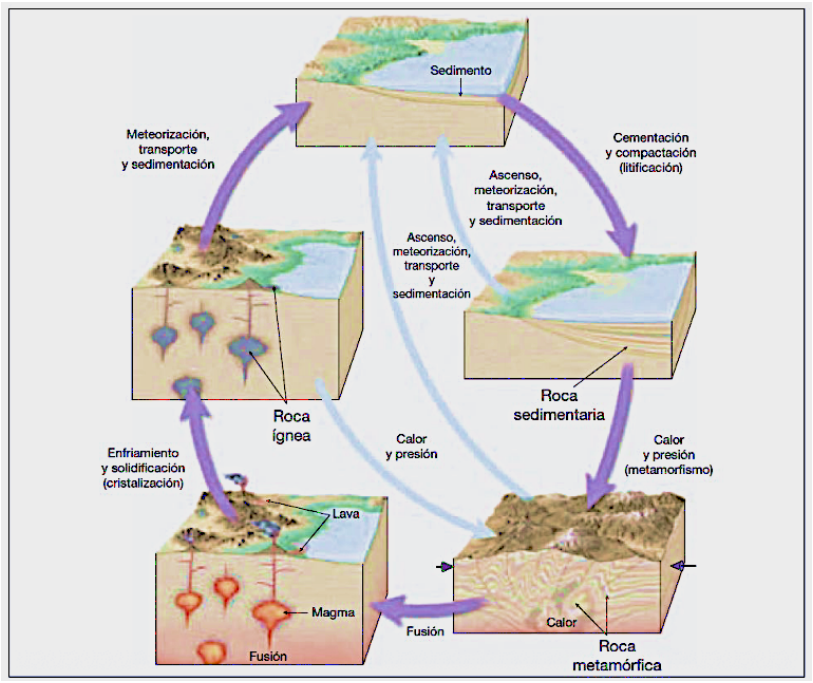
El **dinamometamorfismo**, también conocido como **metamorfismo cinético o de presión**, es el tercer gran tipo de metamorfismo. A diferencia de los anteriores, aquí el factor dominante no es el calor, sino la **presión dirigida** o el **esfuerzo cortante**.

Este proceso ocurre principalmente en **zonas de falla**, donde los bloques de la corteza terrestre se desplazan uno contra otro.

En lugar de "cocinar" la roca (como el termal) o "comprimirla" lentamente a gran escala (como el regional), el dinamometamorfismo **tritura y deforma** mecánicamente la roca.

- **Bajas profundidades:** La roca es fría y frágil, por lo que se rompe y se tritura (proceso cataclástico).
- **Grandes profundidades:** Debido a que hay algo más de temperatura y la presión es extrema, la roca se comporta de forma "plástica" y los minerales se estiran sin romperse del todo.

⇒ **EL CICLO DE LAS ROCAS**



- El ciclo de las rocas (o ciclo litológico) es un concepto geológico fundamental que describe cómo las rocas se transforman unas en otras a través del tiempo geológico. Este modelo explica que ninguna roca es permanente; todas están en un estado de reciclaje o transformación continúo impulsado por la energía interna de la Tierra (tectónica de placas) y la energía externa (el Sol y la atmósfera).
- La Tierra funciona como una "máquina de reciclaje" gigante donde no hay vestigios de un comienzo ni perspectivas de un fin.

CICLO BÁSICO: Color morado
CAMINOS ALTERNATIVOS: Color azul

Tema 5: RECURSOS GEOLÓGICOS

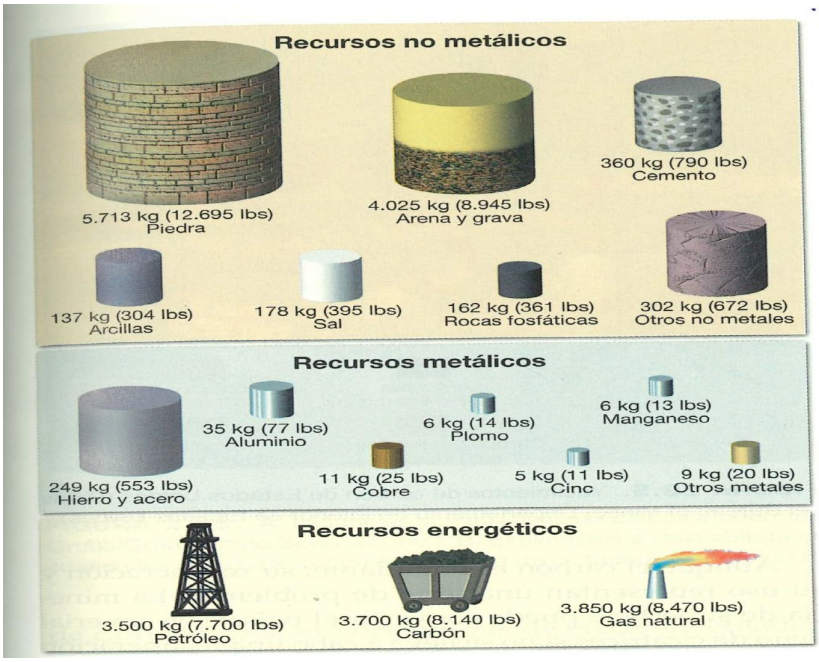
⇒ 5.1. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

Los recursos geológicos son los materiales, estructuras y procesos de la Tierra que pueden ser utilizados por la sociedad para obtener un beneficio económico, energético, industrial o social.

Están representados por los recursos minerales (metálicos y no metálicos), los recursos energéticos (hidrocarburos, nuclear, geotermia), recursos hídricos, y, actualmente, tienen mayor importancia los recursos geomorfológicos.

Los recursos geológicos incluyen materiales, estructuras y procesos útiles para la sociedad.

El consumo moderno hace que ningún país sea completamente autosuficiente.



Existen recursos renovables y no renovables. Los renovables pueden recuperarse en tiempos relativamente cortos si se gestionan bien; los no renovables tardan millones de años en formarse y, una vez consumidos, no se reponen a escala humana.

Esta distinción es clave porque condiciona la forma de explotar cada recurso y la necesidad de ahorro, reciclaje o sustitución por alternativas.

→ puntos Importantes:

- Los recursos geológicos incluyen materiales, estructuras y procesos útiles para la sociedad.
- Pueden ser renovables o no renovables según el tiempo que tardan en regenerarse.
- El consumo moderno hace que ningún país sea completamente autosuficiente.

⇒ RECURSOS METÁLICOS



Veamos algún aspecto de los recursos metálicos, es decir, de los minerales útiles que pueden concentrarse en yacimientos explotables.

En este bloque se relaciona la mineralización con procesos ígneos, metamórficos o de meteorización.

La idea central es que un metal se convierte en recurso cuando su concentración, accesibilidad y rentabilidad lo hacen aprovechable con la tecnología disponible.

→ puntos Importantes:

- Una mena (mineral o roca) es un recurso mineral útil cuando puede explotarse con beneficio.
- La concentración del elemento y la tecnología disponible condicionan su aprovechamiento.
- Los recursos metálicos se relacionan con el ciclo de las rocas.

⇒ DEFINICIONES

Los recursos minerales son el conjunto de minerales útiles disponibles comercialmente.

En este bloque se relaciona la mineralización con procesos ígneos, metamórficos o de meteorización.

La idea central es que un metal se convierte en recurso cuando su concentración, accesibilidad y rentabilidad lo hacen aprovechable con la tecnología disponible.

La diapositiva desarrolla algún aspecto de los recursos metálicos, es decir, de los minerales útiles que pueden concentrarse en yacimientos explotables.

Elemento	Concentración media (%)	Cantidad/km^3 (000 mt)	Leyes medias comunes (%)	Factor de enriquecimiento
Aluminio	8,1	250.000	30	4
Hierro	5,4	150.000	53	10
Titanio	0,5	15.000	0,7-15	2-40
Manganeso	0,1	3.000	31	310
Cromo	0,01	300	30	3.000
Niquel	0,008	200	1	130
Zinc	0,007	190	4	570
Cobre	0,005	135	0,5-4	100-800
Cobalto	0,002	60	0,4-2	200-1.000
Plomo	0,001	35	5	3.850
Uranio	0,0003	7	0,3	1.100
Estaño	0,0003	7	0,3	1.200
Molibdeno	0,0002	4	0,2	1.300
Tungsteno	0,0001	3	0,7	5.800
Plata	0,00001	0,2	0,01	1.400
Oro	0,0000003	0,01	0,001-0,0001	300-3.000

→ Para que un mineral se considere valioso, un elemento debe encontrarse en una concentración superior al nivel de su abundancia media en la corteza.

- **Ley**: es la concentración del mineral útil dentro del mineral extraído.
- **Factor de enriquecimiento**: cuánto se ha concentrado un elemento o mineral en un yacimiento respecto a su concentración promedio en la corteza terrestre.

La extracción de un yacimiento puede resultar lucrativa o perder su rentabilidad debido a cambios económicos. Si aumenta la demanda de un metal y los precios se elevan, el estado de un depósito previamente no lucrativo cambia, y se convierte en una mena. El estado de los depósitos no
lucrativos puede cambiar también si un avance tecnológico permite la extracción del elemento útil a un coste menor que antes.

La aparición de recursos minerales valiosos está estrechamente relacionada con el ciclo de las rocas.

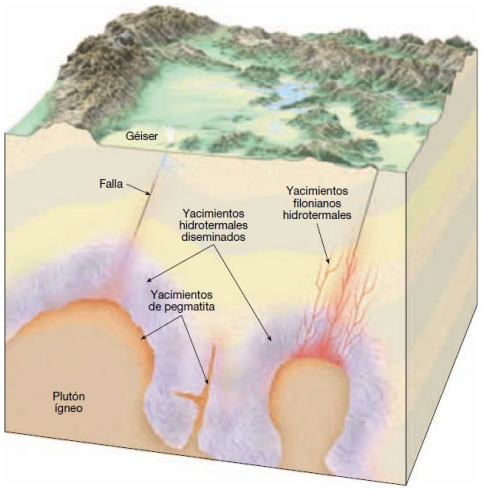
Metal	Menas principales	Contexto geológico
Aluminio	Bauxita	Producto residual de la meteorización
Cinc	Esfalerita	Yacimientos hidrotermales
Cobre	Calcopirita Bornita Calcosina	Yacimientos hidrotermales; metamorfismo de contacto; enriquecimiento por procesos de meteorización
Cromo	Cromita	Segregación magmática
Estaño	Casiterita	Yacimientos hidrotermales; depósitos de placeres
Hierro	Hematites Magnetita Limonita	Formaciones bandeadas sedimentarias; segregación magmática
Magnesio	Magnesita Dolomita	Yacimientos hidrotermales
Manganeso	Pirolusita	Producto residual de meteorización
Mercurio	Cinabrio	Yacimientos hidrotermales
Molibdeno	Molibdenita	Yacimientos hidrotermales
Níquel	Pentlandita	Segregación magmática
Oro	Oro nativo	Yacimientos hidrotermales; depósitos de placeres
Plata	Plata nativa Argentita	Yacimientos hidrotermales; enriquecimiento por procesos de meteorización
Platino	Platino nativo	Segregación magmática, depósitos de placeres
Plomo	Galena	Yacimientos hidrotermales
Titanio	Ilmenita Rutilo	Segregación magmática; depósitos de placeres
Uranio	Uraninita (Petchblenda)	Pegmatitas; depósitos sedimentarios
Wolframio	Wolframita Scheelita	Pegmatitas; yacimientos de metamorfismo de contacto; depósitos de placeres

⇒ RECURSOS MINERALES Y PROCESOS ÍGNEOS

Algunas de las acumulaciones más importantes de metales, como el Au, Ag, Cu, Hg, Pb, Pt y Ni, son originadas por procesos ígneos.

La **segregación magmática** es un proceso ígneo por el cual, al enfriarse un gran cuerpo de magma, los minerales más densos y de cristalización temprana tienden a concentrarse en la parte inferior de la cámara magmática.

Este mecanismo puede generar acumulaciones importantes de cromita, magnetita o platino. La idea fundamental es que el propio proceso de cristalización y separación dentro del magma crea concentraciones útiles de minerales.



⇒ SEGREGACIÓN MAGMÁTICA



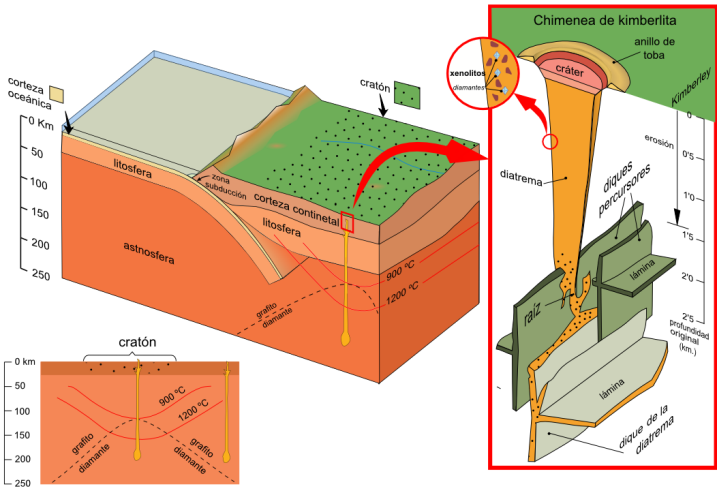
La segregación magmática es un proceso ígneo por el cual, al enfriarse un gran cuerpo de magma, los minerales más densos y de cristalización temprana tienden a concentrarse en la parte inferior de la cámara magmática.

Este mecanismo puede generar acumulaciones importantes de cromita, magnetita o platino. La idea fundamental es que el propio proceso de cristalización y separación dentro del magma crea concentraciones útiles de minerales.

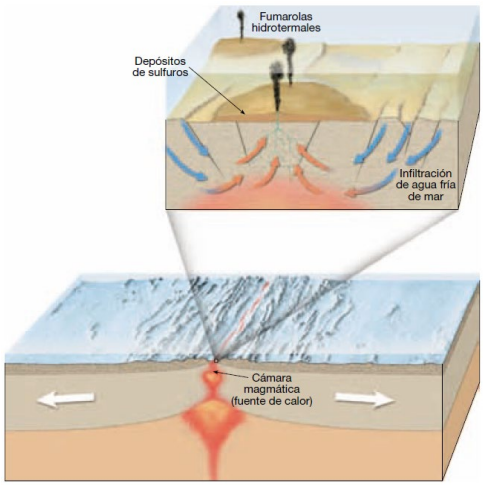
⇒ RECURSOS MINERALES Y PROCESOS ÍGNEOS

La diapositiva explica el origen de los diamantes. Se forman a gran profundidad, en el manto, bajo altas presiones, y ascienden rápidamente hasta la superficie a través de conductos volcánicos llamados pipas diamantíferas.

Es importante entender que el diamante no se forma en la corteza superficial, sino en condiciones extremas del interior terrestre. La ***kimberlita*** actúa como roca transportadora.



⇒ DEPÓSITOS HIDROTERMALES



Los depósitos hidrotermales se originan a partir de fluidos calientes ricos en metales, normalmente ligados a etapas tardías de procesos magmáticos. Estos fluidos circulan por fracturas o planos de estratificación y, al enfriarse, precipitan sulfuros y otros minerales.

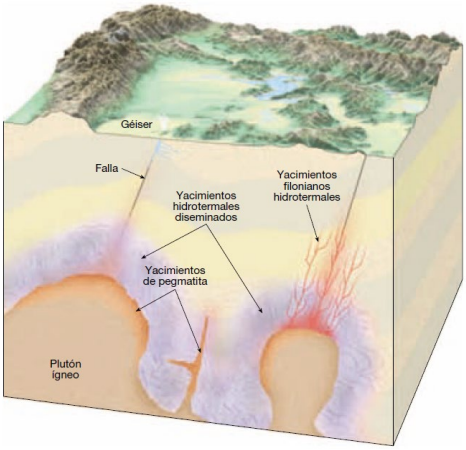
Según cómo se distribuyan pueden formarse depósitos filonianos, cuando se concentran en fracturas, o depósitos diseminados, cuando los minerales quedan repartidos en la masa rocosa.

Algunos depósitos hidrotermales se han generado por la circulación de aguas subterráneas donde el magma estaba emplazado cerca de la superficie. El agua ahora a mayor temperatura intensifica la extracción (disolución) de los iones metálicos de las rocas ígneas intrusivas y los transporta hacia arriba donde pueden depositarse como un cuerpo de mena. Puede crear depósitos filonianos, diseminados o, si alcanza la superficie depósitos superficiales.

⇒ RECURSOS MINERALES Y PROCESOS METAMÓRFICOS

La diapositiva muestra que el metamorfismo también puede generar recursos minerales útiles. En el metamorfismo de contacto, el calor de intrusiones ígneas modifica las rocas vecinas y puede favorecer nuevas concentraciones minerales.

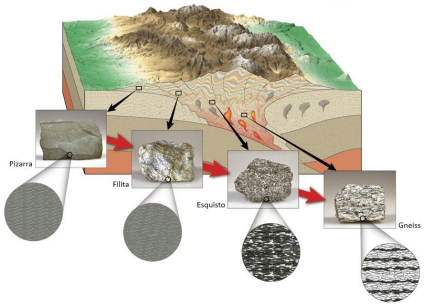
El metamorfismo regional, por su parte, actúa a gran escala bajo presión y temperatura más elevadas, creando a veces minerales o rocas útiles que se aprovechan industrialmente.



⇒ EL METAMORFISMO REGIONAL

Aquí se muestra que el metamorfismo también puede generar recursos minerales útiles. En el metamorfismo de contacto, el calor de intrusiones ígneas modifica las rocas vecinas y puede favorecer nuevas concentraciones minerales.

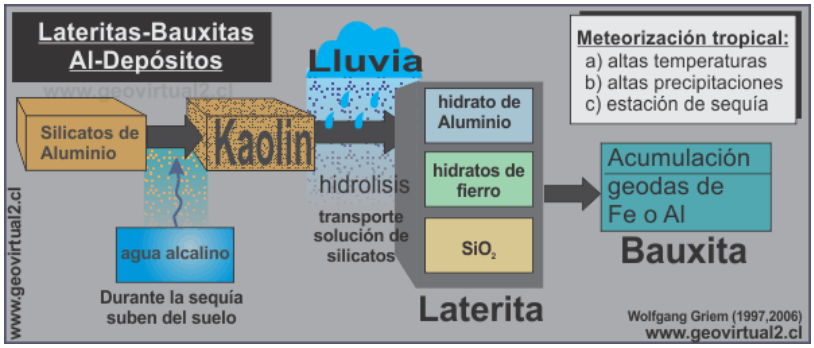
El metamorfismo regional, por su parte, actúa a gran escala bajo presión y temperatura más elevadas, creando a veces minerales o rocas útiles que se aprovechan industrialmente.



⇒ METEORIZACIÓN Y YACIMIENTOS DE MENAS

La meteorización puede concentrar minerales útiles mediante enriquecimiento secundario, es decir, acumulando en zonas accesibles elementos que antes estaban dispersos en la roca original.

También puede formar depósitos de placer, donde la selección por agua concentra minerales densos como el oro o algunos minerales pesados. Son ejemplos de yacimientos generados por procesos superficiales.



⇒ RECURSOS INDUSTRIALES



Los materiales de construcción son uno de los grandes grupos de recursos industriales. Los áridos, la arena, la grava, el yeso o la piedra triturada se usan masivamente en edificación y obras públicas.

Su importancia económica es enorme porque se consumen en grandes cantidades. A veces no son espectaculares como otros recursos, pero son imprescindibles para la construcción moderna.



→ puntos Importantes:

• Los recursos industriales son minerales o rocas no metálicos con valor económico.

• Se aprovechan por sus propiedades químicas o físicas.

• Muchos materiales cotidianos proceden de ellos.

⇒ ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

Aquí vemos ejemplos de recursos industriales. Se trata de materiales no metálicos que se aprovechan por sus propiedades físicas o químicas. La sal, el azufre, el corindón o el granate son buenos ejemplos.

Estos materiales se utilizan en la fabricación de productos químicos y en la producción de fertilizantes.

En otros casos, su importancia está relacionada con las propiedades físicas que muestran. Son ejemplos minerales el corindón y el granate, que se utilizan como abrasivos.

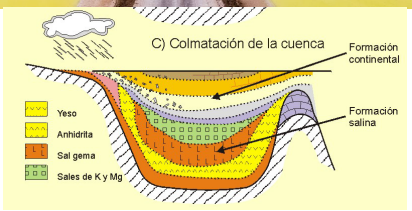
• Fertilizantes: los fertilizantes, sobre todo los compuestos de nitrato, fosfato y K son extremadamente importantes para la agricultura.

Aunque K (potasio) es un elemento abundante en muchos minerales, las principales fuentes comerciales son los depósitos de evaporitas que contienen el mineral silvina.

Lo importante es entender que un recurso geológico no tiene que ser un metal o un combustible. Muchos minerales se valoran porque sirven para producir fertilizantes, ácidos, abrasivos o productos químicos.

⇒ ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES





Vamos a ver algunos ejemplos de recursos industriales. Se trata de materiales no metálicos que se aprovechan por sus propiedades físicas o químicas. La sal, el azufre, el corindón o el granate son buenos ejemplos.

Lo importante es entender que un recurso geológico no tiene que ser un metal o un combustible. Muchos minerales se valoran porque sirven para producir fertilizantes, ácidos, abrasivos o productos químicos.

⇒ AZUFRE



Más del 80 por ciento del Azufre se utiliza para la producción de ácido sulfúrico. Su uso principal es la fabricación de fertilizantes.

Entre sus fuentes se cuentan los depósitos de azufre nativo asociados con domos de sal y áreas volcánicas, así como los sulfuros de hierro común, como la pirita (FeS2).

En los últimos años una fuente cada vez más importante ha sido el azufre extraído del carbón, el petróleo y el gas natural, para conseguir que esos combustibles sean menos contaminantes.

Tabla 21.4 Lugares donde aparecen y usos de los minerales no metálicos

Mineral	Usos	Lugares de aparición
Apatito	Fertilizantes fosfatados	Depósitos sedimentarios
Asbestos	Fibras incombustibles	Alteración metamórfica
Azufre	Productos químicos; fabricación de fertilizantes	Depósitos sedimentarios; yacimientos hidrotermales
Calcita	Agregados; fabricación del acero; acondicionamiento del suelo; productos químicos; cemento; piedra de construcción	Depósitos sedimentarios
Corindón	Gemas; abrasivos	Yacimientos metamórficos
Cuarzo	Ingrediente principal del vidrio	Intrusiones ígneas; depósitos sedimentarios
Diamante	Gemas; abrasivos	Pipas de kimberlita; depósitos de placeres
Fluorita	Fabricación de acero; purificación del aluminio; vidrio; productos químicos	Yacimientos hidrotermales
Grafito	Mina de los lápices; lubricantes; refractarios	Yacimientos metamórficos
Granate	Abrasivos; gemas	Yacimientos metamórficos
Halita	Sal de mesa; productos químicos; control del hielo	Depósitos de evaporitas; domos de sal
Minerales de la arcilla	Cerámica; porcelana	Producto residual de la meteorización
Moscovita	Aislante en aplicaciones eléctricas	Pegmatitas
Silvina	Fertilizantes de potasio	Depósitos de evaporitas
Talco	Polvo utilizado en las pinturas, los cosméticos, etc.	Yacimientos metamórficos
Yeso	Yeso blanco	Depósitos de evaporitas

⇒ MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales de construcción son uno de los grandes grupos de recursos industriales. Los áridos, la arena, la grava, el yeso o la piedra triturada se usan masivamente en edificación y obras públicas.



Los áridos naturales consisten en roca triturada, arena y grava.

Desde el punto de vista de la cantidad y de su valor, los áridos son un material de construcción muy importante.

Además de los áridos, otros importantes materiales de construcción son el yeso para argamasa y recubrimiento de paredes, la arcilla para los ladrillos y las tejas, y el cemento, que está hecho de caliza y arcilla.



El cemento y los áridos se reúnen en el hormigón, un material que es esencial prácticamente para todo tipo de construcciones.

Su importancia económica es enorme porque se consumen en grandes cantidades. A veces no son espectaculares como otros recursos, pero son imprescindibles para la construcción moderna.

⇒ RECURSOS ENERGÉTICOS

Los recursos geológicos son aquellos que se utilizan para generar energía, pueden ser materiales o procesos naturales que permiten obtener energía aprovechable por la sociedad.

Los podemos dividir según la fuente de energía en:

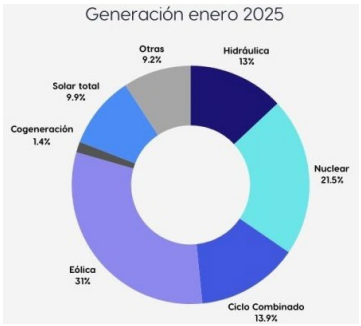
- **Carbón, Petróleo y Gas Natural (Principales)**
- **Arenas asfálticas y Lutitas bituminosas (Alternativos)**
- **Nuclear**
- **Solar**
- **Eólica**
- **Geotérmica**
- **Mareal**
- **Hidroeléctrica**





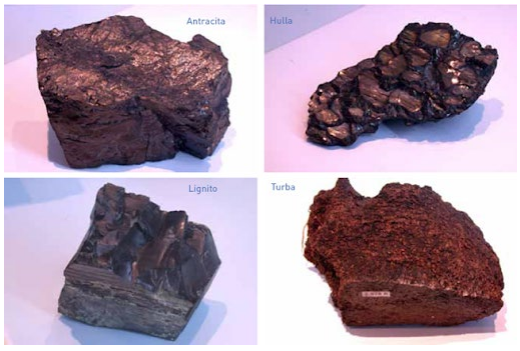
Las arenas asfálticas y las lutitas bituminosas contienen hidrocarburos más difíciles de extraer que el petróleo o gas convencionales y requieren tratamientos específicos.

Su aprovechamiento suele ser más costoso y con impactos ambientales mayores, lo que explica por qué solo se usan en determinadas condiciones económicas y tecnológicas.



⇒ CARBÓN

El carbón es un combustible fósil de origen vegetal y se diferencia claramente del carbón vegetal. Su valor energético depende de la pureza y del contenido en carbono.



El carbón distingue diversos tipos principales según el grado de carbonización: turba, lignito, hulla y antracita. Cuanto mayor es el contenido en carbono, mayor suele ser su poder calorífico.

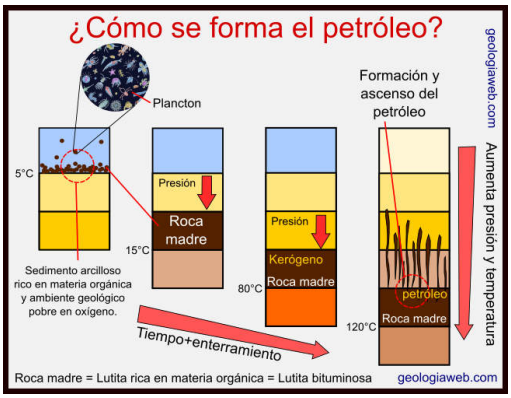
→ Tipos principales de carbón mineral:

- **Turba**: más joven y menos puro, menor poder calorífico. Aprox. 50% de carbono.
- **Lignito**: es un carbón de baja calidad. Contiene aproximadamente un 75% de carbono.
- **Hulla**: es un carbón de mayor calidad, con un poder calorífico más alto que el lignito. Contiene alrededor del 85% de carbono.
- **Antracita**: es el tipo de carbón más antiguo, puro y de mayor calidad. Tiene el mayor poder calorífico y está compuesto principalmente de carbono, hasta un 95%.

⇒ CARBÓN DESCENSO EN SU USO

- Porque no puede trasladarse con la misma facilidad que el petróleo y el gas.
- Contaminación por combustión: se debe a que en su estructura posee cantidades significativas de azufre, que al quemarse genera los nocivos gases de óxido de azufre que en la atmósfera se convierten en ácido sulfúrico, provocando las lluvias ácidas. A su vez la combustión del carbón también genera dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero.

⇒ PETRÓLEO Y GAS NATURAL

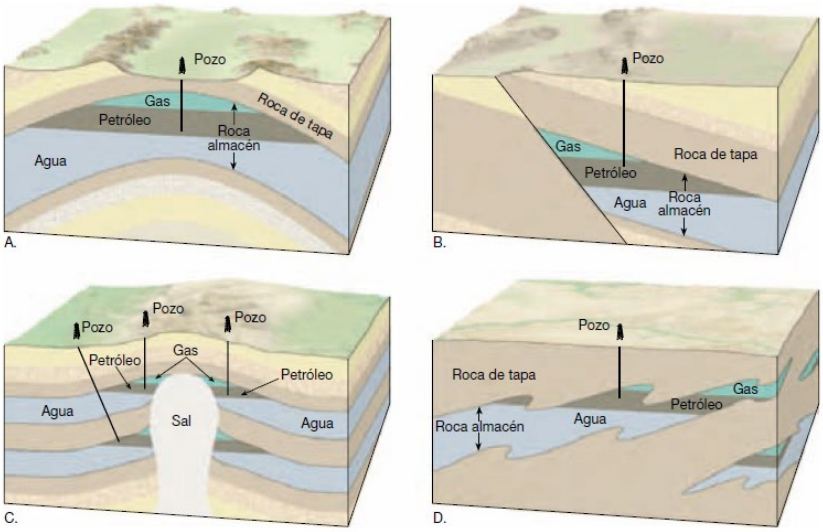


Se encuentran en entornos similares y normalmente aparecen juntos.

Los dos consisten en diversos compuestos de hidrocarburos, que contienen hidrógeno (H) y carbono (C).

Son productos biológicos derivados de los restos de organismos de origen marino (plancton y algas).

⇒ LOS HIDROCARBUROS



Los hidrocarburos son móviles y son sacados fuera de las rocas compactas ricas en fango en donde de originaron (roca madre), hacia las rocas permeables (arenisca) vecinas (rocas reservorio).

También son menos densos que el agua, entonces migran hacia arriba por los poros. Si NO encuentran un obstáculo (roca sello) en su migración ascendente, los fluidos acabarán alcanzando la superficie, perdiendo los componentes volátiles por evaporación.

Trampas petrolíferas: son estructuras geológicas que impiden la migración ascendente y favorecen la acumulación de petróleo y gas.

Requisitos:

• Roca permeable (almacén)

• Roca impermeable (sello)

⇒ ARENAS ASFÁLTICAS Y LUTITAS BITUMINOSAS



Arenas asfálticas: son mezclas de arcilla y arena con agua y cantidades variables de un alquitrán negro, muy viscoso, conocido como bitumen.

El petróleo es mucho más viscoso que el petróleo convencional (de difícil transporte).

El material excavado se calienta a continuación con vapor a presión y el bitumen se ablanda y se puede movilizar. Eliminan las impurezas y luego se añade hidrógeno para que aumente la calidad del crudo.

La extracción y el refinado de las arenas asfálticas requieren una gran cantidad de energía ¡casi la mitad de la que se obtiene del producto final!

Venezuela y Canadá tienen los principales yacimientos del mundo.

Lutitas bituminosas: La lutita es una roca sedimentaria detrítica de grano muy fino, y se llama bituminosas por tener la suficiente abundancia en material orgánico (querógeno) como para producir petróleo a través de destilación, por lo que contienen enormes cantidades de petróleo sin explotar.



La energía calorífica de la lutita bituminosa es sólo una octava parte de la que contiene el petróleo crudo, debido a la gran proporción de materia mineral de las lutitas.

Esta materia mineral añade costo a la producción minera, el procesamiento y la eliminación de residuos.

La minería de superficie produce trastornos generalizados del terreno y plantea problemas significativos de eliminación de residuos. Además, el procesamiento requiere grandes cantidades de agua.

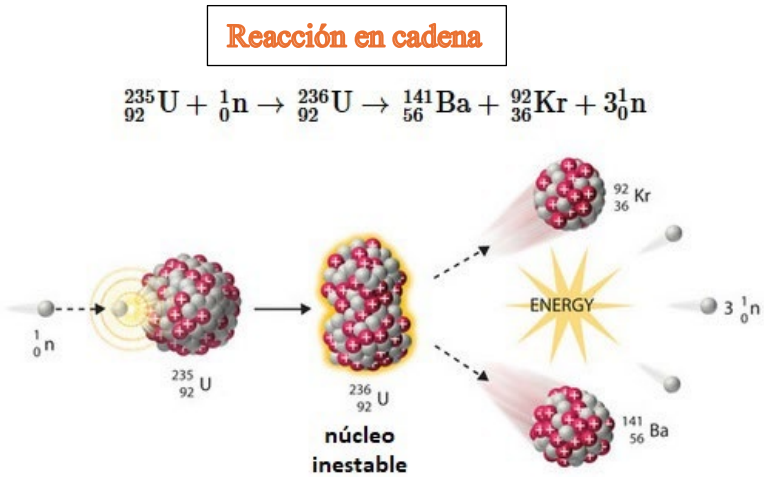
⇒ ENERGÍA NUCLEAR

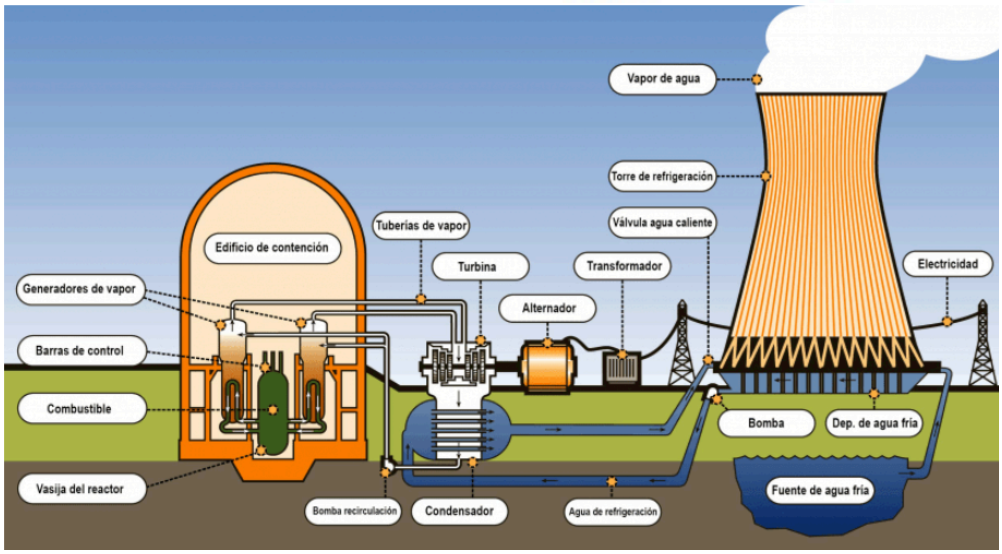
Esta diapositiva se centra en la energía nuclear. La fisión del uranio libera gran cantidad de energía y en una central esa reacción se controla mediante varillas absorbentes de neutrones.

El U-235 es el isótopo natural más fácilmente fisionable y, por tanto, el combustible principal en centrales nucleares. La energía liberada se utiliza para producir vapor y mover turbinas eléctricas.

El combustible para esas centrales procede de materiales radiactivos que liberan energía por el proceso de fisión nuclear.

La fisión se consigue bombardeando los núcleos con neutrones.





Esto hace que los núcleos de uranio se escindan en núcleos menores y emitan neutrones y energía calorífica.

Esa fisión del uranio libera gran cantidad de energía y en una central esa reacción se controla mediante varillas absorbentes de neutrones.

→ puntos Importantes:

- Los recursos energéticos permiten obtener energía aprovechable para la sociedad.
- Incluyen combustibles fósiles, nuclear y energías geológicas o físicas de origen natural.
- Cada recurso energético tiene ventajas, limitaciones e impactos.

https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/cuales-son-los-distintos-componentes-de-una-central-nuclear/

⇒ ENERGÍA SOLAR

La energía solar aprovecha la radiación del Sol. Hay dos sistemas de calentamiento:

→ **Colectores solares activos**



Son dispositivos de captación térmica que requieren energía externa (generalmente electricidad para bombas o ventiladores) para circular un fluido y transferir el calor captado hacia su punto de uso o almacenamiento.

El proceso se basa en tres etapas clave:

1. **Captación**: La radiación solar incide sobre la superficie del colector, calentando un fluido (agua, aire o anticongelante) que circula por su interior.
2. **Transporte**: Una **electrobomba** o ventilador impulsa el fluido caliente desde los colectores hacia un intercambiador de calor o tanque de almacenamiento.

Ventajas: Mayor eficiencia, mejor control de temperatura y funcionamiento garantizado en climas adversos.

Desventajas: Mayor coste inicial, complejidad de instalación y dependencia de electricidad para las bombas.

→ **Sistemas fotovoltaicos**



Son instalaciones eléctricas que convierte la radiación solar en electricidad utilizable mediante paneles solares. Se compone principalmente de módulos fotovoltaicos, inversores (para cambiar corriente continua a alterna), estructuras de montaje y, opcionalmente, baterías para almacenamiento.

Existen tres configuraciones principales dependiendo de cómo se gestiona la energía generada:

- **Conectados a la red (On-Grid):** Son los más comunes en zonas urbanas. La energía generada se consume en el momento y, si sobra, se vierte a la red eléctrica general.
- **Aislados (Off-Grid):** No dependen de la red eléctrica. Son ideales para zonas rurales o remotas y requieren obligatoriamente el uso de baterías para almacenar energía y usarla cuando no hay sol.
- **Híbridos:** Combinan lo mejor de ambos mundos. Están conectados a la red, pero también cuentan con baterías de respaldo para asegurar el suministro en caso de cortes de luz o para optimizar el ahorro.

Aunque no es un recurso geológico en sentido estricto como un mineral, en este tema se incluye dentro de los recursos energéticos naturales aprovechables por la sociedad.

⇒ ENERGÍA EÓLICA

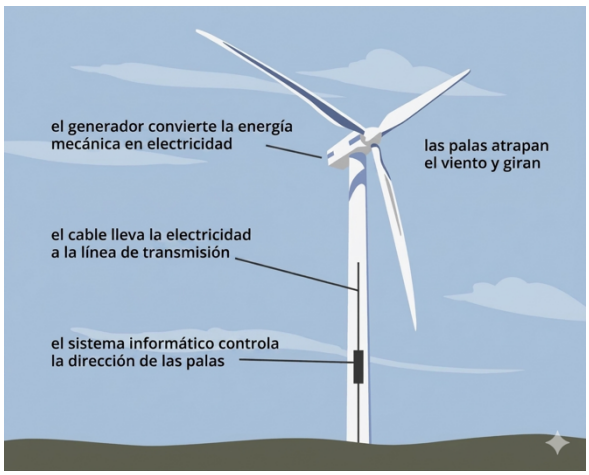


La **energía eólica** aprovecha una pequeña parte de la energía solar transformada en movimiento del aire (recordemos que el aire es una mezcla del 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno y pequeñas cantidades de argón, dióxido de carbono y vapor de agua y el viento es el movimiento del aire; el aire se mueve debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre por el sol:

- El sol calienta el aire, volviéndolo más ligero y haciendo que ascienda.
- El aire frío y más pesado se mueve para ocupar el espacio libre.
- Este desplazamiento constante de zonas de alta presión a bajas presiones crea el viento.

→ El proceso de transformación se realiza mayoritariamente a través de **aerogeneradores**:

- **Captación:** Las corrientes de aire mueven las palas de la turbina.
- **Transmisión:** El movimiento de las palas hace girar un eje conectado a una caja de cambios (multiplicadora) para aumentar la velocidad de rotación.
- **Generación:** Un generador eléctrico convierte esta energía mecánica en energía eléctrica.
- **Distribución:** La electricidad se evacúa a la red eléctrica para su consumo.



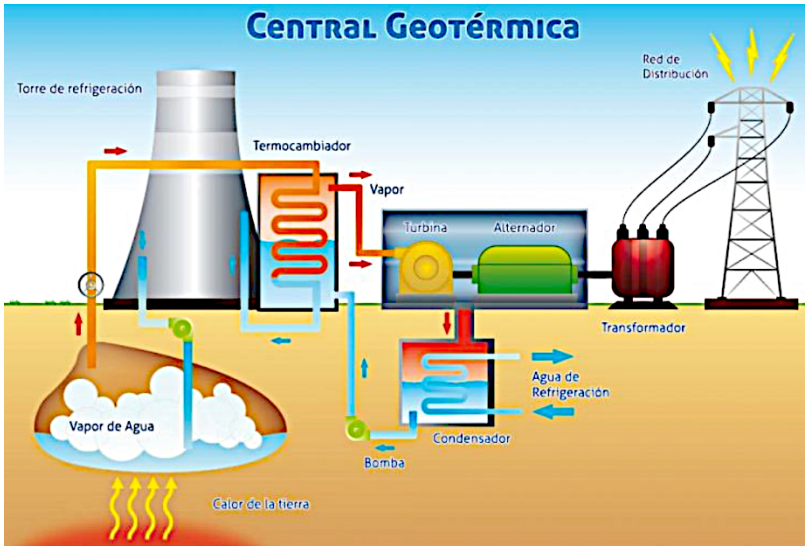
→ **Tipos de energía eólica**

1. **Eólica terrestre (Onshore):** Instalaciones ubicadas en tierra firme, aprovechando zonas con vientos constantes como llanuras o montañas.
2. **Eólica marina (Offshore):** Parques situados en el mar, donde el viento es más fuerte y constante que en tierra.
3. **Minieólica:** Uso de aerogeneradores pequeños para autoconsumo en viviendas o zonas aisladas.
4. **Eólica de gran altitud:** Innovaciones recientes, como turbinas voladoras, que buscan captar vientos más potentes a mayor altura.

→ **Ventajas principales**

- **Inagotable y limpia:** No produce emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero.
- **Bajo coste:** Actualmente es una de las fuentes de generación más baratas, incluso compitiendo en precio con los combustibles fósiles.
- **Eficiencia de espacio:** Los parques eólicos pueden coexistir con actividades agrícolas o ganaderas.

⇒ ENERGÍA GEOTÉRMICA



La energía geotérmica aprovecha el calor interno de la Tierra, especialmente en zonas con actividad volcánica reciente o con gradientes geotérmicos elevados.

Para que un depósito geotérmico sea comercialmente útil se necesita una fuente de calor, agua circulante y rocas o fracturas que permitan almacenar y transmitir ese calor.

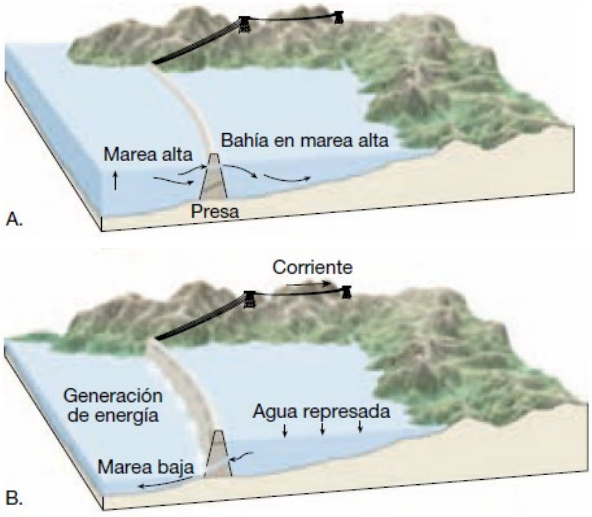
Es decir, el aprovechamiento de la energía geotérmica se realiza explotando los depósitos subterráneos naturales de vapor y de agua caliente. Estos depósitos aparecen en lugares donde las temperaturas bajo la superficie terrestre son elevadas debido a la actividad volcánica relativamente reciente. Se utiliza esta energía de dos maneras: el vapor y el agua caliente se emplean para calentar y para generar electricidad.



Debemos reconocer que la energía geotérmica no es inagotable. La experiencia demuestra que el vapor y el agua caliente de cada pozo no duran normalmente más de 10 a 15 años, de manera que deben perforarse más pozos para mantener la producción de energía. Finalmente, el campo se agota.

⇒ ENERGÍA MAREAL

La **energía mareal** (o mareomotriz) es una fuente renovable que aprovecha el movimiento de ascenso y descenso de las mareas —causado por la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol— para generar electricidad.



Se utilizan principalmente tres métodos para capturar esta energía:

- **Generadores de corriente de marea (TSG):** Turbinas similares a las eólicas, pero sumergidas, que aprovechan la energía cinética de las corrientes de agua.
- **Presas de marea:** Se construyen diques en estuarios. Cuando sube la marea, se abren las compuertas para llenar el embalse; al bajar, el agua se libera pasando por turbinas que generan electricidad.
- **Energía mareomotriz dinámica (DTP):** Una tecnología teórica que utiliza largas presas construidas desde la costa hacia el mar para crear diferencias de fase en las mareas.

→ **Principales ventajas**

- **Predecible:** A diferencia del sol o el viento, los ciclos de las mareas se conocen con exactitud años antes de que ocurran.
- **Renovable y limpia:** No emite gases de efecto invernadero y su fuente es inagotable.
- **Eficiencia:** Debido a que el agua es mucho más densa que el aire, una turbina mareal puede generar mucha más energía que una eólica del mismo tamaño.

→ **inconvenientes**

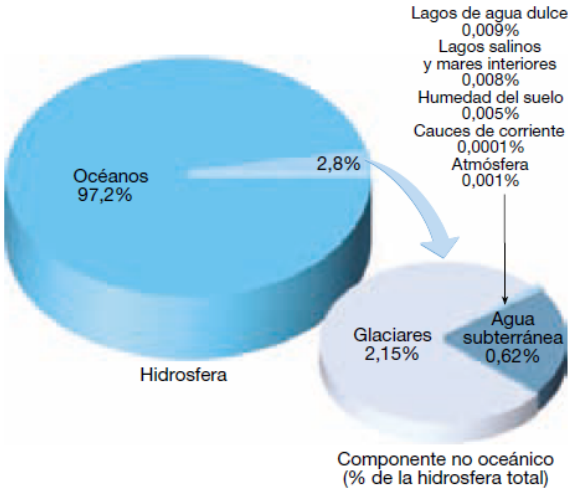
- **Coste elevado:** La construcción y el mantenimiento en entornos marinos corrosivos requieren una inversión inicial muy alta.
- **Impacto ambiental:** Las presas pueden alterar ecosistemas locales, afectando la salinidad y los ciclos de vida de especies marinas.
- **Ubicación limitada:** Solo es viable en zonas costeras específicas donde la diferencia entre marea alta y baja es significativa.

⇒ RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos son todas las aguas disponibles en el planeta que pueden ser usadas por las personas y los ecosistemas.

Incluyen aguas superficiales, subterráneas y el agua almacenada en forma de nieve y/o hielo y la acumulada en la atmósfera.

El agua es un recurso renovable, pero su disponibilidad depende del clima, del ciclo hidrológico y de la gestión humana.



La energía hidroeléctrica aprovecha la energía potencial del agua en movimiento o en caída para accionar turbinas y producir electricidad.

Su desarrollo suele apoyarse en grandes presas, que regulan el caudal y permiten disponer de energía de forma controlada, aunque con impactos ambientales significativos.

Los ríos, lagos y humedales son muy importantes para los seres humanos. Los utilizamos como vías para el desplazamiento de mercancías, como fuentes de agua para irrigación y como fuente de energía.

Sus fértiles llanuras de inundación se han cultivado desde los inicios de la civilización.

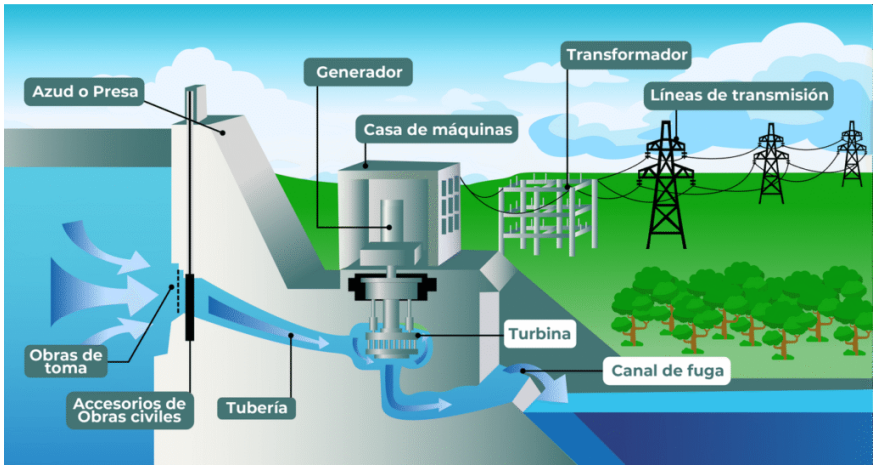
¿Qué ocurre con la precipitación cuando cae en el continente? Una parte del agua penetra en el suelo (infiltración) y se mueve hacia abajo, luego en dirección lateral y, por fin, resurge en los lagos, los ríos o directamente en el océano.

Cuando la velocidad de caída de la lluvia es mayor que la capacidad del suelo para absorberla, el agua adicional fluye sobre la superficie en lagos y corrientes, un proceso denominado escorrentía.

El agua de escorrentía es el agente dominante de la alteración del paisaje (erosión y transporte).

Dado que mucha gente vive cerca de los ríos, las inundaciones se cuentan entre los riesgos geológicos más destructivos.

⇒ ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



La energía hidroeléctrica aprovecha la energía potencial del agua en movimiento o en caída para accionar turbinas y producir electricidad.

Su desarrollo suele apoyarse en grandes presas, que regulan el caudal y permiten disponer de energía de forma controlada, aunque con impactos ambientales significativos.

La caída del agua ha sido una fuente de energía durante siglos. En la actualidad, la energía generada por las caídas de agua se utiliza para impulsar las turbinas que producen electricidad.

La mayor parte de esa energía se produce en grandes presas que permiten un control del flujo de agua. El agua estancada represada en un embalse es una forma de energía almacenada que puede liberarse en cualquier momento para producir electricidad.

Aunque la energía hidráulica se considera un recurso renovable, las presas tienen un tiempo de vida limitado (tasa de sedimentación).

La disponibilidad de lugares apropiados es un factor importante que limita el desarrollo de centrales hidroeléctricas a gran escala.

Un buen sitio debe proporcionar una altura significativa para la caída del agua y un caudal elevado.

⇒ AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas también representan un recurso hídrico. Los pozos y manantiales son formas de acceso o salida del agua almacenada bajo la superficie.

Su importancia es enorme porque muchas ciudades, cultivos, industrias y ecosistemas dependen de acuíferos y de su correcta gestión.

El agua subterránea se mueve lentamente a través de los poros y fisuras del subsuelo, movida por la **gravedad y la presión** desde áreas de mayor energía (recarga) hacia menores (descarga). Sigue flujos locales o regionales, a menudo recargando ríos y océanos, y su velocidad depende de la permeabilidad del material.

→ **Nivel freático**: también conocido como Capa o manto freáticos, es la superficie superior de la zona saturada de agua subterránea, donde la presión del agua iguala la atmosférica. Oscila naturalmente por precipitaciones (aumenta) o sequías (desciende), y artificialmente por bombeo, afectando la cimentación de construcciones, la capacidad de los acuíferos y el drenaje del terreno.

→ **Aparición de manantiales**: este es un fenómeno natural en el que el agua subterránea brota a la superficie terrestre, ya sea de forma constante o temporal. Se originan cuando los acuíferos (depósitos subterráneos) se llenan y el agua busca una salida, a menudo impulsada por la gravedad o la presión.

Partes de la hidrosfera	Volumen de agua dulce (km^3)	Porción de volumen total de agua dulce (%)	Tasa de intercambio del agua
Casquetes polares y glaciares	24.000.000	84,945	8.000 años
Aguas subterráneas	4.000.000	14,158	280 años
Lagos y embalses	155.000	0,549	7 años
Humedad del suelo	83.000	0,294	1 año
Vapor de agua en la atmósfera	14.000	0,049	9,9 días
Agua de los ríos	1.200	0,004	11,3 días
Total	28.253.200	100,000	

⇒ EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y SUS IMPACTOS EN LA MINERÍA

Aquí nos introducimos en los impactos de la minería. Extraer recursos altera el terreno, modifica el paisaje, puede contaminar agua y suelos y afecta a ecosistemas y comunidades si no se gestiona correctamente.

La idea principal es que los impactos no deben tratarse al final, sino desde el diseño mismo del proyecto. La minería moderna necesita prevención, restauración y control ambiental.



→ **Exploración**:

La exploración minera es la fase inicial y fundamental del ciclo minero, centrada en localizar, identificar y evaluar yacimientos de minerales con potencial económico. Utiliza técnicas geológicas, geofísicas y geoquímicas avanzadas, incluyendo perforaciones para determinar la calidad, cantidad y profundidad del mineral antes de la explotación.

Esta división es importante porque un recurso no pasa directamente del descubrimiento al aprovechamiento: antes hay que estudiarlo, medirlo y valorar su viabilidad.

→ **Etapas**

- **a) Prospección regional**

  Busca áreas prometedoras a gran escala. Incluye:

  • **Revisión bibliográfica y cartográfica**: mapas geológicos, informes antiguos, imágenes satelitales.

  • F**otointerpretación / teledetección**: imágenes multiespectrales (Sentinel, Landsat) para detectar alteración mineral, fracturas o estructuras favorables.

  • **Prospección geológica de campo**: reconocimiento visual, identificación de litologías y estructuras.

- **b) Exploración detallada**

  Una vez delimitada un área más pequeña:

  • **Cartografía geológica detallada** (1:10.000 – 1:1.000)

  • **Geoquímica**:
    - Muestreo de rocas, suelos, sedimentos de corriente
    - Análisis de elementos traza para detectar "halos" alrededor de un depósito

  • **Geofísica**: métodos indirectos para identificar anomalías físicas en el subsuelo:
    - **Magnetometría**: detecta variaciones del campo magnético (útil para magnetita,
    - cuerpos máficos).
    - **Gravimetría**: detecta variaciones de densidad (sal, sulfuros masivos).

- **Electromagnetismo** (EM): identifica cuerpos conductores (sulfuros, grafito).
- **Resistividad eléctrica / IP (polarización inducida**): detecta contraste de resistividad; muy útil en sulfuros diseminados.
- **Sísmica (refracción/reflexión):** muy usada en petróleo y gas.
- **GPR (georradar)**: útil para someras

c) Sondeos y pruebas directas

Son la etapa más costosa y decisiva.

• **Sondeos rotativos (carota o "testigo")**: extraen cilindros de roca para análisis detallado.

• **Sondeos a percusión / RC (Reverse Circulation**): más rápidos, producen fragmentos ("chips") para análisis.

• **Pozos y calicatas**: excavaciones superficiales para examinar mineralización.

d) Evaluación del yacimiento

• **Modelos geológicos 3D**

• **Modelos de bloques:** para estimar recursos y reservas

• **Pruebas metalúrgicas:** conocer cómo se comporta el mineral en planta

• **Evaluación económica**: costos, precios, riesgos





→ **Explotación**

La explotación minera es la fase operativa de extracción de minerales y metales valiosos de la corteza terrestre, abarcando métodos a cielo abierto o subterráneos según la ubicación del yacimiento. Implica estudios técnicos, maquinaria pesada y voladuras para obtener recursos (oro, cobre, construcción) para la industria.

Los métodos dependen del tipo de yacimiento, su geometría, profundidad y propiedades mecánicas.

a) Métodos de explotación a cielo abierto

Se usan cuando el mineral está cerca de la superficie.

I. Minas a cielo abierto

- Eliminación de "estéril" (roca sin valor)
- Excavación en bancos o terrazas
- Ha de ser muy eficiente y económica
- Común para: Cu (Cobre), Fe (Hierro), Au (Oro), Carbón, U (Uranio)

II. Canteras

Para rocas industriales: caliza, mármol, granito, áridos. Se extrae el recurso de forma técnica y económicamente viable.

Los métodos cambian según la geometría del yacimiento, su profundidad, su ley y las características mecánicas del terreno.

Las operaciones son por bancos descendentes.



III. Dragado

En ríos, playas, fondos marinos. Esto es para arenas minerales, estaño, oro aluvial

b) Métodos de explotación subterránea

Se usan cuando el mineral está profundo o el volumen de estéril es demasiado grande.

I. Cámaras y pilares (room and pillar)

Se dejan pilares de roca para sostener el techo. Es muy común en carbón, sal y minerales planos



II. Corte y relleno (cut and fill)

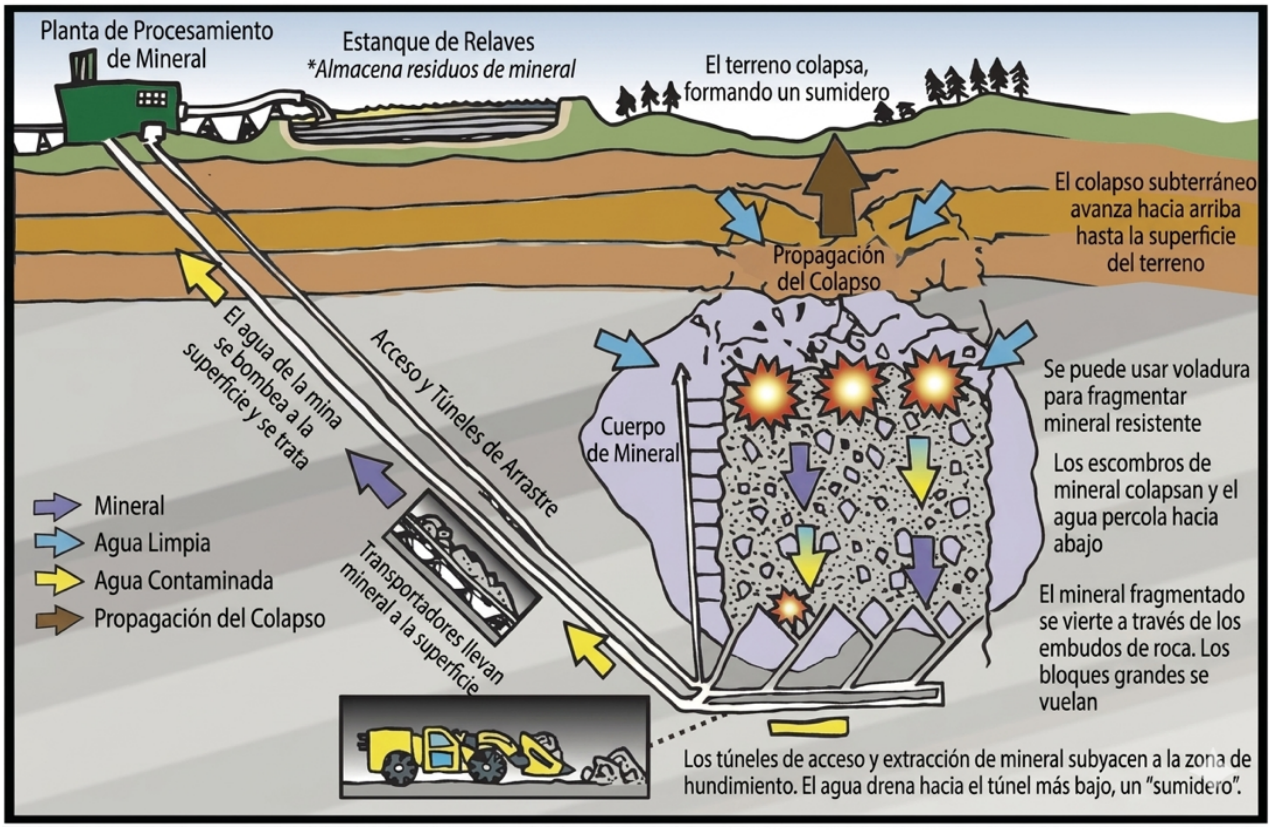
Se excava un bloque y se rellena con material para sostener el túnel.

Ideal para vetas estrechas o yacimientos irregulares.

III. Hundimiento por bloques (block caving)

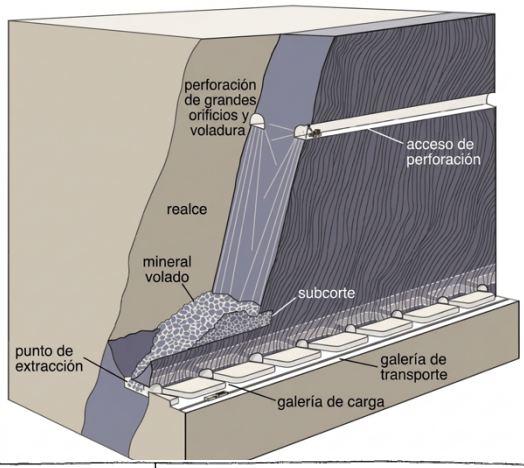
Se permite el colapso controlado del yacimiento

Muy eficiente para grandes cuerpos de baja ley (p.ej., cobre porfídico).



IV. Avance por subniveles (Sublevel stoping)

Método selectivo, usado en vetas verticales de buena ley.



⇒ IMPACTOS DE LA MINERÍA

Extraer recursos altera el terreno, modifica el paisaje, puede contaminar agua y suelos y afecta a ecosistemas y comunidades si no se gestiona correctamente.

La idea principal es que los impactos no deben tratarse al final, sino desde el diseño mismo del proyecto. La minería moderna necesita prevención, restauración y control ambiental.

SUELO — Cambio de morfología: — Ocupación del suelo:	• Alteración del paisaje. • Pérdida del suelo por erosión. • Pérdida de comunidades vegetales. • Alteración de poblaciones animales.
AGUA — Alteración de la red de drenaje natural:	• Contaminación del agua superficial. • Inundación de áreas próximas.
AIRE — Cambios temporales en la calidad del aire:	• Alteración de la vida silvestre y afectación de la vegetación de áreas cercanas.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

El tema explica qué son los recursos geológicos y cómo se clasifican, y estudia después recursos metálicos, industriales, energéticos e hídricos. También muestra que la existencia de un recurso depende de su concentración, de la tecnología disponible y de la rentabilidad económica.

Finalmente, dedica un bloque a la exploración, a los métodos de explotación minera y a los impactos ambientales. En conjunto, el tema enseña que aprovechar un recurso geológico exige tanto conocimiento del origen del yacimiento como gestión responsable de su extracción.

→ puntos Importantes:

• Los recursos geológicos incluyen materiales y procesos naturales útiles para la sociedad.

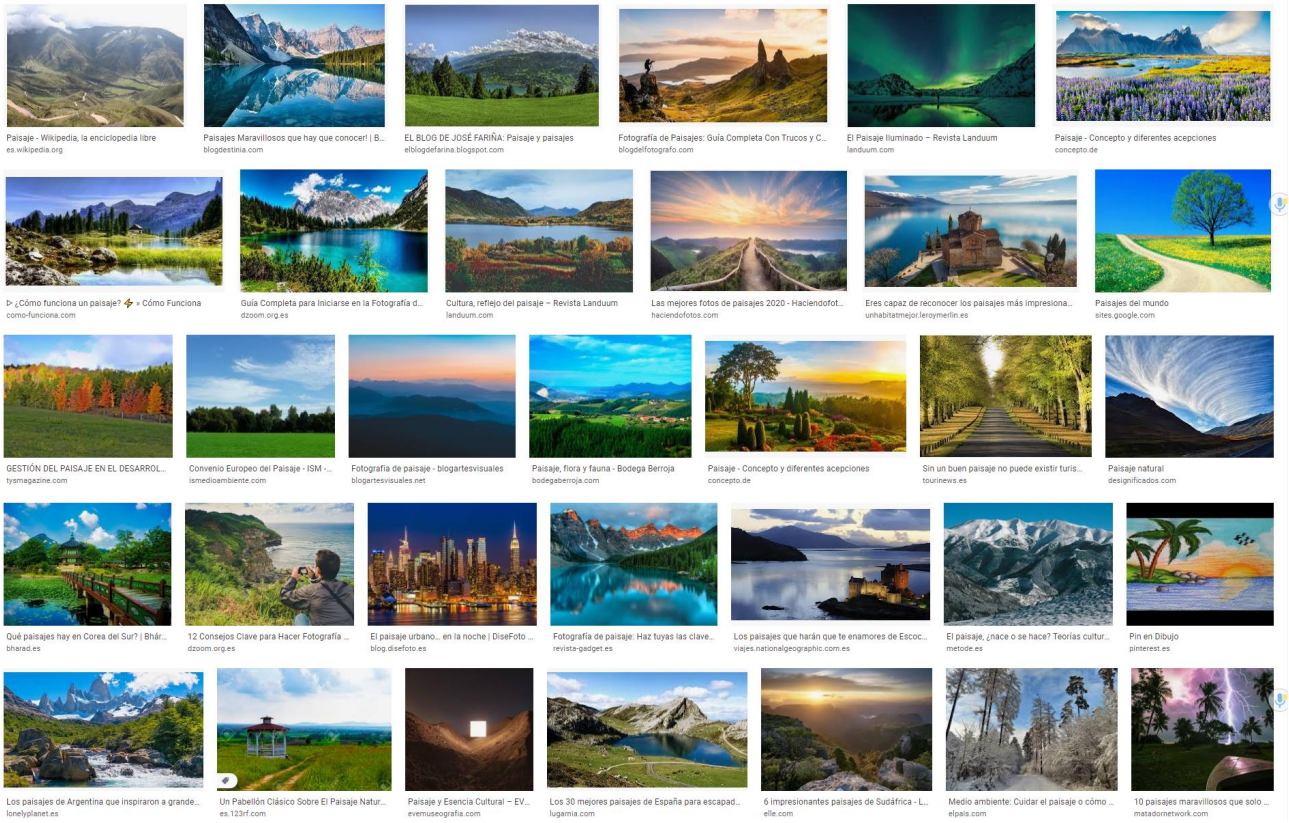
• Un recurso puede dejar de ser rentable o volver a serlo según cambien la economía o la tecnología.

• La explotación de recursos exige exploración previa y control de impactos.

• La geología aplicada une conocimiento científico, utilidad económica y responsabilidad ambiental.

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…

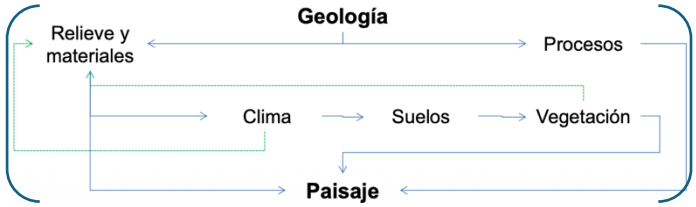
- En **clima cálido y húmedo**, domina la **alteración química**: arcillas, suelos profundos, disolución.

- 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:

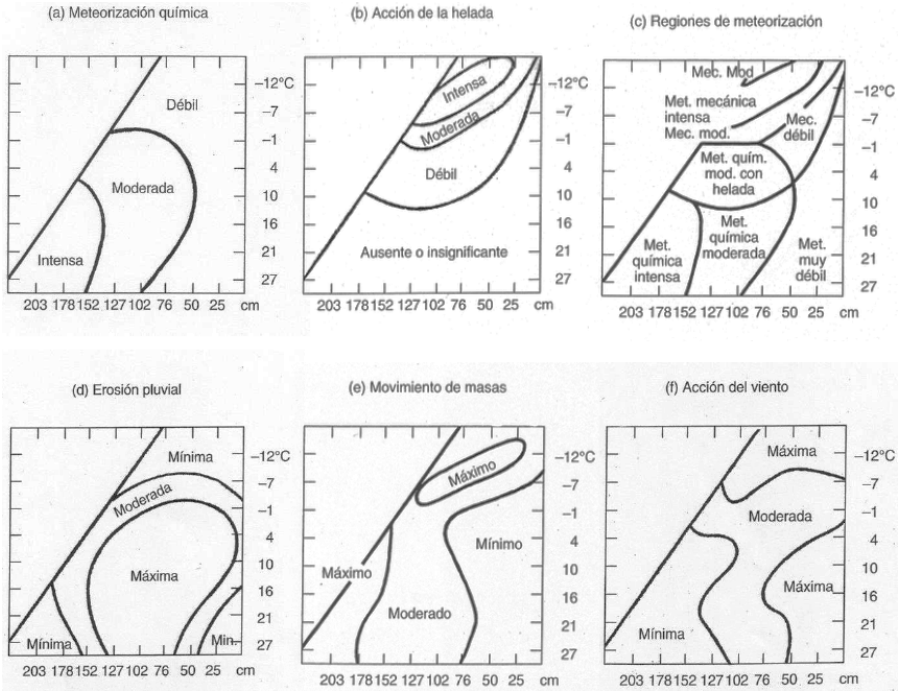
- La geología influye en el relieve y materiales.
- El clima regula procesos superficiales.
- Eso condiciona suelos y vegetación.
- Y todo junto "se ve" como paisaje.



⇒ 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.

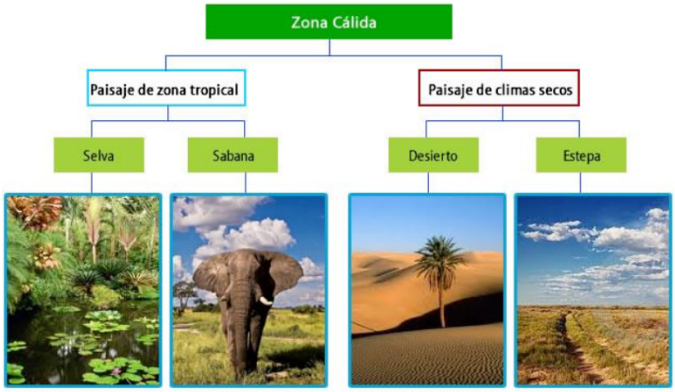
⇒ ZONA CÁLIDA: TROPICAL Y SECO



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"

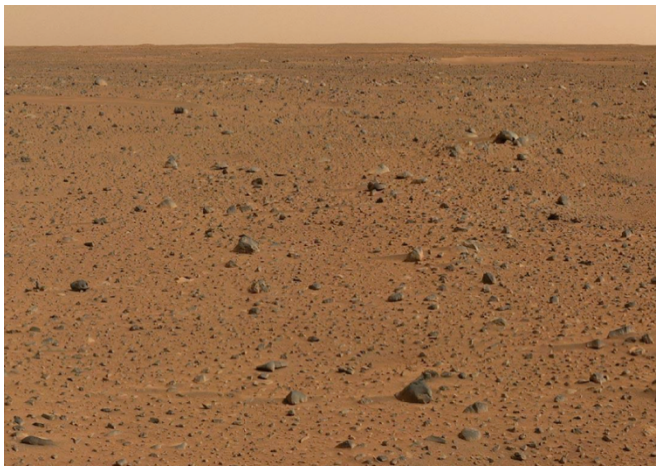
La foto muestra perfectamente unas formas suaves y retorcidas que parecen cuerdas o pliegues de piel, se llama técnicamente **lava pahoehoe**.
- **Enfriamiento superficial:** La superficie de la lava se enfría al contacto con el aire, formando una "piel" elástica y delgada.
- **Movimiento interno:** 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.

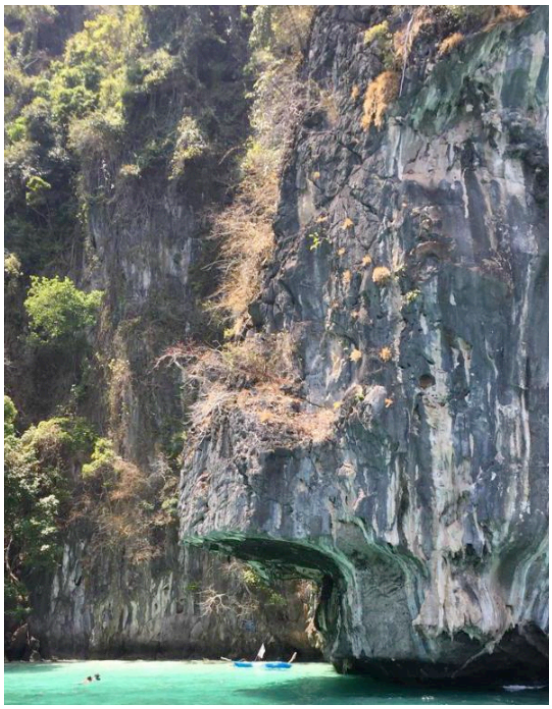
Largo plazo

- 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.

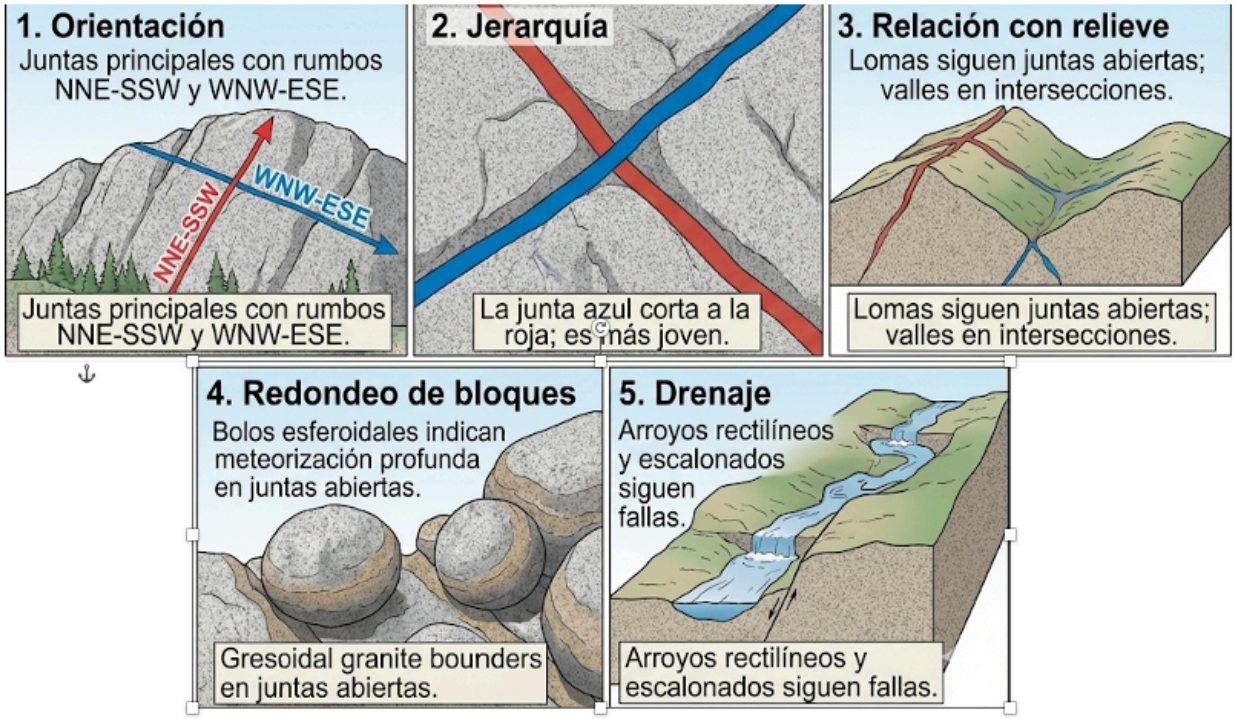
1) Tres pistas clave en campo

- **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).

Tema 7: INVESTIGANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SUELOS HELADOS DE LA ANTÁRTIDA

1. ¿Qué es realmente la Antártida (desde la geología)?

La **Antártida** no es solo hielo. Es:

- Un **continente completo**, más grande que Europa.
- Con **roca continental**, montañas, volcanes, cuencas sedimentarias.
- Cubierto en un **98 % por hielo**, pero **no formado por hielo**.

Bajo el casquete glaciar hay:

- Cordilleras (Transantárticas),
- Mesetas,
- Valles,
- Volcanes activos (como el Erebus),
- Antiguos paisajes hoy sepultados.

El hielo es una **capa reciente** en términos geológicos (decenas de millones de años), no la esencia del continente.

2. La Antártida en la historia de la Tierra. Antártida NO siempre fue fría

Esto es clave.

- Hace **200–180 millones de años**, la Antártida formaba parte de **Gondwana** junto con:
  - África,
  - Sudamérica,
  - Australia,
  - India.
- Tenía **climas templados e incluso bosques**.
- Hay **fósiles de plantas, suelos antiguos y carbón** que lo prueban.

El enfriamiento antártico ocurre cuando:

1. Se separa de Sudamérica y Australia.
2. Se abre el **Paso de Drake**.
3. Se establece la **Corriente Circumpolar Antártica**, que:
   - aísla térmicamente el continente,
   - impide la llegada de aguas cálidas.

Resultado: **glaciación progresiva** desde hace ~34 millones de años.

3. El hielo antártico: qué es y por qué importa. Tipos de hielo

En Antártida hay varios "mundos de hielo":

1. **Casquete glaciar continental**
   - Espesor medio: ~2 km (hasta 4 km).
   - Contiene **~70 % del agua dulce del planeta**.
2. **Glaciares de descarga**
   - Conectan el interior con el océano.
3. **Plataformas de hielo flotante**
   - Larsen, Ross, Filchner-Ronne.

El comportamiento del hielo **controla el nivel del mar global**.

4. ¿Qué es el PERMAFROST en la Antártida? Definición rigurosa

Permafrost es:

Suelo o roca que permanece a **≤ 0 °C durante al menos dos años consecutivos**.

No significa “todo congelado”:

- Puede contener **hielo**, pero también **sedimentos secos congelados**.
- Tiene una **capa activa** superior que **se descongela en verano**.

→ **En la Antártida:**

- Es el **permafrost más antiguo, frío y estable del planeta**.
- En algunas zonas lleva **millones de años sin descongelarse**.
- Especialmente importante en:
  - Antártida Marítima,
  - Valles Secos de McMurdo,
  - Zonas costeras libres de hielo.

5. ¿Por qué el permafrost antártico es clave para el cambio climático?
Porque es un **archivo climático** y un **sistema sensible**.

1. Es un termómetro geológico

- Cambios pequeños de temperatura producen:
  - engrosamiento o adelgazamiento de la capa activa,
  - inestabilidad del terreno,
  - cambios en drenaje.

El permafrost **responde antes que el hielo profundo**.

2. Guarda información del pasado
En el permafrost hay:

- Suelos fósiles,
- Materia orgánica antigua,
- Sales,
- Microorganismos preservados.

Es un **registro paleoclimático** excepcional.

3. Su degradación tiene consecuencias
Cuando el permafrost se altera:

- Se liberan gases (CO_2, CH_4 en otros permafrost).
- Cambia la estabilidad de laderas.
- Se modifican ecosistemas extremadamente frágiles.

6. ¿Qué se investiga hoy en el permafrost antártico?
Aquí entramos en el **trabajo real de campo** que hace el profesor y su equipo.

A. Temperatura del suelo

- Instalación de **sensores térmicos** a distintas profundidades.
- Registro continuo durante años.
- Objetivo: ver **tendencias**, no eventos puntuales.

B. Espesor de la capa activa

- Medición estacional:
  - cuánto se descongela en verano,
  - cuánto vuelve a congelarse en invierno.
- Es uno de los **mejores indicadores de calentamiento regional**.

C. Propiedades del suelo

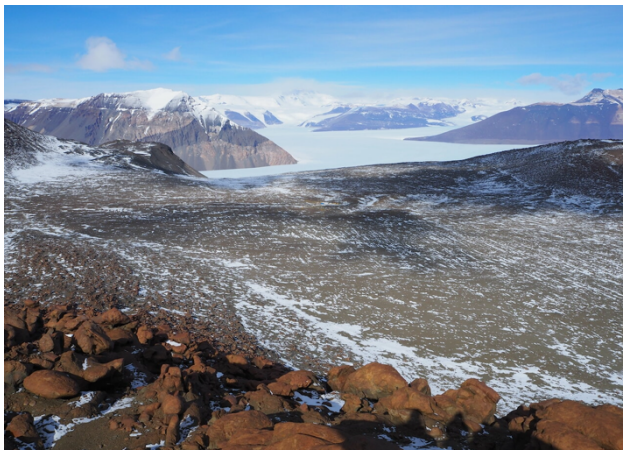
- Granulometría.
- Contenido en hielo.

- Conductividad térmica.
- Salinidad.

Todo esto controla **cómo responde el suelo al calor**.

D. Geomorfología periglaciar

Se estudian formas como:
- Polígonos de hielo.
- **Solifluxión** (proceso geológico de movimiento lento de la capa superficial del suelo, saturada de agua, que fluye pendiente abajo por gravedad, formando a menudo lóbulos o coladas lentas sobre un basamento estable. Este movimiento se debe a que el agua satura y debilita los materiales, reduciendo su resistencia y permitiendo que se deslicen como una masa viscosa, afectando principalmente a materiales arcillosos o limosos).
- Deslizamientos superficiales.
- Grietas térmicas.



Son **formas activas**, no fósiles.

7. ¿Cómo se investiga en la Antártida?
Logística
- Bases científicas (españolas, argentinas, chilenas, etc.).
- Ventanas de trabajo muy cortas (verano austral).
- Temperaturas extremas, viento, aislamiento total.

→ **Métodos**
- Trabajo **manual y preciso**, no maquinaria pesada.
- Instrumentación enterrada.
- GPS de alta precisión.
- Fotogrametría.
- Comparación interanual.

Nada se improvisa: **cada dato cuesta esfuerzo físico y riesgo**.

8. ¿Qué se sabe ya gracias a décadas de investigación?
Hechos sólidos (no opiniones)
- La **Península Antártica** es una de las zonas que **más rápido se calienta del planeta**.
- El permafrost allí:
  - se está **calentando**,
  - tiene **capas activas más profundas**,
  - muestra **inestabilidad creciente**.
- Algunas plataformas de hielo han colapsado, como Larsen A y B.

⇒ **En la Antártida Oriental**
- El sistema es más estable,
- pero **ya se detectan cambios térmicos sutiles**.

Y en geología, lo sutil es lo peligroso a largo plazo.

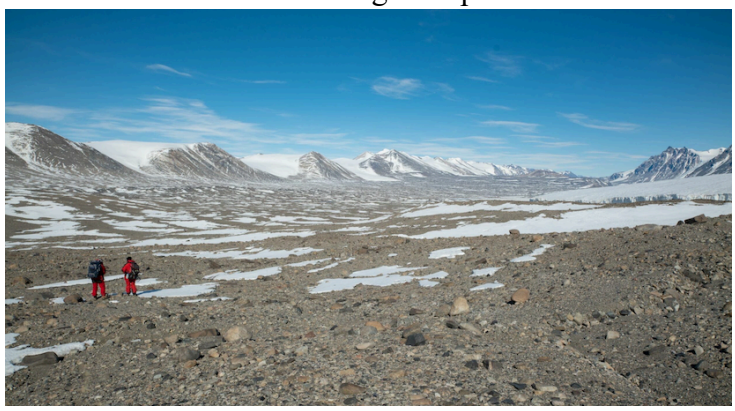
9. La Antártida como "laboratorio del futuro"
La Antártida sirve para:
- Entender **cómo responde la Tierra al calentamiento** sin interferencia humana directa.
- Comparar con:
  - Ártico,

- Siberia,
- alta montaña.

- Validar modelos climáticos globales.
-

10. Sobre el trabajo del profesor

El hecho de que **Miguel Ángel de Pablo Hernández** esté investigando permafrost antártico indica que trabaja en:



- **Geología climática moderna**.
- **Interfaz geología–clima–criosfera**.
- Una de las áreas **más relevantes científicamente hoy**.

Esto no es divulgación: es **ciencia de base** que alimenta informes internacionales como este:

https://bgm.revistas.csic.es/index.php/bgm/article/view/259/258

👉 **Idea final**

La Antártida no es el "fin del mundo": es el **centro de gravedad climática del planeta**.

Su permafrost es un sensor natural, lento pero fiable, que nos está diciendo cómo cambia la Tierra cuando se altera el equilibrio térmico global.

⇒ PERMAFROST ÁRTICO vs PERMAFROST ANTÁRTICO

⇒ Comparación geológica, climática y dinámica

1. Contexto geográfico y geológico

- **Permafrost Ártico**

- Se desarrolla sobre **continentes habitados**:
  - Siberia,
  - Alaska,
  - Canadá,
  - Groenlandia.
- Afecta a:
  - llanuras extensísimas,
  - cuencas sedimentarias,
  - plataformas continentales emergidas.
- Está íntimamente ligado a **ecosistemas terrestres activos**.

👉 Es un permafrost **continental, biológico y sedimentario**.

- **Permafrost Antártico**

- Se desarrolla en un **continente prácticamente deshabitado**.
- Aparece solo en:
  - zonas **libres de hielo**,
  - laderas,
  - costas,
  - valles secos (como McMurdo).
- Se asienta sobre:

- **roca cristalina**,
- depósitos glaciares antiguos,
- suelos extremadamente pobres.

👉 Es un permafrost **geológico, mineral y extremo**.

2. Edad y estabilidad

- **Ártico**

- Edad típica: **decenas de miles de años** (Pleistoceno tardío).
- Ha sufrido:
  - avances y retrocesos,
  - descongelaciones parciales,
  - reorganizaciones frecuentes.

👉 Es **joven y dinámico**.

- **Antártida**

- En algunas zonas:
  - **cientos de miles a millones de años**.
- Ha permanecido:
  - congelado de forma casi continua,
  - con variaciones mínimas.

👉 Es el **permafrost más antiguo y estable de la Tierra**.

3. Temperatura

- **Ártico**

- Temperaturas del permafrost:
  - entre **–1 °C y –10 °C** (muchas zonas cerca del umbral).
- Muy sensible a:
  - pequeños aumentos térmicos,
  - cambios estacionales.

👉 Está **al borde del deshielo**.

- **Antártida**

- Temperaturas:
  - frecuentemente **< –15 °C**,
  - en valles secos incluso **< –20 °C**.
- Lejos del punto de fusión.

👉 Es **frío profundo**, no marginal.

4. Capa activa (active layer)

- **Ártico**

- Espesor:
  - de **30 cm a varios metros**.
- Se descongela **cada verano**.
- Es dinámica:
  - se espesa rápidamente con el calentamiento.

👉 Es el **talón de Aquiles** del permafrost ártico.

- **Antártida**

- Espesor:
  - muy reducido,
  - a veces **centímetros** o inexistente.
- En muchas zonas **no hay descongelación real**.

👉 La capa activa es **mínima o casi ausente**.

5. Contenido orgánico y carbono

- **Ártico**

Aquí está una diferencia **crítica**.

- Suelos ricos en:
  - materia orgánica,
  - restos vegetales,
  - turbas.
- Al descongelarse:
  - liberan **CO_2**,
  - liberan **CH_4 (metano)**.

👉 Es una **bomba climática potencial**.

- **Antártida**

- Suelos **casi sin materia orgánica**.
- Muy pobres en carbono.
- Dominan:
  - minerales,
  - sales,
  - hielo antiguo.

No es una fuente directa de gases de efecto invernadero.

👉 Esto es clave: **el interés del permafrost antártico no es el carbono, sino el clima y la estabilidad**.

6. Relación con ecosistemas

- **Ártico**

- Vegetación:
  - tundra,
  - musgos,
  - líquenes.
- Fauna y microbiología activa.
- Fuerte interacción:
  - suelo ↔ plantas ↔ clima.

👉 Es un sistema **bio-geo-climático**.

- **Antártida**

- Ecosistemas extremadamente limitados:
  - microbios,
  - algas,
  - líquenes aislados.

- Interacción biológica mínima.

👉 Es casi un sistema **puramente geológico**.

7. Procesos geomorfológicos asociados

- **Ártico**

- Termokarst:
  - colapsos,
  - lagos,
  - subsidencias.
- Solifluxión activa.
- Inestabilidad generalizada del terreno.

👉 El paisaje **está cambiando ahora**.

- **Antártida**

- Procesos dominantes:
  - contracción térmica,
  - polígonos de hielo,
  - creep muy lento.
- Cambios:
  - sutiles,
  - milimétricos,
  - a largo plazo.

👉 El paisaje es **lento, silencioso, pero muy informativo**.

8. Sensibilidad al cambio climático

- **Ártico**

- Respuesta:
  - rápida,
  - visible,
  - amplificada (feedback positivo).
- Ya está:
  - descongelándose,
  - deformándose,
  - emitiendo gases.

👉 Es una **zona de impacto inmediato**.

- **Antártida**

- Respuesta:
  - lenta,
  - retardada,
  - pero muy significativa como señal.
- Cambios pequeños → **indicadores globales**.

👉 Es una **zona de diagnóstico**, no de explosión.

9. Importancia científica comparada

- **Ártico**

Sirve para estudiar:

- impactos directos del calentamiento,
- riesgos geotécnicos,
- emisiones de carbono,
- efectos ecológicos.

- **Antártida**

Sirve para estudiar:

- límites térmicos del sistema terrestre,
- estabilidad a largo plazo,
- respuesta del suelo sin interferencia humana,
- analogías planetarias (Marte).

👉 Es un **laboratorio geológico puro**.

10. Resumen comparativo esencial

ASPECTO	ÁRTICO	ANTÁRTIDA
Edad	Joven	Muy antiguo
Temperatura	Marginal	Muy baja
Capa activa	Gruesa	Mínima
Carbono	Muy alto	Muy bajo
Sensibilidad	Muy alta	Baja pero significativa
Tipo de sistema	Biogeológico	Geológico
Riesgo climático	Directo	Indicador global

⇒ EL PERMAFROST ANTÁRTICO COMO INDICADOR DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

1. Introducción

La Antártida constituye uno de los espacios más singulares del planeta desde el punto de vista geológico y climático. A diferencia de otros continentes, su aislamiento geográfico, la ausencia de actividad industrial y la protección legal derivada del Tratado Antártico convierten este territorio en un auténtico laboratorio natural para el estudio de los procesos ambientales a gran escala.

En las últimas décadas, el interés científico por la Antártida ha aumentado notablemente, no solo por el comportamiento de sus grandes masas de hielo, sino también por la respuesta de los suelos helados —el denominado **permafrost**— frente al incremento de las temperaturas globales. El permafrost antártico, aunque menos extenso que el ártico, presenta características únicas por su antigüedad, estabilidad y escasa influencia biológica, lo que lo convierte en un excelente sensor geológico del cambio climático.

El presente trabajo analiza el papel del permafrost antártico en el contexto del cambio climático, describiendo su formación, sus características, los métodos de investigación empleados y las principales evidencias observadas en las investigaciones recientes desarrolladas en la Antártida, con especial atención a los trabajos realizados por equipos científicos españoles.

2. Marco geológico y climático de la Antártida

La Antártida es un continente rocoso cubierto en más de un 98 % por hielo. Bajo el casquete glaciar se encuentran cordilleras, mesetas, volcanes activos y antiguos paisajes hoy sepultados. Desde el punto de vista geológico, la Antártida no siempre fue un continente helado: durante el Mesozoico formó parte del supercontinente Gondwana y albergó climas templados e incluso bosques.

El enfriamiento progresivo del continente se produjo tras su separación de Sudamérica y Australia, lo que permitió el establecimiento de la Corriente Circumpolar Antártica. Esta corriente oceánica aisló térmicamente el continente, favoreciendo el desarrollo de un clima extremadamente frío y la formación del casquete glaciar continental.

Actualmente, la Antártida se divide en tres grandes regiones: Antártida Oriental, Antártida Occidental y la Península Antártica. Esta última es la zona climáticamente más sensible y donde se detectan con mayor claridad los efectos del calentamiento reciente, siendo también el área donde se concentra gran parte del estudio del permafrost.

3. El permafrost: definición y características

El **permafrost** se define como el suelo o la roca que permanece a una temperatura igual o inferior a 0 °C durante al menos dos años consecutivos. No se trata necesariamente de suelo completamente congelado, sino de un sistema térmico complejo que incluye:

- El **permafrost propiamente dicho**, permanentemente congelado.
- La **capa activa**, una franja superficial que se descongela durante el verano y vuelve a congelarse en invierno.

En la Antártida, el permafrost se desarrolla principalmente en zonas libres de hielo, como áreas costeras, islas y valles secos. A diferencia del permafrost ártico, el antártico es extremadamente frío, muy antiguo y pobre en materia orgánica, lo que reduce su papel como fuente directa de gases de efecto invernadero, pero aumenta su valor como indicador climático.

4. Métodos de investigación del permafrost antártico

El estudio del permafrost antártico se basa en **investigación de campo prolongada en el tiempo**, con campañas repetidas y estaciones instrumentadas de forma permanente. Entre los principales métodos destacan:

- **Medición de la temperatura del suelo** a distintas profundidades mediante sensores térmicos.
- **Registro de la temperatura del aire**, la cobertura de nieve y la humedad.
- **Determinación del espesor de la capa activa**, especialmente en verano austral.
- **Observación de formas periglaciares** como polígonos de hielo, grietas térmicas y procesos de solifluxión.
- **Series temporales largas**, fundamentales para detectar tendencias y no solo variaciones puntuales.

En el caso de la investigación española, estas mediciones se realizan principalmente en las Islas Shetland del Sur, en enclaves como la Base Antártica Española Juan Carlos I, la Base Gabriel de Castilla y el entorno del Refugio Byers.

5. Evidencias observadas y relación con el cambio climático

Los datos obtenidos en las últimas décadas muestran una tendencia clara:

- Incremento progresivo de la **temperatura media anual del aire**.
- Aumento de la **temperatura media del suelo**.
- **Engrosamiento de la capa activa**, que permanece descongelada durante más tiempo cada año.
- Aparición de **inestabilidad en suelos previamente muy estables**.

Aunque estos cambios son más sutiles que los observados en el Ártico, su importancia radica en que afectan a un sistema tradicionalmente considerado muy estable. La degradación del permafrost antártico no implica grandes emisiones de carbono, pero sí señala una alteración del equilibrio térmico global.

6. Comparación con el permafrost ártico

El permafrost ártico y el antártico responden de manera diferente al calentamiento:

- El **permafrost ártico** es más joven, más cálido y rico en materia orgánica, por lo que su descongelación tiene consecuencias inmediatas para el clima global.
- El **permafrost antártico** es más frío, antiguo y mineral, actuando principalmente como **indicador geológico** del cambio climático.

Esta diferencia convierte al permafrost antártico en un sistema clave para validar modelos climáticos y comprender la respuesta a largo plazo del planeta.

7. Importancia científica y social

El estudio del permafrost antártico permite:

- Comprender la interacción entre clima y geología.
- Anticipar posibles cambios futuros en regiones frías.
- Evaluar la estabilidad de infraestructuras científicas.
- Contribuir a los informes internacionales sobre cambio climático.

Además, refuerza la idea de la Antártida como patrimonio científico de la humanidad, donde la investigación se realiza en beneficio del conocimiento global.

8. Conclusiones

El permafrost antártico constituye uno de los indicadores más fiables del cambio climático a escala geológica. Su estabilidad histórica y su sensibilidad térmica lo convierten en un sensor natural que responde de forma gradual pero inequívoca al calentamiento global.

Las investigaciones desarrolladas en la Antártida muestran que incluso los sistemas más fríos y aparentemente inmutables comienzan a reflejar cambios cuando el equilibrio climático del planeta se altera. Por ello, el estudio del permafrost no solo aporta información sobre el presente, sino que permite anticipar escenarios futuros y comprender mejor el funcionamiento del sistema Tierra.

Vamos a pasar ahora a analizar cada una de las diapositivas que nos mandó el profesor

⇒ MAPA DE LA ANTÁRTIDA

Este mapa es clave para entender **dónde** se investiga.



⇒ Elementos importantes del mapa

- **Antártida Oriental**
  - Muy antigua, estable, extremadamente fría.
- **Antártida Occidental**
  - Más joven, tectónicamente activa, más sensible.
- **Península Antártica**
  - Clima más “suave”.
  - Donde **antes** y **mejor** se detecta el calentamiento.

⇒ **LECTURA GEOLÓGICA**

El permafrost **no se estudia en el centro del casquete**, sino en:

- zonas costeras,
- islas,
- península,
- áreas libres de hielo.

Porque ahí:

- hay suelo,
- hay interacción atmósfera–tierra,
- hay respuesta térmica detectable.



⇒ **ANTÁRTIDA INTERNACIONAL**

1. La Antártida es un **laboratorio internacional compartido**.
2. No pertenece a ningún país.
3. La ciencia es **cooperativa y comparativa**:
    - mismos métodos,
    - distintas regiones,
    - series largas.

Esto es esencial en permafrost:

- un dato aislado no vale,
- lo que importa es la **tendencia**.

⇒ **EL TRATADO ANTÁRTICO**

⇒ **Prohibiciones clave para entender por qué se puede investigar allí**.

- Explotación comercial.
- Armas.
- Residuos.
- Pruebas nucleares.

⇒ **Lectura científica**

La Antártida es: **El único continente dedicado legalmente a la ciencia y a la paz**

Esto garantiza que:

- los datos no están "contaminados" por intereses económicos,
- hay una cooperación científica internacional,
- protección del ecosistema antártico,
- los cambios observados son **naturales o climáticos**, no industriales locales.

⇒ **EL VIAJE AL "LABORATORIO"**



Aquí se muestra la **ruta hacia la Antártida** (Sudamérica → Paso de Drake).

- Muestra el **aislamiento extremo**.
- Explica por qué:
    - hay pocas estaciones,
    - los datos son valiosos,
    - cada campaña cuenta.

Desde el punto de vista científico:

- no se puede "ir cuando quieras",
- las mediciones deben ser **robustas y continuas**.

⇒ **LOGÍSTICA (AVIONES Y BARCOS)**



Qué nos dicen como geólogos:

1. **El trabajo de campo es limitado en el tiempo**
   - Ventana de verano austral.
2. **No se puede improvisar**
   - Instrumentos calibrados antes.



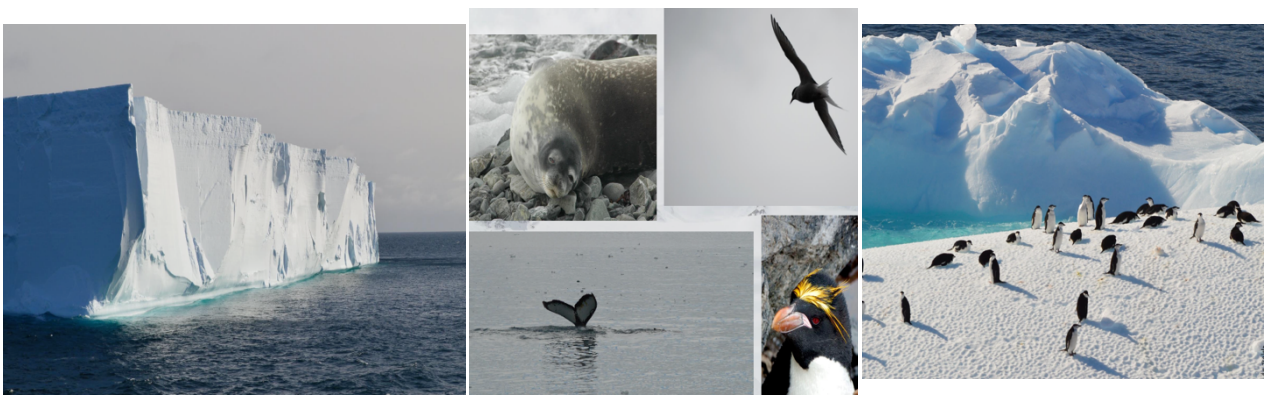
3. **El mantenimiento de estaciones es crítico**
   - si se pierde una, se pierde una serie temporal.

En permafrost, una serie larga (20–30 años) vale **más que mil medidas sueltas**.

⇒ **PAISAJES ANTÁRTICOS**

Aquí nos mostró el profesor **el medio físico real** donde se miden los suelos helados.





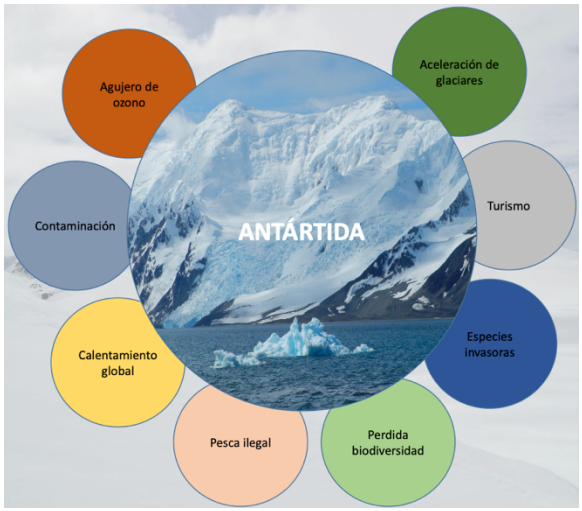
- Zonas costeras con:
  - hielo marino,
  - plataformas,
  - afloramientos rocosos.
- Áreas libres de hielo:
  - donde existe **permafrost**.
- Icebergs:
  - no son el objeto del estudio,
  - son el contexto climático.

◈ El mensaje es: **El permafrost vive en los márgenes, no en el centro del hielo.**

⇒ AMENAZAS SOBRE LA ANTÁRTIDA

En este esquema circular vemos las amenazas que acechan a la Antártida:

- calentamiento global,
- aceleración de glaciares,
- biodiversidad,
- turismo,
- contaminación,
- especies invasoras.



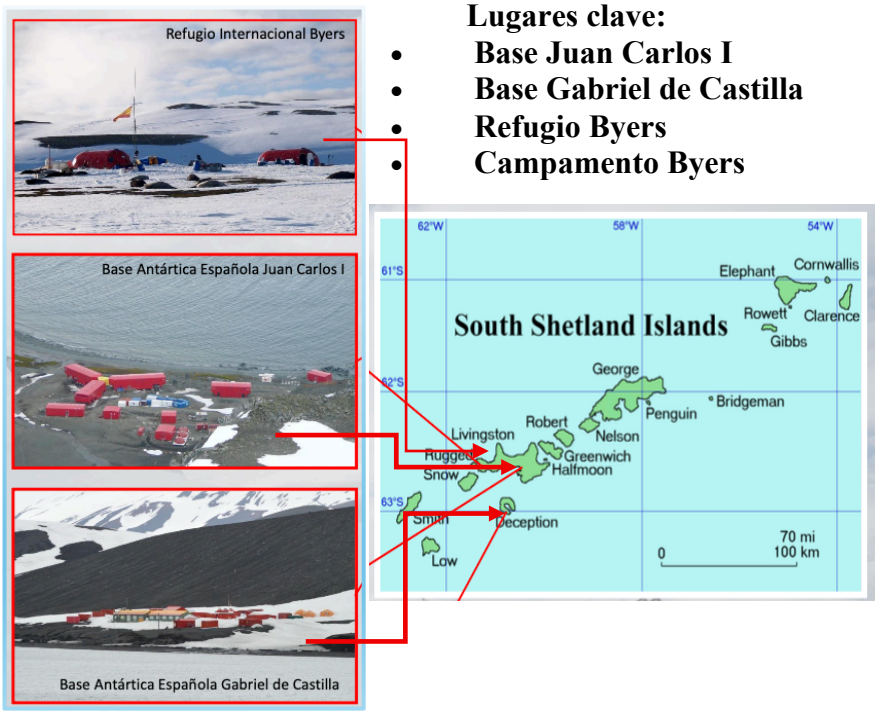
Lectura científica correcta

El permafrost está en el **centro invisible** de muchas de estas amenazas:

- si se degrada:
  - cambia la hidrología,
  - se inestabiliza el terreno,
  - se alteran ecosistemas,
  - se afectan bases científicas.

⇒ BASES ESPAÑOLAS Y TRABAJO DE CAMPO

A partir de aquí entramos en el **núcleo real de la investigación**.



Lugares clave:

- **Base Juan Carlos I**
- **Base Gabriel de Castilla**
- **Refugio Byers**
- **Campamento Byers**

Estas bases están en las **Islas Shetland del Sur**, una de las zonas:

- más templadas de la Antártida,
- más sensibles al calentamiento,
- ideales para estudiar permafrost "marginal".





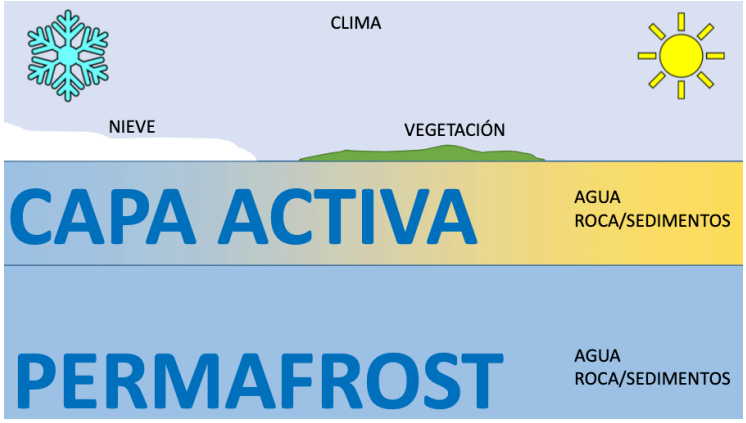


⇒ **<u>ESQUEMA DE PERMAFROST Y CAPA ACTIVA</u>**

Esta imagen es **esencial**.

Interpretación exacta

- **Permafrost**: suelo congelado permanentemente.
- **Capa activa**:
  - se congela y descongela cada año,
  - es la parte que responde primero al clima.
- Variables que la controlan:
  - temperatura del aire,
  - nieve (aislante térmico),



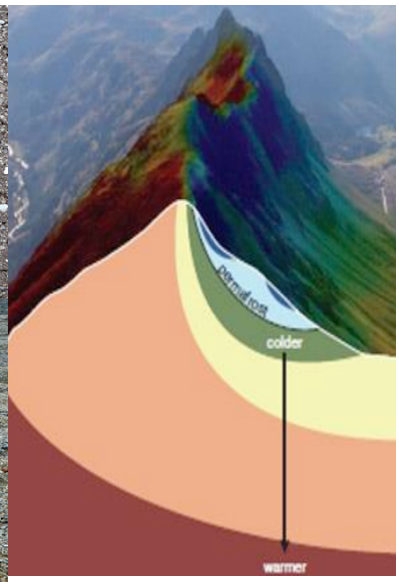
- agua,
- tipo de suelo y roca,
- vegetación (mínima en Antártida).

👉 **El objeto de estudio principal es la capa activa**, no solo el permafrost profundo.

⇒ **FORMAS PERIGLACIARES**

Aquí aparecen:
- grietas,
- polígonos,
- suelos estructurados.





Qué indican
- El permafrost **está activo**.
- Hay contracción térmica.
- Hay movimientos lentos del suelo.

Son **indicadores directos de temperatura del terreno**, más fiables que la foto de un iceberg.

⇒ **PERFIL TÉRMICO DEL PERMAFROST**

Qué se mide
- Temperatura:
  - en superficie,
  - en la capa activa,
  - en profundidad.
- Gradiente geotérmico.
- Profundidad de la base del permafrost.



👉 **Idea clave**

Pequeños cambios en la temperatura media anual:
- desplazan la isoterma de 0 °C,
- adelgazan el permafrost,
- engrosan la capa activa.

⇒ **EJEMPLOS DEL ÁRTICO (COMPARACIÓN)**

Aquí el profesor nos introduce imágenes d**el Ártico como advertencia**:
- colapsos,
- cráteres,
- infraestructuras dañadas.


El sorprendente deslizamiento de una ladera en Noruega convertido en video viral

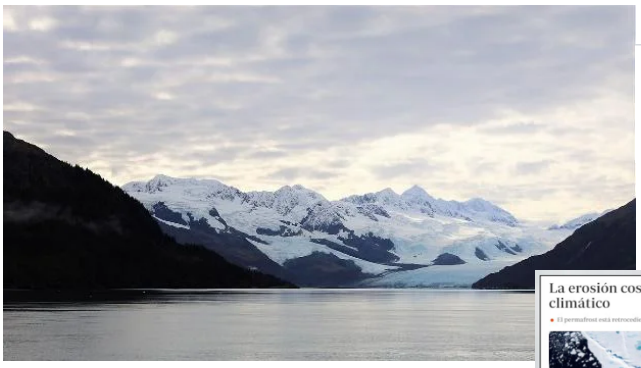
• Los expertos estudian si el espectacular siniestro en Alta es una expresión más del os deshielos en la superficie de la tierra y la desaparición del permafrost

ttps://www.youtube.com/watch?v=kpcBs5JBcPY





https://es.euronews.com/2020/07/13/se-agrava-la-tragedia-silenciosa-de-siberia-con-300-incendios-activos-y-temperaturas-inedi





👉 **Mensaje implícito:** "Esto es lo que pasa cuando el permafrost pierde estabilidad".











https://www.rtve.es/play/videos/informe-semanal/informe-semanal-permafrost-sos/5642919/

👉 Y la pregunta científica es:

- ¿la Antártida seguirá ese camino?,
- ¿o responderá de otra manera?

⇒ DATOS REALES QUE SE ESTUDIAN

Qué se mide exactamente

- Temperatura del aire.
- Temperatura del suelo.
- Espesor de deshielo (thaw depth).
- Duración de la capa activa (>45 días, >60 días).

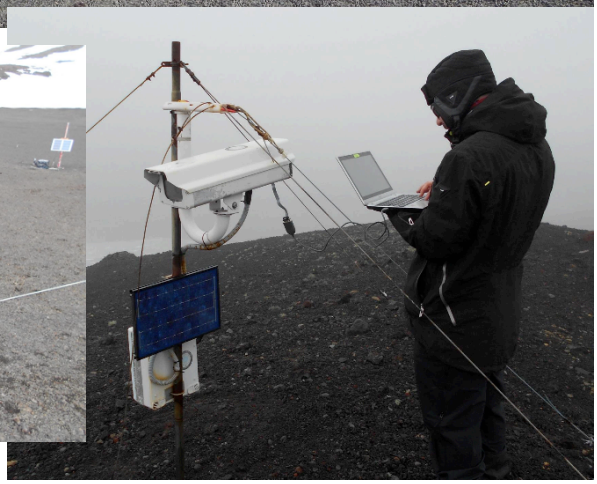
Qué se está viendo

- **Tendencias al alza**, no saltos bruscos.
- Respuesta clara del suelo al calentamiento atmosférico.
- Inestabilidad creciente en zonas marginales.

👉 Esto es **evidencia**, no opinión.







⇒ IDEA FINAL PARA QUE SE ENTIENDA BIEN

- El permafrost antártico no es una bomba de carbono como el ártico.
- Es un **sensor geológico extremadamente fino**.
- Cuando empieza a mostrar inestabilidad, es porque el sistema climático global está cambiando de verdad.

⇒ Por todo ello:

- Si estamos empezando a ver evidencias de la degradación del permafrost….
- Si el permafrost en algunos puntos es altamente inestable…
- Si los suelos congelados son sensibles a las temperaturas de la atmósfera….
- Si las temperaturas del aire en la Antártida están ascendiendo…

⇒ Surge la gran pregunta:

- ¿Cuánto tiempo de existencia le queda al permafrost antártico?
- ¿Qué consecuencias puede tener su degradación en la Antártida?
- ¿y a escala global?

Tema 8: GEOLOGÍA PLANETARIA

La **geología planetaria** (también llamada astrogeología o exogeología) es la disciplina científica que aplica los principios, métodos y técnicas de la geología terrestre al estudio de otros cuerpos celestes.

Básicamente, es como ser un geólogo convencional, pero con un campo de trabajo que se extiende por todo el sistema solar. Mientras que la geología tradicional se limita a nuestro "patio trasero" (la Tierra), la planetaria busca entender cómo se formaron y evolucionaron todos los objetos sólidos del espacio.

¿DE QUÉ TRATA Y QUÉ ESTUDIA?

Esta ciencia no se limita a mirar rocas espaciales; trata de reconstruir la historia de los mundos a través de sus huellas físicas. Sus principales áreas de enfoque son:

- **Composición y Estructura:** Analiza de qué están hechos los planetas (núcleos metálicos, mantos rocosos o hielos exóticos) y cómo se organizan sus capas internas.
- **Procesos de Superficie:**
  - **Cráteres de impacto:** Es el proceso más dominante en el sistema solar. Los geólogos usan la densidad de cráteres para calcular la edad de una superficie.
  - **Volcanismo:** Estudia desde los volcanes gigantes de Marte hasta el criovolcanismo (volcanes de hielo) en lunas lejanas.
  - **Tectónica:** Busca fallas, grietas y montañas causadas por el enfriamiento o la deformación de la corteza en otros mundos.
  - **Erosión y Sedimentación:** Observa cómo el viento en Marte o el metano líquido en Titán esculpen el paisaje, creando dunas, deltas y valles.
- **Astrobiología y Habitabilidad:** Investiga la presencia de agua (pasada o presente) y minerales que puedan indicar si un lugar fue o es apto para la vida.

Objetos de estudio principales

La geología planetaria no discrimina; si es sólido (o tiene un núcleo sólido), solo es objeto de estudio:

OBJETO	EJEMPLO DE INTERÉS GEOLÓGICO
Planetas Terrestres	El vulcanismo en Venus, el polvo de Marte o el núcleo denso de Mercurio.
Satélites (Lunas)	El océano bajo el hielo de Europa (Júpiter) o los volcanes de azufre en Ío.
Asteroides y Cometas	Son "fósiles" del sistema solar primigenio que conservan la química original.
Meteoritos	Muestras gratuitas que caen del cielo y permiten análisis químicos directos en laboratorios terrestres.

¿CÓMO LO ESTUDIAN? (SI NO PUEDEN IR ALLÍ)

Dado que (por ahora) no podemos enviar a miles de geólogos con martillos al espacio, se utilizan métodos ingeniosos:

1. **Sensores remotos:** Satélites que orbitan otros planetas usando cámaras de alta resolución y espectrómetros para saber de qué están hechas las rocas desde lejos.
2. **Misiones Robóticas:** Rovers como el *Curiosity* o el *Perseverance* que actúan como geólogos robóticos sobre el terreno marciano.
3. **Análogos Terrestres:** Se estudian lugares en la Tierra (como el Desierto de Atacama o Río Tinto) que se parecen geológicamente a Marte para probar teorías y herramientas.

- El gran paradigma de esta ciencia es la **Planetología Comparada**: usamos lo que sabemos de la Tierra para entender otros mundos, y lo que aprendemos de otros mundos nos ayuda a entender el pasado y el futuro de nuestro propio planeta.

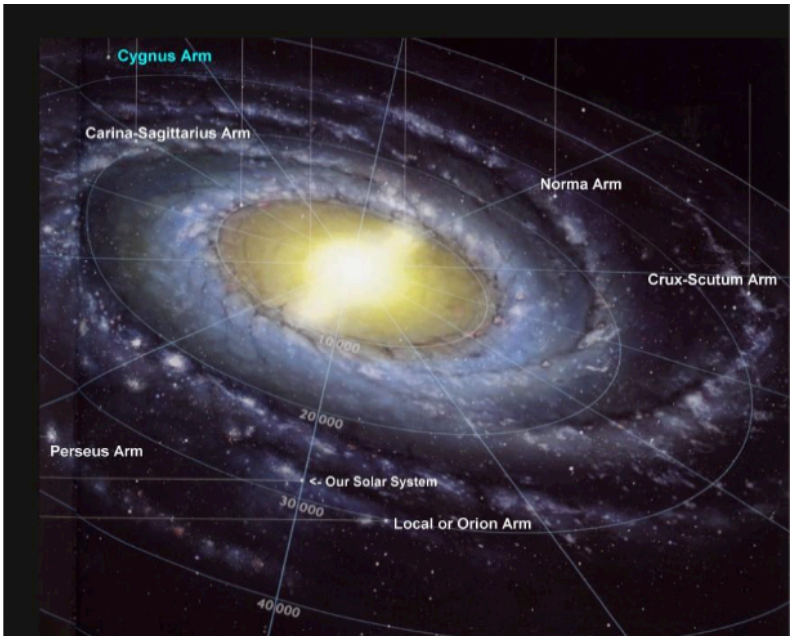
  - **ESTE ES EL ITINERARIO CONCEPTUAL QUE VAMOS A ESTUDIAR:**
    1. **El Sistema Solar**
    2. **El Sol**
    3. **Sistema Solar interior**
    4. **Cinturón de asteroides**
    5. **Sistema Solar exterior**
    6. **Cuerpos transneptunianos**

  - Este orden **no es casual**:

- Se empieza por el **marco general** (Sistema Solar).
- Se pasa a los **planetas rocosos**, donde la geología es más "terrestre".
- Luego a los **asteroides**, restos primitivos.
- Después a los **gigantes gaseosos y sus satélites**, donde aparecen hielos, océanos internos y criovulcanismo.
- Se termina en los **confines del Sistema Solar**, con cuerpos helados y muy antiguos.

👉 Es un recorrido **desde lo conocido hacia lo desconocido**.

⇒ **<u>EL SISTEMA SOLAR: LOCALIZACIÓN</u>**



- El Sistema Solar está en la **Vía Láctea**, en el **brazo de Orión**.
- Galaxia espiral de ~100.000 años luz de diámetro.
- Posible agujero negro en el núcleo.

1. **Contexto cósmico**

La geología planetaria **no empieza en los planetas**, empieza en:

- la galaxia,
- la nube de materia de la que surge el Sistema Solar.

2. **El Sistema Solar NO está en el centro**

Está en una zona relativamente tranquila de la galaxia:

- menos supernovas,
- menos radiación extrema,
- mayor estabilidad a largo plazo.

Esto es importante porque:

- permite la **formación y conservación** de planetas,
- favorece procesos geológicos de larga duración.

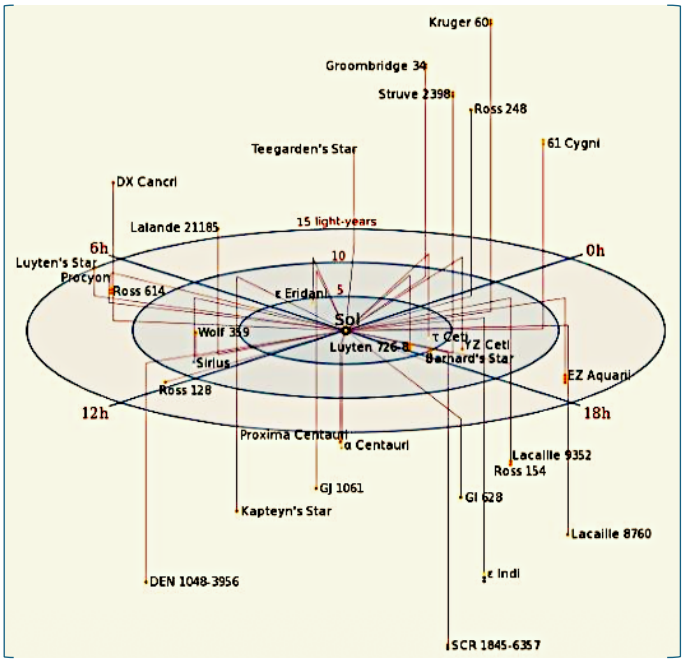
⇒ **<u>SISTEMA SOLAR: ENTORNO ESTELAR CERCANO</u>**

- **Localización del Sistema Solar**

- Estrellas más próximas:
  - **Próxima Centauri** (4,2 a.l.)

- **Alfa Centauri** (4,37 a.l.)

- Sistema planetario más cercano: Próxima Centauri.



Lectura geológica (muy importante)

1. **Comparación planetaria**

Saber que hay otros sistemas planetarios cercanos permite:

- comparar la **geología de la Tierra** con posibles exoplanetas,
- entender si nuestros procesos son excepcionales o comunes.

2. **La Tierra como referencia**

Toda la geología planetaria se apoya en un principio:

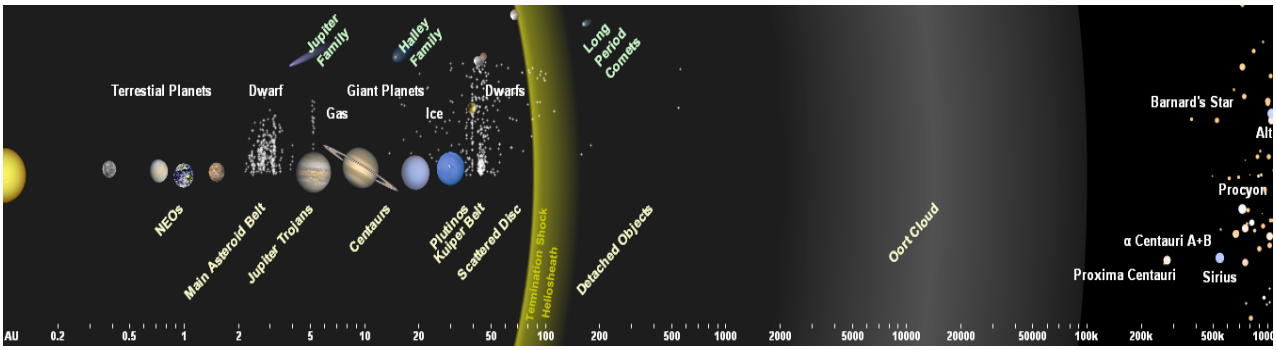
La Tierra es el único planeta que conocemos bien, y es el patrón de comparación.

Por eso se estudian:

- cráteres,
- volcanes,
- tectónica,
- hielos,

en otros cuerpos.

⇒ EL SISTEMA SOLAR (ESQUEMA GENERAL)



Lectura geológica del esquema

Aquí es importante captar tres ideas:

1. **Orden térmico**
   - Cerca del Sol → cuerpos rocosos.
   - Lejos del Sol → hielos y gases.
2. **Gradiente composicional**
   - Planetas interiores: silicatos y metales.
   - Exteriores: hidrógeno, helio, hielos de agua, amoniaco, metano.
3. **Origen común**

Todos los cuerpos:

- se formaron a partir de la **misma nebulosa primitiva**,
- pero evolucionaron de manera distinta.

👉 La geología planetaria es, en realidad, **geología comparada**.

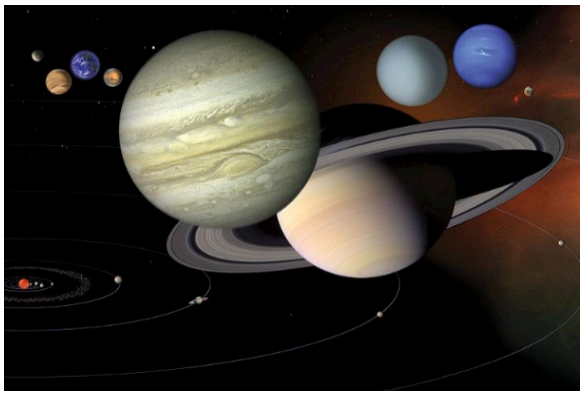
⇒ CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA SOLAR

Ideas fundamentales

- Órbitas casi coplanares → origen en un disco.
- Movimiento de rotación y traslación → conservación del momento angular.
- Diferencias de tamaño → diferenciación térmica y gravitatoria.
- Impactos frecuentes en la historia temprana → cráteres como registro geológico.

👉 **Los cráteres de impacto son fósiles geológicos**, no accidentes.

⇒ CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA SOLAR



Aquí presentamos una lista:

- **El Sol**
- **Sistema Solar interior**
  - Mercurio, Venus, Tierra, Marte
- **Cinturón de asteroides -** Ceres
- **Sistema Solar exterior**
  - Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno
- **Cuerpos transneptunianos**
  - Plutón, Cinturón de Kuiper, Nube de Oort

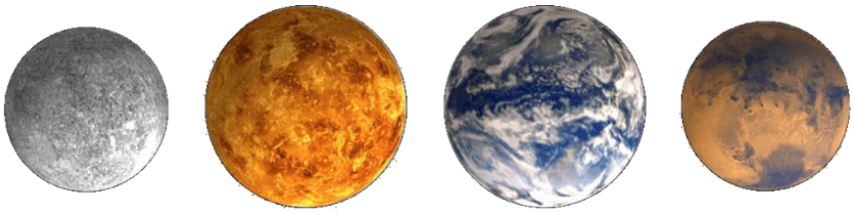
Esta clasificación es **geológica**, no solo orbital:

- Interior → **geología rocosa**
- Asteroides → **material primitivo**
- Exterior → **geología de hielos**
- Transneptunianos → **archivo del origen del Sistema Solar**

De momento hemos dejado **muy bien asentado el marco general**.

👉 El siguiente paso lógico —y donde empieza lo realmente "geológico"— comienza a partir de aquí.

⇒ SISTEMA SOLAR INTERIOR: COMPARACIÓN GEOLÓGICA DE LOS PLANETAS ROCOSOS



Vamos a analizar una **tabla comparativa** de **Mercurio**, **Venus**, **Tierra** y **Marte**.

Aunque parece "astronómica", su objetivo es **geológico**: mostrar **cómo pequeñas diferencias físicas condicionan historias geológicas radicalmente distintas**.

Planeta	Diámetro (/Tierra)	Diámetro ecuatorial (km)	Masa (/Tierra)	Radio orbital (UA).	Periodo orbital (años).	Periodo de rotación (días)	Incl.	Satelites	Composición de la atmósfera
Mercurio	0,39	4878	0,06	0,39	0,24	58,6	7º	0	Trazas de hidrógeno y helio
Venus	0,95	12100	0,82	0,72	0,615	243	3,4°	0	96% CO2, 3% nitrógeno,0.1% agua
Tierra	1,00	12756	1,00	1,00	1,00	1,00	0º	1	78% nitrógeno, 21% oxígeno, 1% argón
Marte	0,53	6787	0,11	1,52	1,88	1,03	1,9º	2	95% CO2, 1.6% argón, 3% nitrógeno

Profundizamos columna por columna explicando **qué significa geológicamente**.

1) Diámetro y masa (en relación con la Tierra)

- **Mercurio**: muy pequeño y poco masivo.
- **Venus**: casi gemelo de la Tierra.
- **Tierra**: referencia.
- **Marte**: intermedio, pero claramente más pequeño que la Tierra.

Lectura geológica clave

La **masa controla la geología** porque determina:

- cuánto calor interno se conserva,
- cuánto tiempo permanece activo el interior,
- si hay tectónica, volcanismo prolongado o enfriamiento rápido.

Consecuencias:

- Mercurio se enfría pronto → geología "corta".
- Marte se enfría antes que la Tierra → actividad antigua, hoy residual.
- Tierra y Venus conservan calor → geología intensa y prolongada.

2) Radio orbital (UA) y periodo orbital

- Mercurio y Venus están **muy cerca del Sol**.
- Marte está **más lejos**, con periodos orbitales más largos.

Lectura geológica

La distancia al Sol controla:

- la **energía recibida**,
- la **temperatura media**,
- la **retención o pérdida de atmósfera**,
- la **presencia de agua líquida**.

Esto explica por qué:

- Mercurio es extremo térmicamente.
- Venus entra en efecto invernadero desbocado.
- Marte pierde gran parte de su atmósfera.
- La Tierra queda en la **zona de estabilidad**.

3) Periodo de rotación

- **Mercurio**: rotación muy lenta.
- **Venus**: rotación extremadamente lenta y retrógrada.
- **Tierra**: rotación rápida (24 h).
- **Marte**: similar a la Tierra.

Importancia geológica

La rotación influye en:

- dinámica atmosférica,
- circulación térmica,
- distribución de tensiones litosféricas.

Venus es el caso extremo:

- días larguísimos,
- calentamiento desigual,
- posible influencia en su tectónica peculiar (sin placas).

4) Inclinación del eje

- Tierra y Marte tienen inclinaciones comparables.
- Mercurio y Venus, mucho menores.

- **Lectura climática-geológica**

La inclinación controla:

- estaciones,
- redistribución del hielo,
- ciclos climáticos largos.

Marte, por ejemplo:

- ha tenido grandes variaciones de inclinación,
- lo que explica glaciaciones pasadas y redistribución del hielo.

5) Satélites

- Mercurio y Venus: **ninguno**.
- Tierra: **uno** (la Luna).
- Marte: **dos pequeños**.

- **Lectura geológica profunda**

La Luna:

- estabiliza el eje terrestre,
- controla mareas,
- influye en la dinámica interna a largo plazo.

La Tierra **no es geológicamente independiente de la Luna**.
Esto no ocurre en Venus ni Mercurio.

6) Composición de la atmósfera

- **Mercurio**: apenas trazas (hidrógeno y helio).
- **Venus**: CO_2 casi puro, atmósfera muy densa.
- **Tierra**: N_2 y O_2, atmósfera equilibrada.
- **Marte**: CO_2, pero muy tenue.

- **Aquí está la clave geológica del tema**

La atmósfera controla:

- meteorización,
- erosión,
- estabilidad del agua,
- intercambio calor–superficie.

Comparación directa:

- Venus y Marte tienen CO_2 → pero resultados opuestos:
  - Venus: exceso → infierno térmico.
  - Marte: defecto → congelación y pérdida de agua.
- La Tierra mantiene un **equilibrio dinámico** gracias a:
  - tectónica de placas,
  - ciclo del carbono,
  - presencia de océanos.

👉 **Cuatro planetas aparentemente parecidos han tenido historias geológicas muy distintas.**

La causa está en la **combinación** de:

- masa,
- distancia al Sol,
- atmósfera,
- rotación,
- satélites.
  - Pequeñas diferencias iniciales → **divergencias enormes** con el tiempo.

- **Conclusión:**

El Sistema Solar interior es un experimento natural de geología comparada. Mercurio, Venus, Tierra y Marte se formaron a partir de materiales similares, pero su masa, su posición orbital y su evolución atmosférica han condicionado trayectorias geológicas radicalmente distintas. La Tierra no es "normal": es un caso excepcional de equilibrio geológico y climático mantenido durante miles de millones de años.

- **Ahora vamos a comenzar con MERCURIO el análisis planetario individual. Pero antes explicaremos un tema imprescindible para entender la geología planetaria.**

⇒ **¿QUÉ SIGNIFICA "BOMBARDEO TEMPRANO INTENSO"?**

Esto significa que, **al principio de la historia del Sistema Solar**, los planetas —incluido **Mercurio**— **recibieron una enorme cantidad de impactos** de cuerpos rocosos (asteroides y restos **planetesimales**), muchísimos más que hoy.

Los restos **planetesimales** son cuerpos sólidos primordiales de más de 1 km de diámetro, formados por el incremento de polvo y hielo en los discos protoplanetarios alrededor de estrellas jóvenes. Funcionan como los bloques de construcción fundamentales que, mediante colisiones y gravedad, crearon protoplanetas y eventualmente planetas durante la formación del Sistema Solar hace unos 4.600 millones de años.

https://www.youtube.com/watch?v=sQMBUINDEjM&t=23s

- Todo esto no fue algo puntual ni anecdótico: fue **una etapa global y fundamental** de la historia del Sistema Solar.

1. CONTEXTO: CÓMO NACE EL SISTEMA SOLAR

Hace unos **4.600 millones de años**:

1. Se forma el Sol a partir de una nube de gas y polvo.
2. Alrededor queda un **disco protoplanetario**.
3. En ese disco:
   - se forman planetas,
   - pero **sobran millones de fragmentos**: rocas, cuerpos incompletos, restos de colisiones.

Durante mucho tiempo, el Sistema Solar fue **un lugar caótico**:

- órbitas inestables,
- choques frecuentes,
- cuerpos cruzándose constantemente.

👉 Ese caos es el origen del **bombardeo temprano**.

2. PERO, ¿QUÉ ES EXACTAMENTE EL "GRAN BOMBARDEO"?

Se llama así a un periodo en el que:

- Los planetas recibieron **impactos continuos y energéticos**.
- Los impactos eran:
  - mucho más frecuentes,
  - mucho más grandes,
  - mucho más destructivos

que los actuales.

En la Luna y en Mercurio vemos cráteres de:

- **decenas**,
- **cientos**,
- incluso **miles de kilómetros** de diámetro.

Eso **no ocurre hoy**.

3. ¿POR QUÉ SE LLAMA "TEMPRANO"?

Porque ocurrió **muy pronto** en la historia del Sistema Solar:

- Principalmente entre **4.500 y 3.800 millones de años atrás**.
- En términos geológicos:
  - fue una fase inicial,
  - antes de que los planetas alcanzaran estabilidad.

Después:

- las órbitas se ordenan,
- la mayoría de los restos desaparecen,
- los impactos se vuelven raros.

4. ¿POR QUÉ MERCURIO CONSERVA ESA HUELLA Y LA TIERRA NO?

Aquí está la diferencia geológica crucial.

Mercurio:

- No tiene atmósfera eficaz.
- No tiene agua líquida.
- No tiene tectónica de placas.
- Tiene muy poca actividad interna desde muy pronto.

👉 **Nada borra los cráteres.**

Cada impacto queda **registrado para siempre**.

Por eso, cuando miramos Mercurio:

- vemos una superficie **saturada de cráteres**,
- unos encima de otros,
- como una piel llena de cicatrices antiguas.

La Tierra (en contraste):

- Tiene atmósfera.
- Tiene agua.
- Tiene erosión.
- Tiene tectónica de placas.

👉 En la Tierra:

- los cráteres se erosionan,
- se rellenan,
- se subducen,
- desaparecen.

  - **No porque no hubiera bombardeo**, sino porque **la Tierra lo ha borrado**.

5. ¿QUÉ INFORMACIÓN GEOLÓGICA NOS DAN ESOS CRÁTERES?

Los cráteres de Mercurio son **fósiles geológicos**, como los fósiles biológicos en la Tierra.

Nos permiten saber:

❖ **La edad relativa de la superficie**

➢ Cuantos más cráteres → más antigua es la superficie.

❖ **La intensidad del bombardeo primitivo**
  ➢ La densidad extrema de cráteres indica un entorno muy violento.
❖ **La historia temprana del Sistema Solar**
  ➢ Mercurio y la Luna actúan como "archivos" del pasado.

  ▪ Por eso decimos: Mercurio conserva la huella del gran bombardeo inicial del Sistema Solar.

6. IMPORTANCIA GEOLÓGICA PROFUNDA

Sin Mercurio (y sin la Luna):

- **no sabríamos** cuántos impactos sufrió la Tierra primitiva,
- **no entenderíamos** cómo se formaron los planetas,
- **no podríamos reconstruir** la etapa caótica inicial del Sistema Solar.

  ▪ Mercurio es, en este sentido, **un fósil planetario completo**.

7. IDEA FINAL, CLARA Y DIRECTA

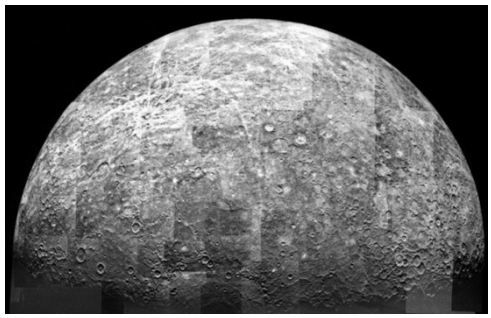
Cuando leemos:

"Bombardeo temprano intenso"

◈ Debemos entender esto:

Durante los primeros cientos de millones de años, Mercurio fue golpeado repetidamente por asteroides y restos planetarios, en un entorno caótico propio del nacimiento del Sistema Solar. Como no tiene procesos que renueven su superficie, esos impactos han quedado preservados hasta hoy como cráteres, permitiéndonos estudiar directamente la historia más antigua del Sistema Solar.

⇒ MERCURIO (INTRODUCCIÓN)



◈ **Rasgos observables (primer vistazo)**

- Planeta **pequeño**, denso.
- Superficie **muy craterizada**.
- Aspecto visual similar a la Luna.

◈ **Lectura geológica inicial**

Mercurio es un planeta **antiguo en superficie** y **rápidamente enfriado**. Su pequeño tamaño implica:

- pérdida temprana del calor interno,
- cese precoz de la actividad geológica intensa.

◈ Mercurio es, en geología planetaria, un **registro fósil** del Sistema Solar primitivo.

⇒ SUPERFICIE Y MORFOLOGÍA



Aquí se muestran imágenes de la superficie.

◈ **Qué vemos realmente**

- Abundancia extrema de **cráteres de impacto**.
- Llanuras relativamente lisas entre regiones craterizadas.
- Escasez de formas asociadas a erosión (no hay agua ni atmósfera efectiva).

◈ **Interpretación geológica**

1. **Bombardeo temprano intenso**

Mercurio conserva la huella del gran bombardeo inicial del Sistema Solar.

2. **Ausencia de reciclado superficial**

No hay:

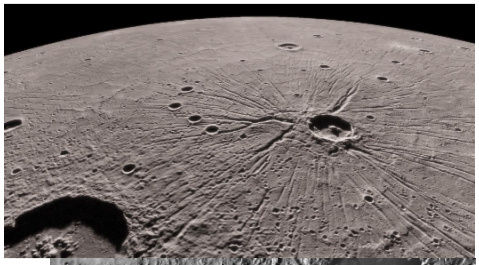
- atmósfera densa,
- agua,
- tectónica de placas.

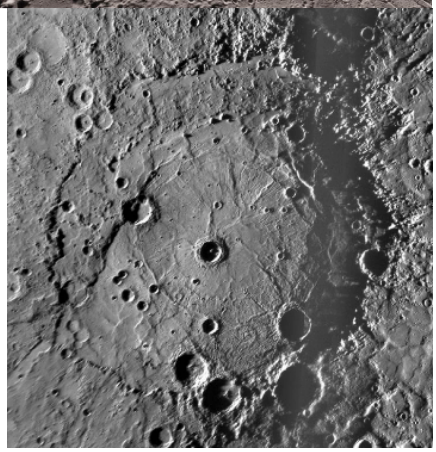
Por tanto, **los cráteres no se borran**.

La superficie de Mercurio es un **archivo casi intacto** de los primeros cientos de millones de años.

⇒ CARACTERÍSTICAS GENERALES

- solo ha sido visitado por **Mariner 10**, **MESSENGER** y **BepiColombo**.
- Es el planeta más cercano al Sol.
- Muy similar a la luna en lo referente a los volcanes
- No tiene satélites.





Lectura geológica profunda

Aunque parezca "muerto", Mercurio:

- tuvo **volcanismo antiguo**, responsable de las llanuras lisas;
- posee un **núcleo metálico enorme**, lo que explica:
  - su alta densidad,
  - la existencia de **campo magnético** (sorprendente para su tamaño).

Mercurio no es solo un planeta craterizado: es un cuerpo **diferenciado** con historia interna compleja.

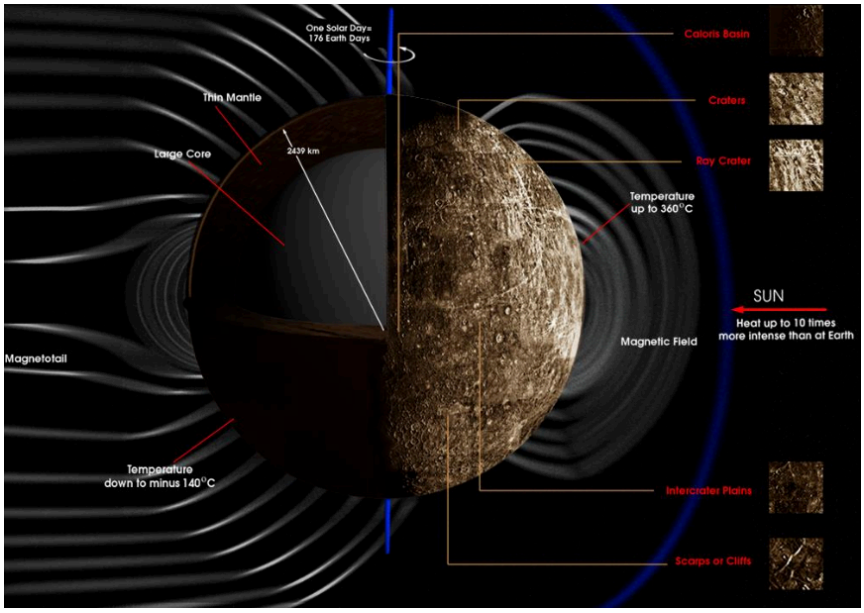
⇒ CAMPO MAGNÉTICO, ATMÓSFERA Y TEMPERATURAS

Campo magnético

- Débil pero real.
- Muestra un **núcleo parcialmente fundido** durante parte de su historia.

Atmósfera

- Extremadamente tenue (exosfera).



- Compuesta por átomos arrancados de la superficie.

Temperaturas extremas

- Día: > 400 °C
- Noche: < −170 °C

Consecuencia geológica

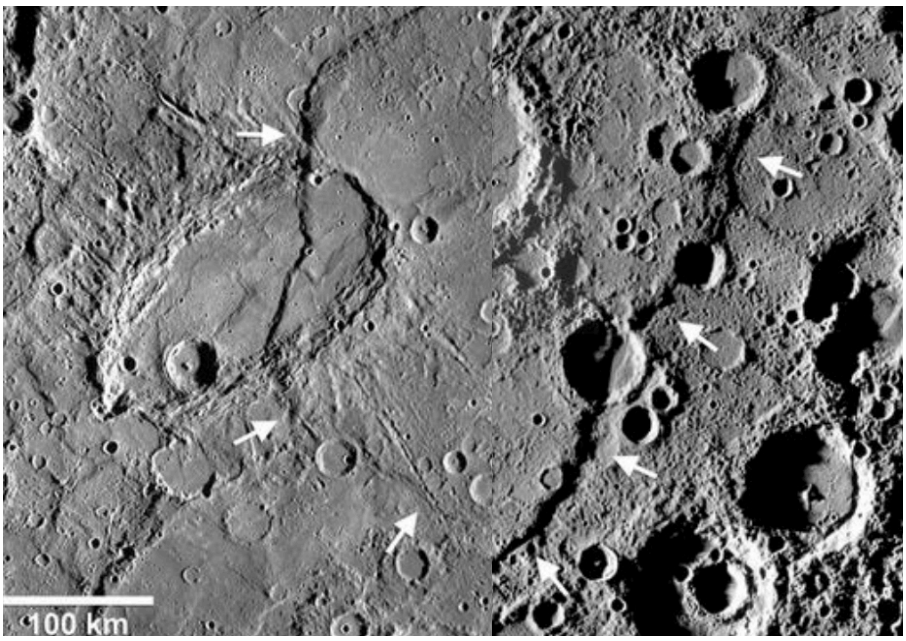
- **Fatiga térmica** de las rocas.
- Fragmentación superficial lenta pero continua.
- Ninguna posibilidad de agua líquida estable.

Mercurio es un planeta de **extremos físicos**, no de procesos activos actuales.

⇒ TECTÓNICA COMPRESIVA

¿Qué se observa en esta diapositiva?

- Grandes **escarpes lobulados** (fallas inversas).
- Superficie "arrugada".



Interpretación

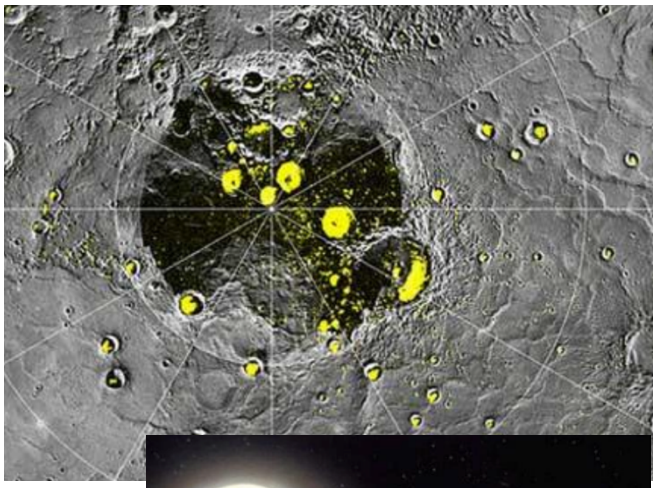
1. Mercurio se **enfrió rápidamente**.
2. Al enfriarse, el planeta **se contrajo**.
3. Esa contracción generó **compresión global**.
4. La corteza se rompió formando escarpes.

👉 Mercurio es el único planeta donde vemos claramente una **tectónica de contracción global**.

👉 Es una geología dominada por el **enfriamiento**, no por la dinámica.

⇒ HIELO EN LOS POLOS

La misión **MESSENGER** de la NASA confirmó en 2011 y 2012 la existencia de hielo en el planeta, detectó por medio de radar y confirmaciones posteriores en el polo norte del planeta agua helada y material orgánico oscuro, similar al alquitrán o al carbón.

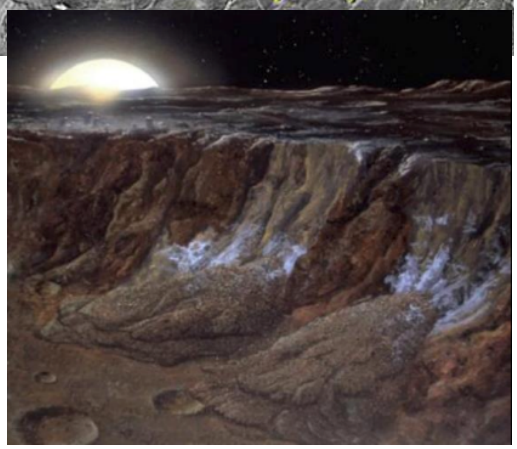


◈ ¿Cómo es posible?

Los cráteres en las regiones polares están en **sombra permanente**, ya que no reciben luz solar directa al tener muy poca inclinación el eje del planeta, actuando por ello, como trampas frías o "neveras gigantes", con una temperatura que puede superar los -200 º conservando el hielo durante millones de años. Se estima que hay miles de millones de toneladas de hielo en los polos.

◈ Lectura geológica y planetaria

- El hielo no implica clima frío global.
- Es un ejemplo de **microambientes térmicos**.
- Indica aportes de:
  - cometas,
  - asteroides ricos en volátiles.



◈ Todo esto demuestra que en Mercurio **la presencia de hielo no implica habitabilidad**, sino condiciones geométricas específicas.

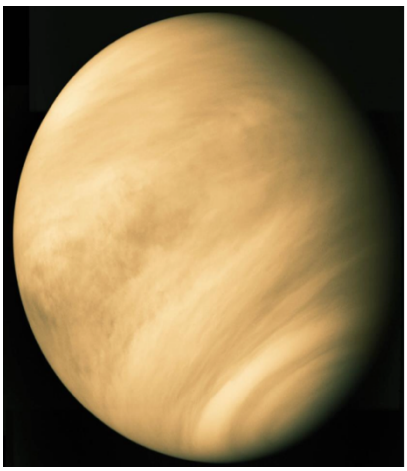
👉 Este video explica cómo se forma hielo en el planeta Mercurio: **https://www.youtube.com/shorts/BCQwdoEjgY0**

RECAPITULACIÓN INTEGRADA DE MERCURIO

Mercurio es un planeta pequeño, denso y extremadamente antiguo en superficie, cuya historia geológica está dominada por el enfriamiento rápido, la pérdida temprana de actividad interna y la conservación casi intacta de los registros del bombardeo primitivo. Su tectónica compresiva global, la presencia de volcanismo antiguo, un núcleo metálico dominante y depósitos de hielo en cráteres polares lo convierten en un laboratorio excepcional para estudiar los primeros estadios de la evolución planetaria.

⇒ VENUS (INTRODUCCIÓN)

- **Venus** es el "gemelo" de la Tierra en tamaño y masa, pero **no en geología**.



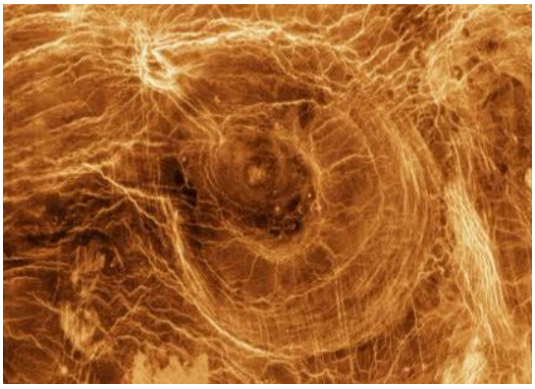


- **Clave geológica inicial**

- Su tamaño similar, pero **no** implica evolución similar.
- Venus es un ejemplo de **divergencia planetaria**: pequeñas diferencias iniciales provocan resultados extremos.

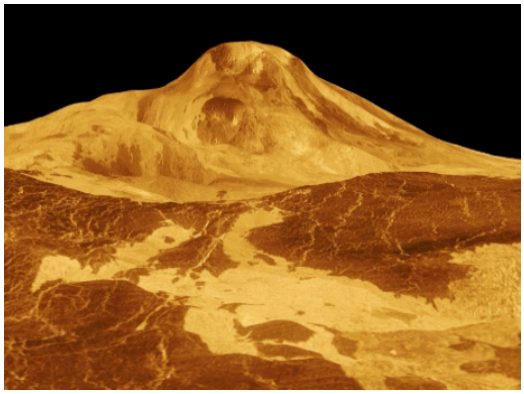
👉 Desde el punto de vista geológico, Venus plantea la pregunta central del tema:
¿Cómo puede un planeta casi igual a la Tierra acabar con una superficie y un clima tan distintos?

⇒ ATMÓSFERA, OBSERVACIÓN Y VOLCANISMO



- **Hechos observables**

- **Atmósfera muy densa** (≈96 % CO_2) esto impide observar la superficie.
- Carece de satélites.
- Superficie **invisible en luz visible**.
- Geología conocida **por RADAR** (misiones Venera y Magellan). El radar "ve" a través de las nubes, desvela volcanes, coladas, fracturas y llanuras.



- **Actividad volcánica muy intensa** (predominio de basaltos).

- **Lectura geológica profunda**

1. **Efecto invernadero desbocado**

La enorme atmósfera de CO_2 atrapa calor de forma permanente. Esto tiene consecuencias geológicas:

- temperaturas superficiales ~460 °C,
- ausencia total de agua líquida,
- imposibilidad de meteorización "terrestre".

2. **Volcanismo dominante**
   - Composición basáltica similar a la Tierra,
   - pero **sin océanos** que amortigüen o reciclen calor.
   - La superficie se **renueva por grandes episodios volcánicos**.

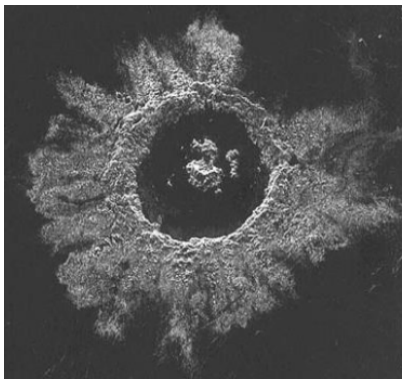
⇒ ESCASEZ DE CRÁTERES



Venus tiene **muy pocos cráteres** para su tamaño (≈182), y **no están superpuestos** como en Mercurio o la Luna.

Interpretación geológica (muy importante)

- La superficie de Venus es **geológicamente joven**.
- Los cráteres se distribuyen **de forma casi aleatoria**, lo que indica:
  - una **renovación global** relativamente reciente,
  - no un reciclado local y continuo como en la Tierra.



Conclusión

Venus **"reinició" su superficie** en algún momento del pasado geológico (probablemente hace ~300–700 Ma), borrando la huella del bombardeo antiguo.

⇒ CONDICIONES EXTREMAS Y COMPOSICIÓN

Condiciones ambientales

- Temperatura muy extrema: ~460 °C (día y noche).
- Presión también muy alta: ~92 atm (como 900 m bajo el océano terrestre).
- Atmósfera muy rica en: dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N) y **nubes de ácido sulfúrico** (H_2SO_4).
- **Lluvia ácida** (que se evapora antes de tocar el suelo).

Lectura geológica

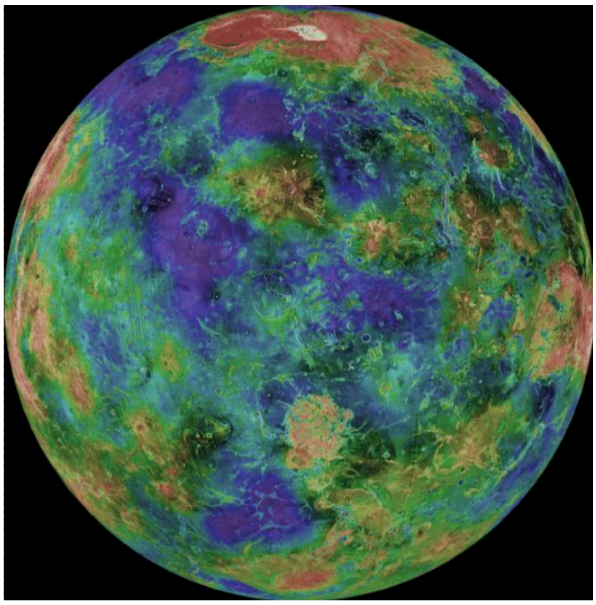
1. **Química de la superficie**
   - Sin agua líquida → **no hay ciclo del carbono** como en la Tierra.
   - El CO_2 volcánico **se acumula** en la atmósfera.
2. **Meteorización "venúsica"**
   - Predominan reacciones de alta temperatura,
   - alteración química distinta a la terrestre,
   - estabilidad de basaltos a Temperaturas altas.
3. **Basalto compatible con la Tierra**
   - La diferencia no es el magma,
   - es el **ambiente superficial**.



⇒ MORFOLOGÍAS Y TECTÓNICA

Rasgos geológicos característicos

- **Volcanes escudo** gigantes.
- **Domos volcánicos**.
- **Teselas** (terrenos altamente deformados).
- Grandes **fracturas y grietas**.
- Ausencia de **tectónica de placas** al estilo terrestre.



Interpretación geodinámica

1. **Litosfera rígida ("tapa estancada")**
   - No hay placas móviles.
   - El calor interno **se acumula** bajo la corteza.
   - **Liberación catastrófica**
   - renovación casi global de la superficie,
   - deformación intensa de terrenos antiguos (teselas).
2. **Comparación con la Tierra**
   - La Tierra libera calor **poco a poco** (placas).
   - Venus lo libera **a golpes** (eventos globales).

RECAPITULACIÓN INTEGRADA DE VENUS

Venus es un planeta rocoso de tamaño similar a la Tierra cuya evolución geológica está dominada por una atmósfera extremadamente densa y un régimen geodinámico sin tectónica de placas. La acumulación de calor interno bajo una litosfera rígida ha dado lugar a episodios volcánicos globales que han renovado casi por completo su superficie en tiempos geológicos relativamente recientes. La escasez de cráteres de impacto, la abundancia de llanuras basálticas y la presencia de terrenos altamente deformados reflejan una historia geológica radicalmente distinta de la terrestre, en la que el efecto invernadero desbocado y la ausencia de agua líquida han sido determinantes.

⇒ LA TIERRA (INTRODUCCIÓN GEOLÓGICA)



Tierra es el **planeta rocoso más grande** del Sistema Solar interior y el **único** con vida conocida.

- **Lectura geológica inicial**

- La Tierra es **un sistema activo**, no una superficie fósil.
- Su rasgo distintivo no es un elemento aislado, sino la **interacción continua** entre:
  - **Geosfera** (rocas, tectónica),
  - **Hidrosfera** (océanos),
  - **Atmósfera**,
  - **Biosfera**.

- Este acoplamiento explica por qué la Tierra **no se parece** ni a Mercurio, ni a Venus, ni a Marte, pese a compartir origen rocoso.

⇒ RASGOS FUNDAMENTALES

1) Atmósfera densa y dinámica

- Composición dominada por **N_2 y O_2**.
- Regula la temperatura (efecto invernadero moderado).
- Permite **meteorización química** y **erosión**.

- **Geología implicada**: la atmósfera es un **agente geológico**; sin ella, la superficie no se renovaría como lo hace.

2) Hidrosfera extensa

- Océanos ocupan las zonas deprimidas.
- El agua líquida es estable a escala planetaria.

- **Geología implicada**:

- Erosión fluvial y marina,
- Sedimentación,
- Ciclo de los minerales,
- Control del clima a largo plazo.

3) Tectónica de placas

Este es el rasgo **clave**.

- Litosfera fragmentada en placas móviles.
- Subducción, expansión oceánica y colisiones continentales.

- **Consecuencias geológicas**:

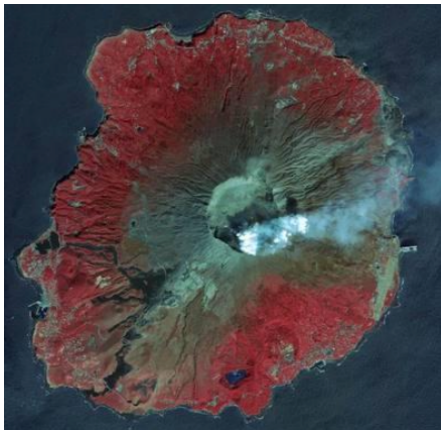
- Reciclado continuo de la corteza.
- Regulación del **CO_2** mediante el ciclo carbonato–silicato.
- Liberación gradual del calor interno (evita acumulación catastrófica como en Venus).

4) Sistema Tierra integrado

La Tierra es un **sistema complejo acoplado**.

La geología terrestre **no puede entenderse sin el clima**, ni el clima sin la geología.

⇒ **ESTRUCTURA Y ACTIVIDAD**



◈ **Lectura geológica**

- **Diferenciación interna** completa:
  - núcleo metálico,
  - manto,
  - corteza.
- Campo magnético fuerte:
  - protege la atmósfera,
  - reduce la erosión atmosférica por el viento solar.



◈ **Comparación clave**:

- Marte perdió gran parte de su atmósfera.
- La Tierra la conserva gracias a su **dinamo interna**.

◈ La **dínamo interna** de la Tierra (o geodinamo) es el proceso físico en el núcleo externo líquido (hierro y níquel fundidos) que genera y mantiene el campo magnético terrestre. Este fenómeno se produce por la convección de metales conductores y la rotación terrestre, actuando como un generador eléctrico natural que protege al planeta de la radiación solar.

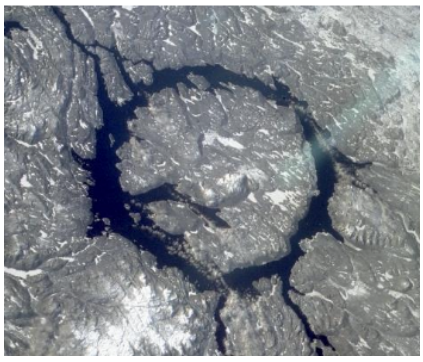
⇒ **LA TIERRA: ESCASEZ DE CRÁTERES (≈183)**



◈ Este dato es fundamental y debe entenderse bien:

◈ **Hecho observable**

- La Tierra tiene **muy pocos cráteres visibles**, en torno a **183** reconocidos.



◈ **Interpretación geológica profunda**

- Esto **no significa** que la Tierra haya sufrido menos impactos.

Significa que:

- Los cráteres se **borran** por:
  - erosión (agua, hielo, viento),
  - sedimentación,
  - volcanismo,
  - **subducción** (destrucción de corteza).

👉 La superficie terrestre es **joven en promedio**, aunque el planeta sea antiguo.

⇒ **SUPERFICIE "REINICIADA" CONTINUAMENTE**

◈ **Lectura integrada**

- La edad media de la corteza oceánica es **< 200 Ma**.
- Grandes regiones continentales han sido:
  - erosionadas,
  - cubiertas,
  - deformadas varias veces.

◈ **Conclusión geológica**:

La Tierra **no conserva bien su pasado superficial**, pero **sí conserva su dinámica interna**.
Esto la convierte en:

- un planeta **difícil de datar por cráteres**,
- pero **muy rico** en procesos activos.

⇒ SÍNTESIS INTEGRADA - LA TIERRA COMO EXCEPCIÓN GEOLÓGICA

La Tierra es el único planeta rocoso del Sistema Solar interior que mantiene una geología activa a lo largo de miles de millones de años gracias a la presencia simultánea de tectónica de placas, hidrosfera estable, atmósfera protectora y biosfera. Estos elementos interactúan para reciclar la superficie, regular el clima y borrar continuamente los registros antiguos de impacto, lo que explica la escasez de cráteres visibles. Frente a Mercurio y la Luna, que conservan superficies fósiles, y frente a Venus, que renueva su superficie de forma catastrófica, la Tierra representa un modelo de equilibrio dinámico único.

⇒ LA LUNA (INTRODUCCIÓN GEOLÓGICA)



Luna es el satélite de la Tierra y uno de los **archivos geológicos más valiosos** del Sistema Solar.

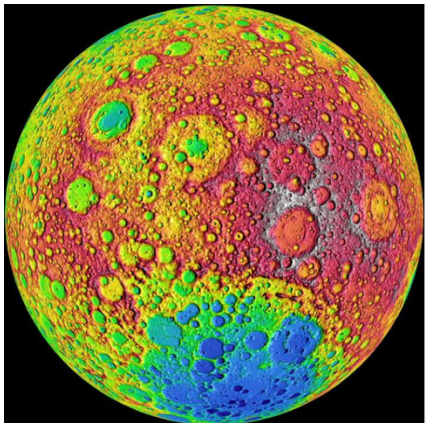
Lectura geológica inicial

- Su superficie está **muy craterizada** → conserva registros antiguos.
- **Carece de atmósfera eficaz**, sin agua líquida estable.
- **Actividad interna extinguida** hace miles de millones de años.

La Luna es, geológicamente, un **fósil planetario**: no se renueva, solo **conserva** lo que tiene.

⇒ CONTRASTE TIERRAS ALTAS / MARIA

Entramos en la **dualidad fundamental** del relieve lunar.



Tierras Altas

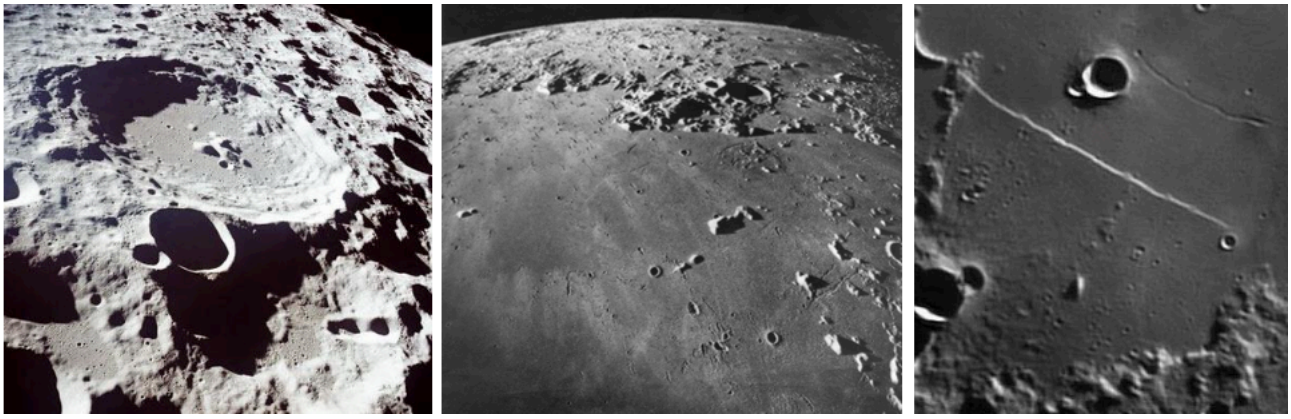
Las tierras altas de la Luna (*terrae*) son las zonas montañosas, claras y densamente craterizadas que cubren aproximadamente el 83% de la superficie lunar.

- Son zonas muy claras (alto albedo).
- Extremadamente craterizadas.
- Compuestas por **anortositas,** una roca ígnea plutónica de grano grueso compuesta casi en su totalidad por **plagioclasa** rica en silicatos de aluminio y calcio/sodio).
- Posee las **rocas más antiguas visibles** del Sistema Solar.

Maria

- Los *maria* (plural del latín *mare*), en la Luna son inmensas llanuras oscuras, relativamente planas, formadas por antiguas erupciones volcánicas hace entre 3 y 4 mil millones de años, resultantes de impactos cósmicos que llenaron las cuencas con lava. Cubren cerca del 16% de su superficie, principalmente en la cara visible.
- En ellas hay menor densidad de cráteres.
- Están formadas por superficies homogeneas llanas formadas por el enfriamiento de extensas coladas de lava en el interior de antiguos cráteres de impacto.

⇒ VOLCANISMO Y TECTÓNICA ANTIGUOS



Volcanismo lunar

- Ocurrió **después** del gran bombardeo.
- Magmas basálticos muy fluidos.
- Coladas extensas que forman los **maria**.

Por qué pudo haber volcanismo

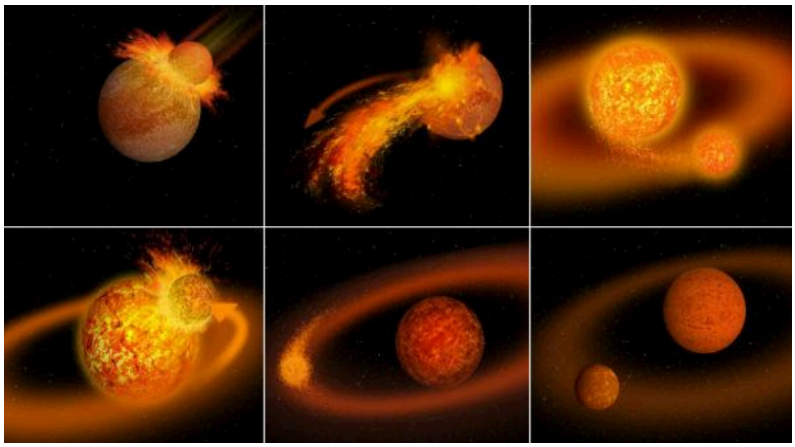
- Calor residual del impacto gigante.
- Concentración de calor en zonas de corteza adelgazada (cuencas).

Tectónica lunar

- **Muy limitada**:
  - no hay placas,
  - no hay reciclado.
- Presencia de **escarpes lobulados**:
  - indican **contracción global** al enfriarse la Luna ya que se enfría y **se encoge**, de forma similar a Mercurio, pero menos intensa.

⇒ ORIGEN DE LA LUNA: IMPACTO GIGANTE

Hipótesis del impacto gigante



- Hace ~**4.500 millones de años**.
- Un cuerpo del tamaño de Marte (planeta hipotético conocido como ***Theia***) colisiona con la Tierra primitiva.
- El impacto:
  - expulsa material del **manto terrestre**,
  - ese material forma un disco,
  - el disco se **acreta** y se forma la **Luna**. "**Acretar**" es un término astrofísico que significa el proceso por el cual un cuerpo celeste, debido a su gravedad, atrae y acumula materia (gas, polvo, hielos) a su masa. Proviene del verbo "acreción", utilizado para describir cómo las estrellas o agujeros negros incorporan material.

Evidencias geológicas

1. **Composición similar de la Luna al manto terrestre**
   - Isótopos prácticamente idénticos.

2. **Pobreza en hierro**
    - La Luna no tiene gran núcleo metálico.
3. **Elevada energía térmica inicial**
    - Explica el volcanismo temprano.

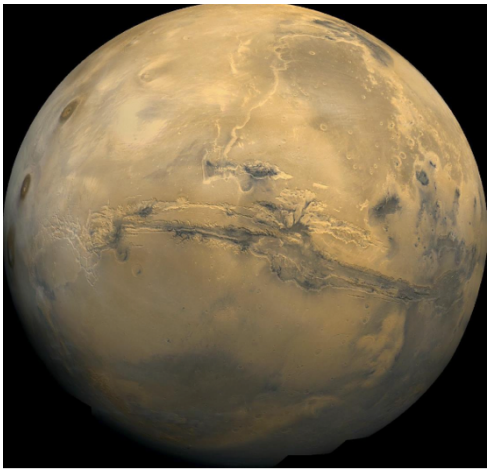
◈ **Consecuencias de todo esto para la Tierra**

- Estabilización del **eje de rotación**.
- Generación de **mareas**.
- Influencia a largo plazo en la **tectónica y el clima**.

⇒ **LA LUNA COMO ARCHIVO DEL PASADO**

La Luna es un cuerpo rocoso diferenciado cuya superficie conserva de forma excepcional la huella del gran bombardeo temprano del Sistema Solar. Su historia geológica está marcada por un intenso periodo inicial de impactos, seguido de volcanismo basáltico que dio lugar a los ***maria***, y una posterior fase de enfriamiento y contracción. La hipótesis del impacto gigante explica coherentemente su origen y su estrecha relación composicional con la Tierra. Como cuerpo sin reciclado superficial, la Luna constituye un archivo geológico clave para reconstruir los primeros cientos de millones de años de la historia del Sistema Solar.

⇒ MARTE (INTRODUCCIÓN GEOLÓGICA)



Marte es el planeta rocoso cuya geología **más se parece a la terrestre**, pero cuya evolución **quedó interrumpida**.

◈ **Lectura geológica inicial**

- Tamaño menor que la Tierra → **pérdida temprana de calor interno**.
- Conserva **rasgos antiguos** junto a formas relativamente jóvenes.
- Es el mejor candidato para estudiar **agua pasada fuera de la Tierra**.

◈ Marte es, en términos geológicos, un planeta **a medio camino** entre:

- la Tierra (activa),
- y la Luna/Mercurio (fósiles).

⇒ **ACTIVIDAD TECTÓNICA, VOLCÁNICA Y AGUA**

◈ **Hechos**

- **Intensa actividad tectónica y volcánica en el pasado**.
- Numerosos **rasgos de actividad hídrica**.
- Casquetes polares de agua (**H_2O**) y dióxido de carbono (**CO_2**).
- Atmósfera tenue rica en **CO_2**.



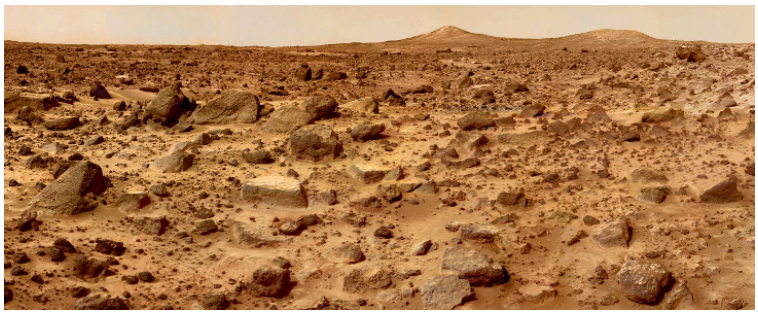
◈ **Lectura geológica profunda**

1. **Volcanismo gigantesco**

    ○ Marte alberga los mayores volcanes del Sistema Solar, ejemplo de ello es ***Olympus Mons*** **(Monte Olympo)**. Tiene una altura superior a 21,9 km según mediciones del altímetro láser de la *Mars Orbiter*.

    ○ La ausencia de tectónica de placas permitió que los volcanes **crecieran en el mismo punto** durante millones de años.

2. **Agua en el pasado**
   - Valles ramificados, deltas, abanicos aluviales.
   - Indican **agua líquida estable** en superficie durante largos periodos.
   - Requiere:
     - atmósfera más densa,
     - temperaturas más altas que las actuales.



3. **Transición climática**
   - Marte pasó de un estado **más cálido y húmedo** a otro **frío y árido**.
   - La pérdida del campo magnético favoreció la **erosión atmosférica** por el viento solar.

⇒ ATMÓSFERA Y DINÁMICA SUPERFICIAL

Hechos

- Atmósfera muy tenue.
- Presión atmosférica baja.
- Dinámica eólica importante.

Interpretación geológica

- El viento es hoy el **principal agente geomorfológico**:
  - dunas,
  - *yardangs* (son crestas rocosas alargadas y aerodinámicas formadas por la erosión eólica intensa y constante junto con la arena desgasta materiales blandos.,
  - transporte de polvo global.
- El polvo:
  - cubre y oculta rocas,
  - pero **no las destruye** como el agua.

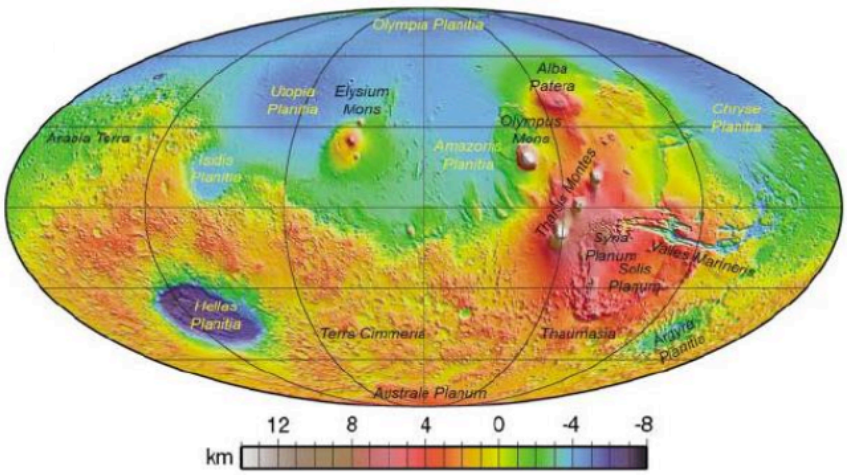
Esto explica por qué:

- Marte conserva valles fluviales antiguos,
- pero **ya no los modifica** con agua líquida.

⇒ DICOTOMÍA HEMISFÉRICA

Observación clave

- **Tierras Altas** (hemisferio sur). Ocupa 2/3 del planeta:
  - más elevadas,
  - muy craterizadas,
  - extremadamente antiguas.
- **Tierras Bajas** (hemisferio norte). Ocupa 1/3 del planeta:
  - deprimidas,
  - menos craterizadas,
  - superficies más jóvenes.



Hipótesis geológicas

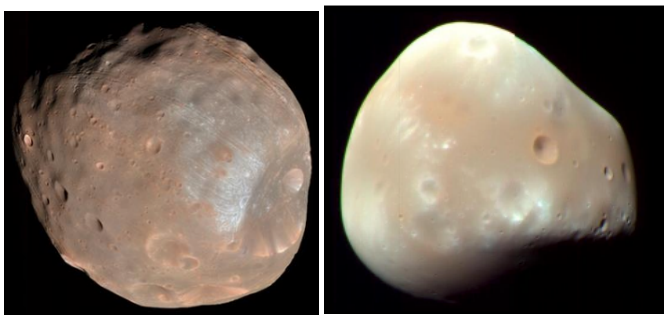
1. **Impacto gigante** temprano que rebajó el hemisferio norte.
2. **Procesos internos** (convección del manto) que adelgazaron la corteza norte.
3. Posible **océano antiguo** en el hemisferio norte.

Marte **no es geológicamente homogéneo**.

⇒ SATÉLITES FOBOS Y DEIMOS

Datos

- Dos satélites pequeños:
  - **Fobos**
  - **Deimos**
- Morfología irregular.
- Probablemente son **asteroides capturados** (o restos de un cuerpo mayor).



Lectura geológica

- No influyen significativamente en la geología marciana.
- No estabilizan el eje como la Luna terrestre.
- Indican un entorno dinámico de capturas tempranas.

https://www.youtube.com/shorts/oqQvjBjk19M

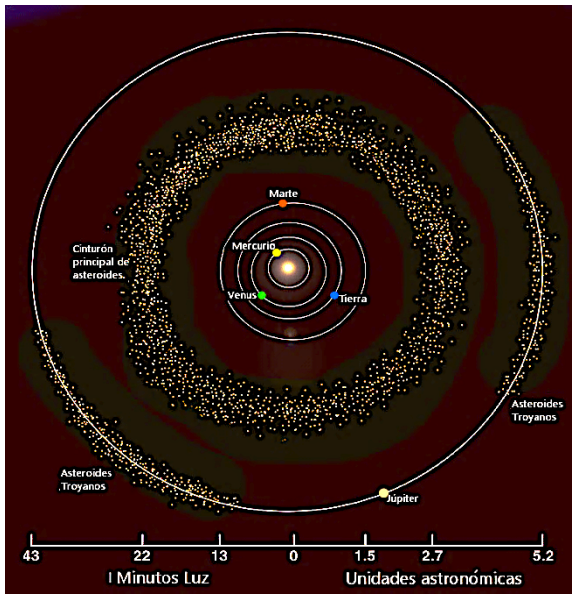
⇒ MARTE COMO PLANETA "FALLIDO"

Marte es un planeta rocoso que inició una evolución geológica similar a la terrestre, con volcanismo intenso y presencia prolongada de agua líquida en superficie. Sin embargo, su menor tamaño condujo a una pérdida temprana de calor interno y del campo magnético, lo que favoreció la erosión atmosférica y la transición hacia un clima frío y árido. Hoy, Marte conserva un registro excepcional de procesos antiguos —volcánicos, fluviales y tectónicos— que lo convierten en un laboratorio natural para estudiar la habitabilidad pasada fuera de la Tierra.

⇒ CINTURÓN DE ASTEROIDES: NATURALEZA Y SIGNIFICADO

¿Qué es el cinturón de asteroideos?

Es una región situada entre Marte y Júpiter que alberga millones de fragmentos rocosos y metálicos, que giran unos con otros alrededor del sol, principalmente son **asteroides** y restos **no incorporados** a ningún planeta.

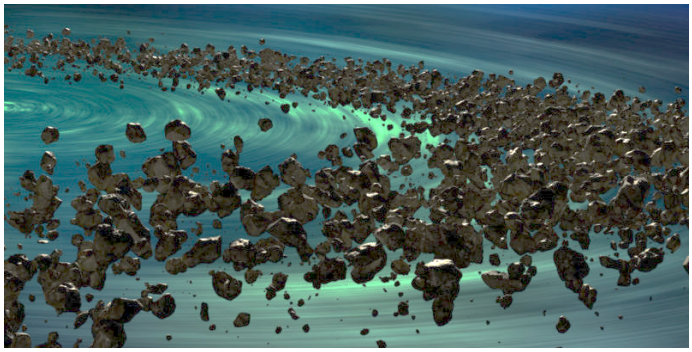


Lectura geológica

- Son **material primitivo** del Sistema Solar.
- No formaron un planeta porque la **gravedad de Júpiter** impidió la **acreción** estable.
- Conservan **composición y estructuras tempranas** (poco "procesadas").

Idea clave: el cinturón es un **archivo del origen** del Sistema Solar.

⇒ ASTEROIDES: DIVERSIDAD Y ESTADOS



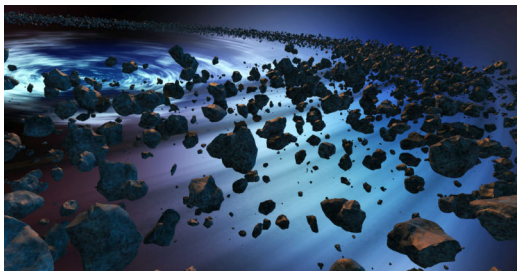
Rasgos

- Morfologías **irregulares**.
- Tipos **diferenciados** (núcleo–manto–corteza) y **no diferenciados**.
- Densidades bajas; algunos son **"pilas de escombros"** (*rubble piles*).

Lectura geológica

- Los diferenciados indican **calentamiento temprano** (radiactivo/impactos).
- Los no diferenciados preservan **química nebular**.

⇒ ASTEROIDES VISITADOS POR SONDAS



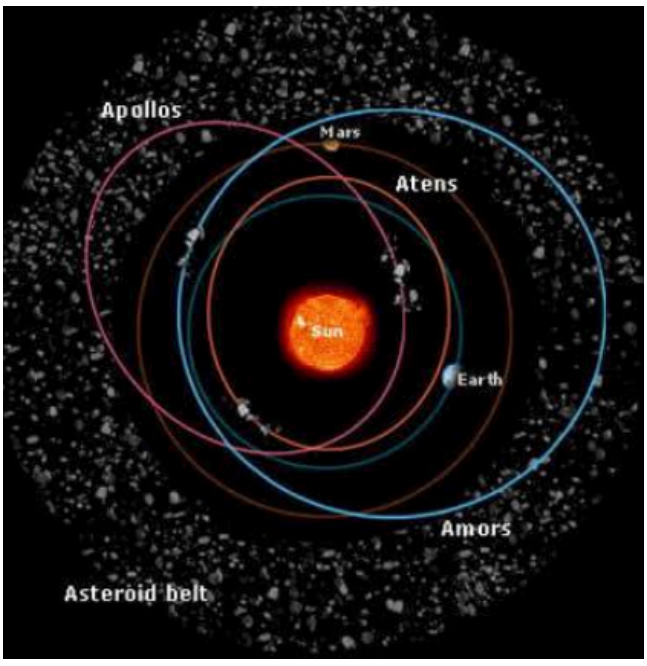
Hechos

Diversas misiones, como Galileo, NEAR Shoemaker y Dawn han revelado:

- Cráteres,
- Regolitos,
- Fracturas,
- Materiales hidratados en algunos casos.

La **geología de impactos** domina; no hay reciclado global.

⇒ NEO (*NEAR-EARTH OBJECTS*)



Los **NEOs** son asteroides y cometas con órbitas **perturbadas** que cruzan o se acercan a la órbita terrestre, a menos de 45 millones de kilómetros, lo que los hace relevantes para la vigilancia planetaria, aunque la mayoría no representa una amenaza inmediata y se clasifican, según su órbita, en grupos como Amor, Apolo y Atena.

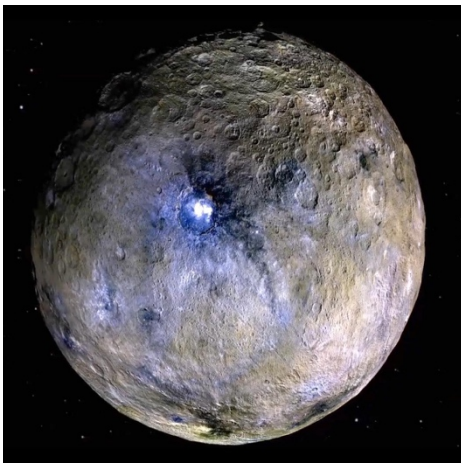
Clasificación orbital

- **Amor** (cruzan Marte),
- **Apolo** (cruzan Marte y Tierra),
- **Atena** (órbita de Marte, Tierra y Venus).

Lectura geológica

- Son la **conexión dinámica** entre el **cinturón** y los planetas interiores.
- Explican impactos recientes y **riesgo planetario**.

⇒ CERES: INTRODUCCIÓN



Ceres es el **único planeta enano** del cinturón. Se estima que su masa es un tercio de la masa total del cinturón de asteroides, siendo el único objeto de dicho cinturón que ha alcanzado el equilibrio hidrostático.

Rasgos clave

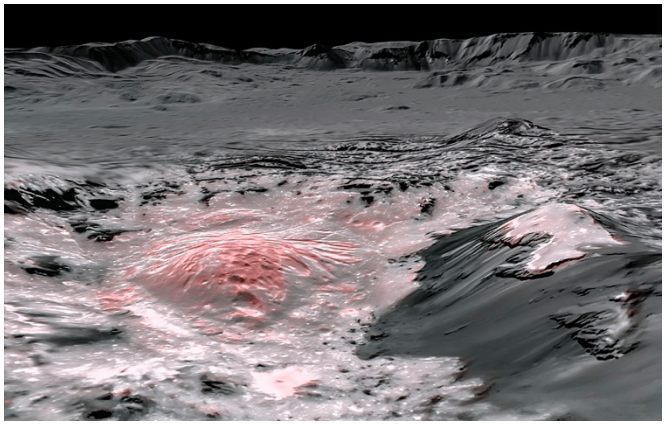
- Interior **diferenciado**.
- Evidencias de **hielo de agua en su superficie**.
- Atmósfera **muy tenue** (exosfera) de vapor de agua ocasional.

Lectura geológica

Ceres es un **mundo de transición** entre planetas rocosos y cuerpos helados.

⇒ OCÉANO Y CRIOVULCANISMO

Evidencias (misión *Dawn*)



- **Manchas brillantes** (sales) en el cráter Occator.
- Modelos de **océano subsuperficial** salino.
- Posible **criovulcanismo** (agua/sales en vez de lava silicatada).

Lectura profunda

- Actividad **reciente** en términos geológicos.
- Calor interno suficiente para movilizar **fluidos**.
- Ceres amplía el concepto de "actividad geológica".

⇒ DEL MATERIAL PRIMITIVO A UN MUNDO ACTIVO

El cinturón de asteroides constituye el reservorio de materiales primitivos del Sistema Solar, preservados por la interferencia gravitatoria de Júpiter. Dentro de él, **Ceres** destaca como un cuerpo diferenciado con hielo, posible océano subsuperficial y señales de actividad criovolcánica reciente. Esta diversidad demuestra que la geología planetaria no es exclusiva de los planetas grandes: incluso cuerpos pequeños pueden mantener procesos internos complejos.

⇒ SISTEMA SOLAR EXTERIOR: LOS GIGANTES

El sistema solar exterior abarca la región más allá del cinturón de asteroides a más de 5 **UA** del Sol (**UA** es una unidad de longitud igual, por definición, a 149.597 millones de km, El equivalente aproximado a la distancia media entre la Tierra y el Sol. Esta definición está en vigor desde la asamblea general de la Unión Astronómica Internacional de agosto de 2012).

Este sistema solar exterior alberga a los gigantes gaseosos y helados: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Son planetas de gran tamaño, compuestos principalmente de hidrógeno, helio, hielo y amoníaco, caracterizados por órbitas largas, numerosos satélites, sistemas de anillos y temperaturas extremadamente frías.

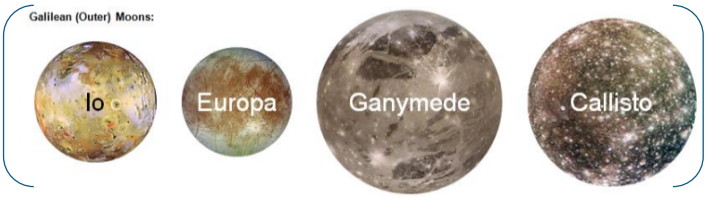
Planeta	Diámetro (/Tierra)	Diámetro ecuatorial (km)	Masa (/Tierra)	Radio orbital (UA)	Periodo orbital (años)	Periodo de rotación (días)	Incl.	Satélites	Composición de la atmósfera
Júpiter	11,2	142984	318	5,20	11,86	0,414	1,3º	63	90% hidrógeno, 10% helio, trazas de metano
Saturno	9,41	120536	95	9,54	29,46	0,426	2,5º	61	96% hidrógeno, 3% helio, 0.5% metano
Urano	3,98	51108	14,6	19,19	84,01	0,718	0,8º	27	84% hidrógeno, 14% helio, 2% metano
Neptuno	3,81	49538	17,2	30,06	164,79	0,6745	1,8º	13	74% hidrógeno, 25% helio, 1% metano

⇒ **Lectura geológica**

- No son "rocas": dominan **gases e hielos**.
- La geología se expresa **sobre todo en satélites**, no en el planeta.
- La **gravedad y las mareas** sustituyen al calor radiogénico como motor principal.

⇒ EL SISTEMA DE JÚPITER (VISIÓN GENERAL)

Júpiter es el planeta más grande, conocido por su "Gran Mancha Roja" (que no es otra cosa que una tormenta persistente) y sus bandas nubosas arremolinadas y su potente campo magnético. También posee un vasto sistema de al menos 95 lunas (que registran historias geológicas muy distintas bajo el mismo "campo de fuerzas"), con las icónicas galileanas: **Ío**, **Europa**, **Ganímedes** y **Calisto**, que lo hacen parecer un "mini sistema solar" y una inmensa masa que supera a la de todos los demás planetas juntos. Presenta el sistema más masivo del Sistema Solar.

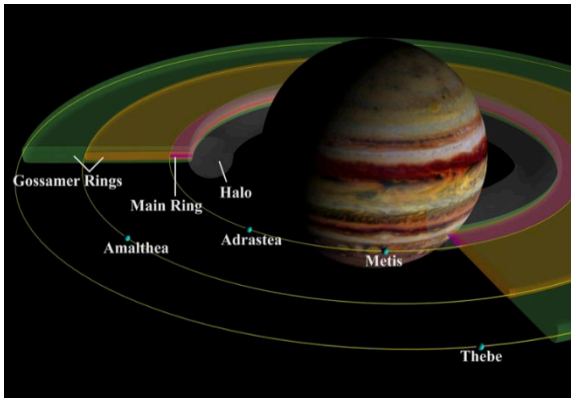


⇒ **Claves**

- Tiene decenas de satélites.
- Sus anillos son finos de polvo.
- Enorme influencia gravitatoria.

⇒ **ANILLOS Y POLVO**

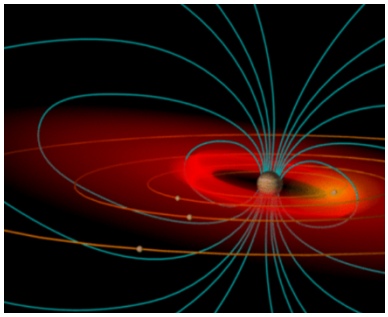
Posee anillos tenues **dinámicos y efímeros** formados por **polvo**, menos prominentes que de los de Saturno. Ese polvo es diminutas partículas rocosas, originadas principalmente por impactos de micrometeoritos en sus lunas interiores como **Metis**, **Adrastea**, **Amaltea** y **Tebe**. Este material es una fuente principal de polvo cósmico que llega a la Tierra.



https://www.youtube.com/shorts/fNptXUw1mPE

⇒ **CAMPO MAGNÉTICO Y AURORAS**

Posee un campo magnético **extremadamente intenso**.
Se han observado auroras en sus zonas polares.



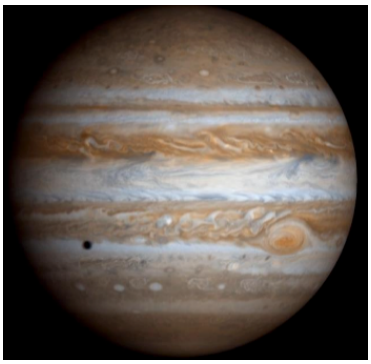
→ **Lectura**

- Interacción magnetosfera–satélites.
- Aporta energía adicional a las lunas (especialmente a **Io**).

⇒ **ATMÓSFERA**

Es el mayor planeta del Sistema Solar.

→ **Rasgos**



- Constituido por hidrógeno y helio con un pequeño núcleo de material silicatado.
- **Gran Mancha Roja** formada por tormenta persistente.
- Posee una dinámica atmosférica compleja con sistemas de corrientes y tormentas



→ **Lectura**

Aunque es "gas", su **energía interna** (contracción gravitatoria) es enorme y condiciona todo el sistema.

⇒ **TRANSICIÓN A LOS SATÉLITES GALILEANOS**

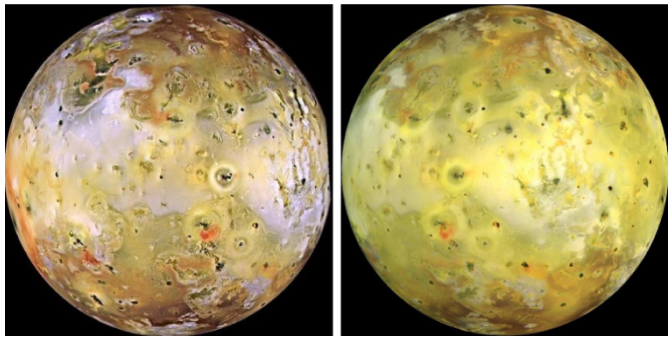
→ Ahora vamos a ver las lunas principales de Júpiter.

→ Se trata de **la geología más espectacular del sistema**.



⇒ IO: VOLCANISMO EXTREMO

→ **Hechos**

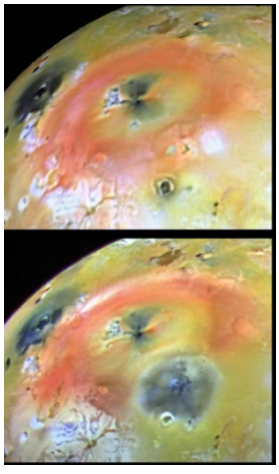


- Es el cuerpo planetario **más volcánicamente activo** del Sistema Solar, tiene más de 400 volcanes activos.
- Su superficie está constituida por **azufre y sulfuros**.
- Se encuentra casi sin cráteres.

→ **Lectura geológica**

En **Ío** hay planicies muy extensas y también cadenas montañosas, pero la ausencia de cráteres de impacto apunta a la juventud geológica de su superficie.

- **Calentamiento por mareas** (resonancia orbital con Europa y Ganímedes).
- El interior se deforma rítmicamente → **fusión continua**.
- La superficie se **renueva constantemente**.



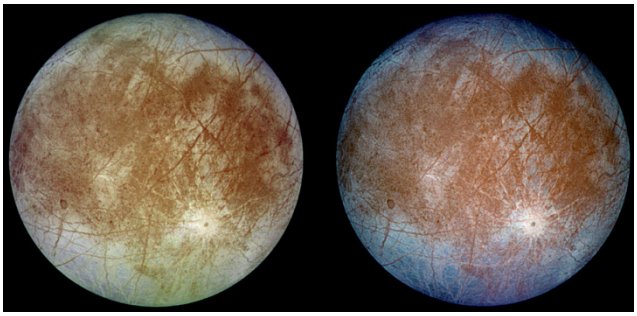
⇒ **ERUPCIONES Y RESONANCIA**

Se han observado erupciones en tiempo real.

→ **Lectura**

- La energía no viene del Sol ni del radioisótopo, sino de la **gravedad de Júpiter**.
- **Io** demuestra con ello que **las mareas pueden sustituir a la tectónica**.

⇒ EUROPA: UN MUNDO HELADO



Rasgos

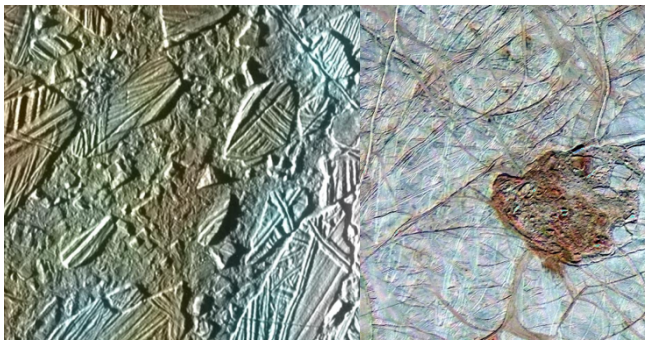
- Constituido por corteza de **hielo de unos 10-30 km de espesor**.
- Superficie lisa, pero con muchas **fracturas**.
- Pocos cráteres de impacto.
- Al orbitar, experimenta una intensa radiación y temperaturas superficiales extremadamente frías, llegando a $-160°$en el ecuador y $-210\circ$C en los polos.

Lectura

- Superficie joven y geológicamente activa.
- El hielo se **fractura y se mueve**: hay energía.
- Es un objetivo principal en la búsqueda de vida extraterrestre debido a la presencia de agua, energía y elementos químicos.

⇒ OCÉANO SUBSUPERFICIAL

Hay evidencias de que pueda poseer un inmenso océano subterráneo de agua líquida de **océano bajo el hielo**.



Lectura geológica

- Calentamiento por mareas.
- Hielo flotando sobre agua salada.
- Interés **astrobiológico** enorme.

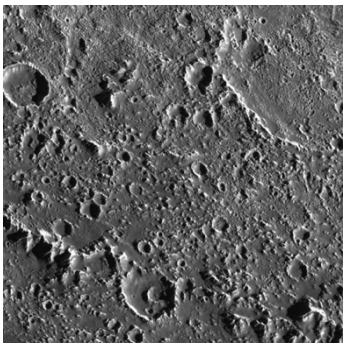
Hay evidencias de que pueda poseer un inmenso océano subterráneo de agua líquida.

⇒ CALISTO: EL FÓSIL



Rasgos

- La superficie está **muy craterizada**, y muy homogénea.
- Cuerpo helado.
- Aparente ausencia de actividad reciente.



- Inmenso campo magnético.
- Se sospecha la existencia de un océano bajo su corteza.

Lectura

- Geología **fósil**.
- Registra el bombardeo antiguo como la Luna.
- Aunque "muerto" en superficie, **no es simple por dentro**.

⇒ GANÍMEDES: EL MAYOR SATÉLITE



Rasgos

- Es el satélite más grande del Sistema Solar.
- Su corteza es de hielo con **dos posibles tipos de terreno**.
- Posee un campo magnético propio (único entre lunas).
- Abundancia de cráteres de impacto.
- Es posible que posea un océano bajo su superficie.

Lectura

- Diferenciación interna avanzada.
- Historia geológica **mixta**: antigua + rejuvenecida.



⇒ **FRACTURACIÓN POR MAREAS**

- Está fuertemente fracturado y con surcos extensos por resonancia orbital.

Lectura

- Respuesta a **tensiones mareales**.
- Posible océano subsuperficial.
- Geología de hielo **comparable a tectónica**.

⇒ **JÚPITER COMO MOTOR GEOLÓGICO**

El sistema de Júpiter demuestra que la geología planetaria no depende únicamente del tamaño o del calor radiogénico. Las mareas gravitatorias generan una diversidad extrema de mundos: desde el volcanismo continuo de **Ío** hasta los océanos ocultos de **Europa** y **Ganímedes**, pasando por superficies fósiles como **Calisto**. Júpiter actúa como un motor energético que transforma satélites helados y rocosos en laboratorios naturales de procesos geológicos extremos.

⇒ EL SISTEMA DE SATURNO (VISIÓN GENERAL)

https://www.youtube.com/watch?v=qxPvAS1vnRs

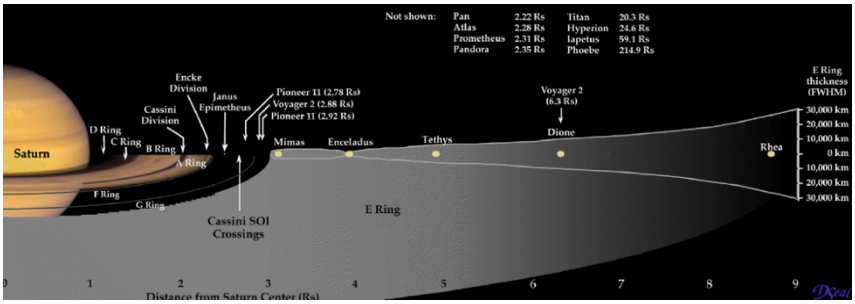
Saturno es un **gigante gaseoso** con un sistema extraordinariamente complejo:

- **Anillos** extensos y dinámicos.
- **Numerosos satélites** (más de 200 observados; decenas con órbitas estables).

Lectura geológica

En Saturno, la geología relevante **no está en el planeta**, sino en:

- Sus **anillos** (material helado),
- y en los **satélites**, donde actúan mareas, fracturación y **criovulcanismo** (llamado así a la actividad volcánica que ocurre en cuerpos helados del sistema solar exterior, donde, en lugar de roca fundida (magma), se expulsan sustancias volátiles congeladas —agua, amoníaco o metano— conocidas como **criomagma**).



⇒ ESTRUCTURA Y DINÁMICA

Rasgos

- Núcleo pequeño de material silicatado.
- Atmósfera dominada por hidrógeno (H) y helio (He).
- Corrientes atmosféricas y auroras (campo magnético).

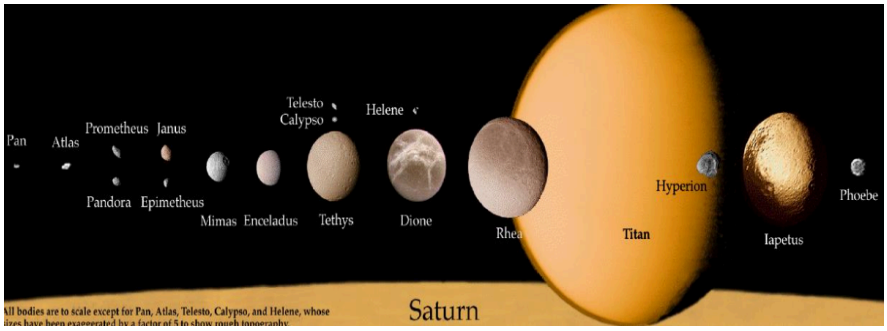
Lectura

La energía interna (contracción gravitatoria) mantiene la dinámica atmosférica y **alimenta mareas** sobre los satélites.

⇒ ANILLOS: UN SISTEMA COMPLEJO

Hechos

- Sistema complejo, con múltiples anillos (más de 7 principales).
- Material: **hielo de agua** y polvo.
- Espesor muy pequeño (metros a decenas de metros).



Lectura geológica

- Los anillos son **estructuras jóvenes y dinámicas**.
- Su forma se mantiene por **resonancias** con satélites cercanos.

⇒ ANILLOS: RESONANCIAS Y LUNAS PASTORAS

Las **lunas pastoras** y las **resonancias orbitales** son los dos mecanismos fundamentales que mantienen la estructura, bordes y huecos de estos anillos, actuando como escultores celestiales.

Claves

- **Lunas pastoras** (Prometeo y Pandora) confinan anillos.
- Sus resonancias crean:
  - divisiones,
  - ondas,
  - cúmulos temporales.

Lectura

Es un ejemplo claro de **geología gravitacional**: no hay roca ni magma, pero sí procesos físicos organizadores.

⇒ SATÉLITES DE SATURNO (CLASIFICACIÓN)

Grupos

- **Anillos Interiores**: Pan, Atlas, Prometeo, Pandora…
- **Grupo Principal**: Mimas, Encélado, Tetis, Dione, Rea, **Titán**. Calipso, Telesto y Helene
- **Exteriores/irregulares**: Hiperión, Japeto, Febe.

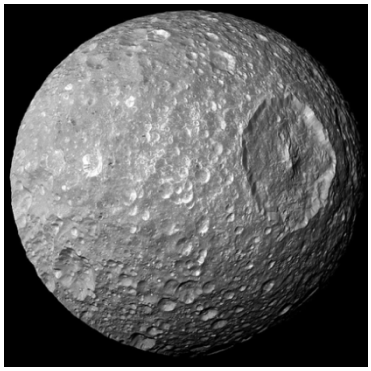
Ejemplos destacados:

- Prometeo y Pandora: Orbitan a cada lado del anillo F de Saturno, actuando en pareja para mantener su estrecha forma.
- Pan: Mantiene el claro (hueco) de Encke en el anillo A.
- Dafnis (Daphnis): Orbita dentro del anillo A y crea ondas y surcos en el borde de la división de Keeler.
  - Cada grupo vive un **régimen de mareas distinto**, que explica su diversidad geológica.

- En resumen, las lunas pastoras y las resonancias orbitales trabajan juntas, utilizando la gravedad para transformar lo que sería un disco difuso de material en los anillos nítidos y complejos que observamos en los gigantes gaseosos.

⇒ **MIMAS**

Es famoso por su gran cráter ***Herschel*** que le da un aspecto similar a la "Estrella de la Muerte" de Star Wars.





Maqueta de la Estrella de la Muerte utilizada en el rodaje del Episodio IV.

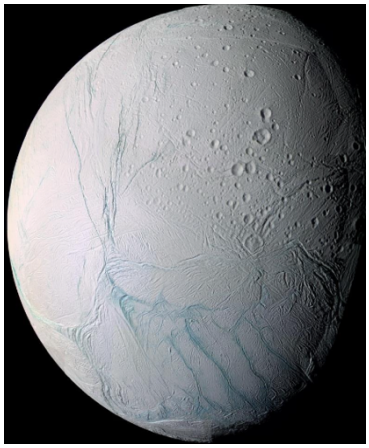
→ **Rasgos**

- ~90 % es hielo.
- Muy craterizado.
- Alto **albedo** para recoger partículas de los anillos. (Albedo es la proporción existente entre la energía luminosa que incide en su superficie y la que se refleja realmente.
- Órbita resonante

→ **Lectura**

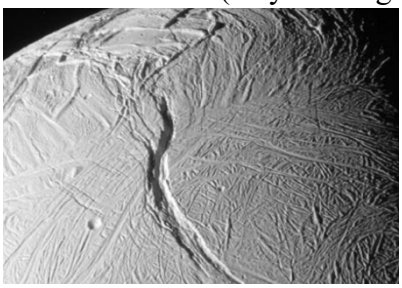
- Geología **fósil** dominada por impactos.
- Investigaciones de 2024 sugieren la existencia de un océano bajo su corteza helada, lo que lo convierte en un objetivo de estudio sobre la habitabilidad en el sistema solar.

⇒ **ENCÉLADO (CLAVE DEL SISTEMA)**



→ **Hechos**

- Geológicamente **activo**.
- Densidad ligeramente mayor que la del agua.
- **Géiseres** en el polo sur.
- Fracturas (“rayas de tigre”).



→ **Lectura geológica profunda**

- **Calentamiento por mareas** mantiene un **océano subsuperficial**.
- Los géiseres expulsan **agua y sales** al espacio.
- Es una prueba directa de **criovulcanismo activo hoy**.

- **Encélado** demuestra que **mundos pequeños pueden estar vivos** geológicamente.

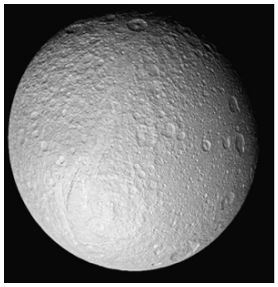
⇒ **TETIS**

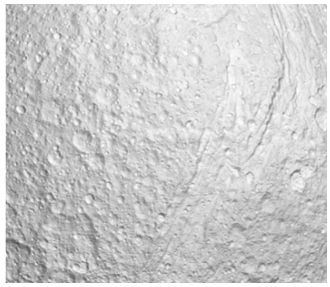
Es la quinta luna más grande de Saturno, un cuerpo helado de tamaño mediano (aprox. 1.062 km de diámetro) compuesto casi totalmente de hielo de agua. Destaca por su superficie densamente craterizada y por albergar la inmensa cuenca de impacto Odiseo y el gran cañón, *Ithaca Chasma*, de unos 2000 km de largo, 100 km de ancho y hasta 5 km de profundidad

https://www.youtube.com/watch?v=Xai7DR_y8-s&t=178s

→ **Rasgos**

- Superficie helada, fracturada.
- Gran **cañón** (≈100 km de anchura).
- Cráteres sin saturación.
- La sonda *Cassini* descubrió extrañas manchas rojas lineales en su superficie, cuya origen sigue siendo un misterio.
- Un gran cañón surca la superficie.





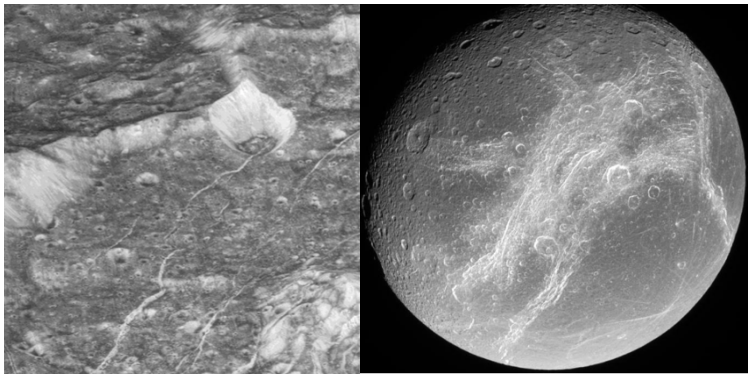


Tetis (abajo a la izquierda) en comparación con la Luna (arriba a la izquierda) y la Tierra (derecha).

→ **Lectura**

- Tensiones mareales pasadas.
- Fracturación a gran escala en hielo rígido.

⇒ **DIONE**



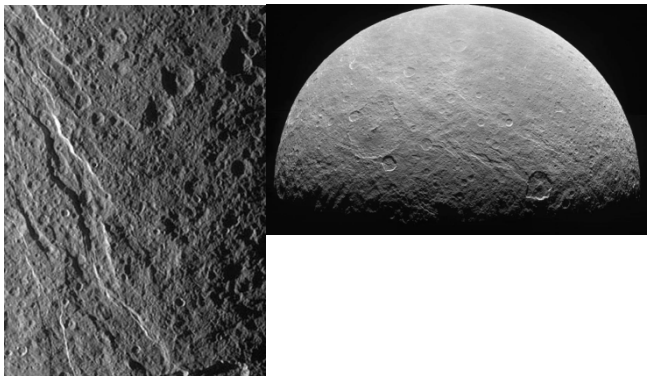
→ **Rasgos**

- Superficie craterizada.
- Fracturas muy extensas.
- Superficie formada por hielo dominante.

→ **Lectura**

- Actividad pasada, hoy apagada.
- Registro de mareas antiguas.

⇒ **REA**



Rasgos

- Segundo mayor satélite de Saturno.
- Baja densidad (hielo y 20 % roca).
- Crestas, cañones, fracturas y superficie fuertemente craterizada formada por hielo.
- Escasa actividad y siempre en el pasado.

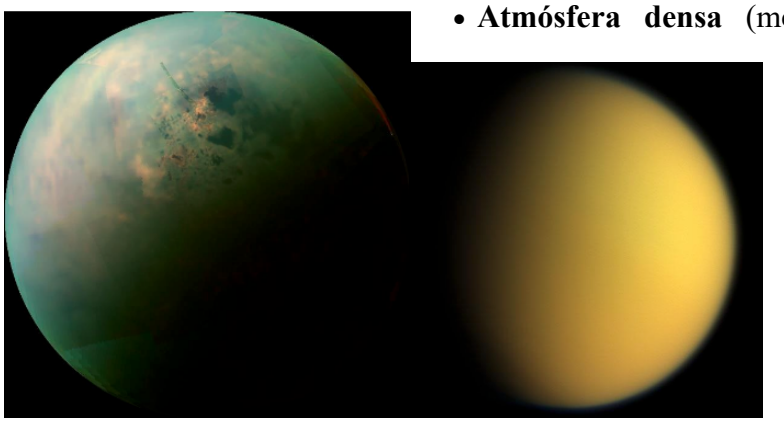
Lectura

- Historia geológica antigua con **deformación tectónica en hielo**.
- Actividad hoy mínima.

⇒ **TITÁN**

Es el satélite más grande de Saturno y la segunda del sistema solar (más grande que Mercurio), es un mundo fascinante con una atmósfera densa de nitrógeno y una superficie con mares, ríos y lagos de hidrocarburos líquidos (metano y etano). Su temperatura extremadamente fría (-183ºC) y su química orgánica compleja la convierten en un candidato clave para buscar vida astrobiológica.

→ **Rasgos únicos**



- **Atmósfera densa** (metano y nitrógeno) con un sistema estacional, nubes y precipitaciones.
- Núcleo rocoso + corteza de hielo.
- Posible **océano subterráneo.**

→ **Lectura**

- Titán es el **único satélite con atmósfera compleja** y un **ciclo activo de fluidos**. Posee dunas, montañas de hielo y posibles criovolcanes que expulsan agua y amoníaco.

⇒ **GEOLOGÍA ACTIVA**

→ **Hechos**

- Lluvias de **metano**.
- Ríos y lagos de metano/etano.
- Escasez de cráteres (<300 Ma).

→ **Lectura geológica**

- Superficie **joven** por erosión y deposición.
- Metano cumple el papel del agua terrestre:
  - erosiona,
  - transporta,
  - sedimenta.

◈ Titán es un **análogo frío de la Tierra primitiva**.

⇒ **EVOLUCIÓN DEL METANO**

Clave

- El metano se destruye por radiación Ultra Violeta en ~20 Ma.
- Debe **reponerse** desde el interior.

Lectura

- Indica importante **actividad interna** (criovolcanes o desgasificación que expulsan agua y amoniaco).
- Sistema activo a escala geológica.

https://www.youtube.com/watch?v=HI1DvXy6Pdo

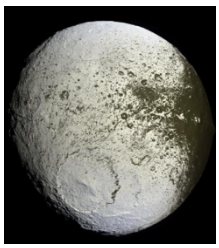
⇒SATÉLITES EXTERIORES: HIPERIÓN, JAPETO Y FEBE

◈ **Hiperión**



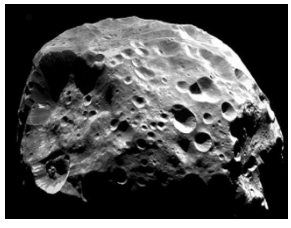
- Baja densidad, forma caótica.
- Hielo, agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2).

◈ **Japeto**



- **Albedo muy contrastado**.
- Materiales oscuros en su superficie procedente de los anillos de Febe.
- **Cresta tectónica ecuatorial** (~30 km de altura).
- Variación continua de su superficie.

◈ **Febe**



- Órbita retrógrada e inclinada.
- Probable **cometa capturado**.
- Órbita a 150º del plano de Saturno.

→ **Lectura**

Estos satélites muestran:

- capturas,
- migraciones,
- aportes externos, completando la historia del sistema.

⇒ SATURNO, EL DE LOS ANILLOS Y MUNDOS ACTIVOS

El sistema de Saturno es un laboratorio de geología de hielos donde la gravedad y las mareas generan procesos tan diversos como la organización de anillos, la fracturación de satélites helados y el criovulcanismo activo de Encélado. Titán destaca como un mundo complejo con atmósfera, erosión y posible océano subsuperficial, ampliando el concepto de habitabilidad más allá de la zona clásica alrededor del Sol.

⇒ EL SISTEMA DE URANO (VISIÓN GENERAL)



Urano es un **gigante helado** (no puramente gaseoso). es el séptimo planeta del Sistema Solar, conocido como un "gigante helado" de color azul verdoso debido a su atmósfera de hidrógeno, helio y metano. Se caracteriza por su extrema inclinación axial de 98º, lo que hace que orbite de lado. Tiene 27 lunas conocidas y un sistema de anillos débiles.

→ **Rasgos clave**

- Composición rica en **agua, amoniaco y metano** (hielos).
- Sistema de **anillos oscuros** y numerosos satélites.
- Energía interna **menor** que Júpiter y Saturno.

→ **Lectura geológica**

En Urano, la geología relevante se manifiesta **en los satélites**, con procesos dominados por **fracturación del hielo** y actividad pasada.

⇒ EJE INCLINADO Y ROTACIÓN RETRÓGRADA

→ **Hecho excepcional**

- Inclinación del eje ≈ **98°** (prácticamente “tumbado”), lo que provoca estaciones extremas donde cada polo tiene 42 años de luz continúa seguidos de 42 años de oscuridad. Tarda 84 años terrestres en completar una órbita.

→ **Rasgos clave**

- Es el tercer planeta más grande en diámetro (aprox. 51.118 km, unas cuatro veces más grande que la Tierra.
-

→ **Interpretación**

- Probablemente recibió un **impacto gigante** temprano que:
  - inclinó el planeta,
  - reordenó su sistema de satélites,
  - afectó a su historia térmica.

→ **Consecuencia geológica**

- Estacionalidad extrema.
- Distribución desigual de energía → influencia indirecta en mareas y actividad de lunas.

⇒ ATMÓSFERA Y DINÁMICA

→ **Rasgos**

- Atmósfera de hidrógeno (H), helio (He) y **metano** (color azulado).
- Bandas poco contrastadas, pero con **variaciones de velocidad**.

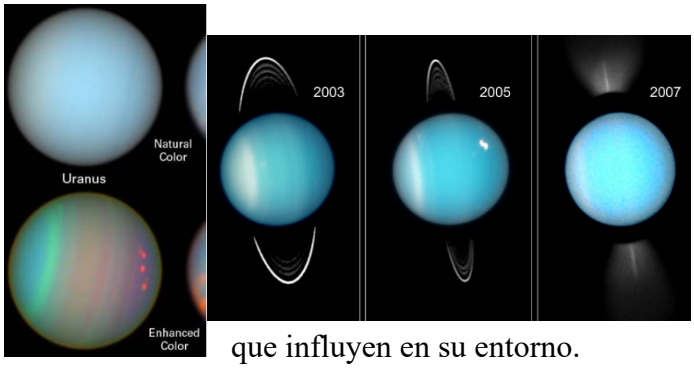
→ **Lectura**

- Menor energía interna → dinámica atmosférica más "apagada".
- Aun así, existen **tormentas y auroras** (campo magnético activo).

⇒ **TORMENTAS Y AURORAS**

→ **Hechos**

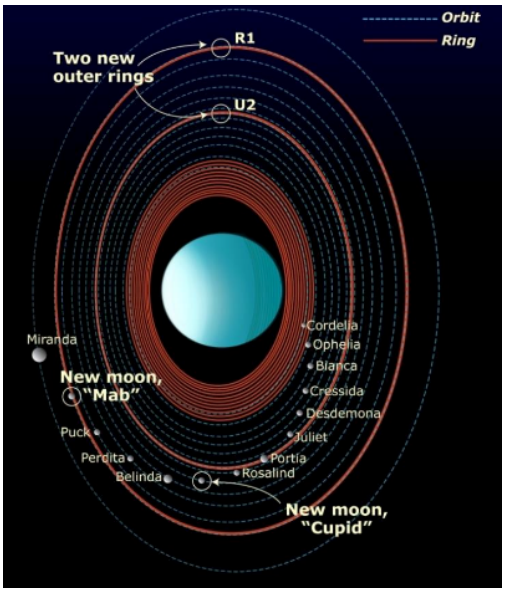
- Se han detectado tormentas.
- También auroras asociadas al campo magnético.



→ **Lectura**

- Aunque más frío y menos energético, Urano **no es inerte**: mantiene procesos físicos activos que influyen en su entorno.

⇒ **SISTEMA DE ANILLOS**



→ **Rasgos**

- **Sistema de anillos (>13)**, oscuros.
- Partículas desde polvo a bloques métricos.
- **Estabilidad baja** (escala ~1 Ma).
- Material rico en carbono (oscuro).
- Resonancias con satélites mantienen la estructura.

→ **Lectura geológica**

- Anillos **jóvenes y transitorios**.
- Probable origen por **colisiones** o fragmentación de satélites. Aunque existen muchas dudas sobre ello.
- Geología gravitacional en estado dinámico.

→ Los anillos son como un **registro de procesos recientes** en el sistema.

⇒ **SISTEMA DE SATÉLITES**



◈ **Hechos**

- Aproximadamente posee 21 satélites.
- **Cinco son mayores** y con órbitas estables.

◈ **Lectura**

Tienen diversidad de historias geológicas según:

- tamaño,
- distancia,
- historia de resonancias.

⇒ **ARIEL**

→ **Rasgos**

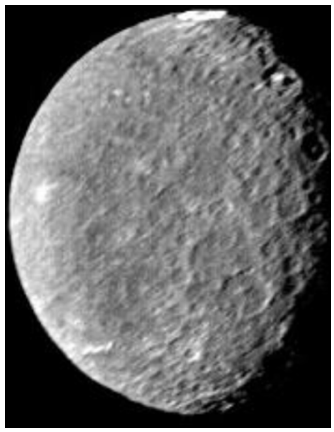
- Es el satélite **más brillante** del sistema de Urano.
- Tiene numerosos sistemas de **cañones** profundos, algunos rellenos posteriormente
- Zonas rellenadas posteriormente.

→ **Lectura**

- **Intensa actividad tectónica y volcánica** en el pasado.
- Probable calentamiento por mareas de la antiguedad.
- Superficie **rejuvenecida** parcialmente.

https://www.youtube.com/watch?v=C3DHrNr_6e8&t=267s

⇒ **UMBRIEL**



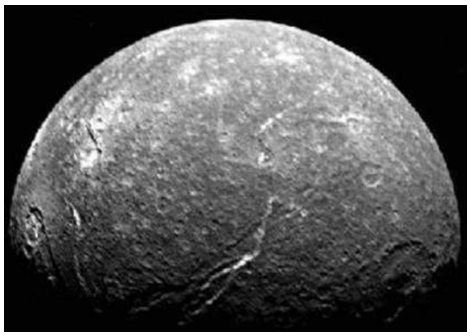
→ **Rasgos**

- Tiene una muy baja densidad y bajo albedo. Es la superficie más oscura de los satélites principales de Urano
- Muy craterizado.
- Sin signos claros de actividad geológica.

→ **Lectura**

- Geología **fósil**.
- En contraste con Ariel indica **historias térmicas distintas**.

⇒ **TITANIA**



→ **Rasgos**

- Es el mayor de los satélite de Urano.
- Posee una intensa red de **Cañones de varios km**. de profundidad.
- Escasez de grandes cráteres e impactos.

→ **Lectura**

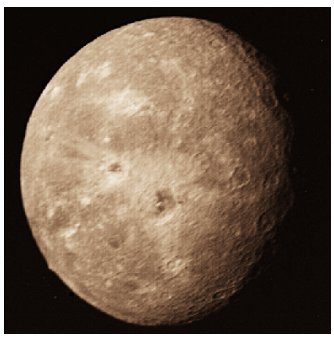
- **Tectónica extensiva** en hielo.
- Posible actividad geológica pasada.
- Indicios de calentamiento interno antiguo.

⇒ **OBERÓN**



→ **Rasgos**

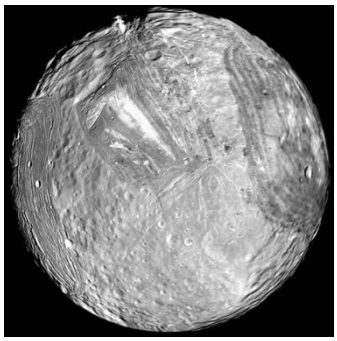
- Superficie craterizada.
- Depósitos de eyectores con contrastados colores.
- Posible sustrato de hielo bajo la superficie.



→ **Lectura**

- Actividad geológica limitada.
- Registro de impactos bien preservado.

⇒ **MIRANDA**



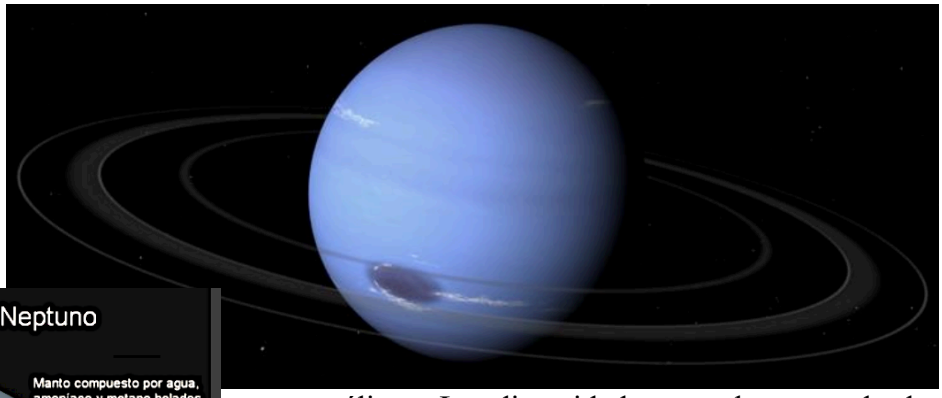
→ **Rasgos**

- Tiene un pequeño tamaño y baja densidad.
- Superficie extremadamente **compleja**.
- Compuesto prácticamente de hielo.

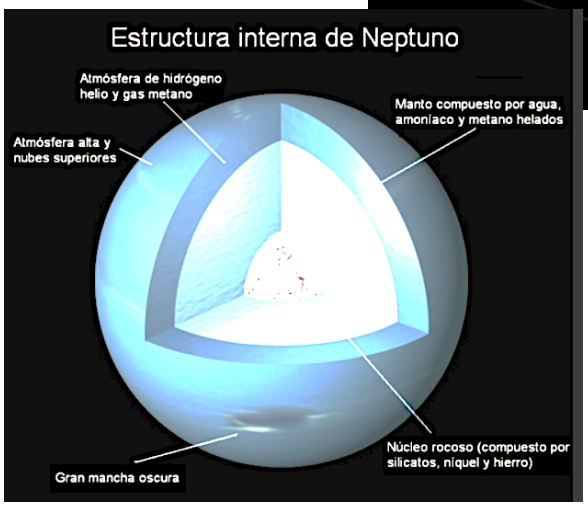
→ **Lectura**

- Historia **anómala**: reensamblaje tras impactos o fuertes mareas.
- El hielo responde de forma dúctil a tensiones intensas.

⇒ **URANO Y LA GEOLOGÍA DE HIELOS DEFORMABLES**



El sistema de Urano representa una geología de baja energía dominada por hielos, donde un impacto gigante temprano condicionó la dinámica del planeta y la evolución de sus satélites. La diversidad entre lunas —desde superficies fósiles hasta terrenos rejuvenecidos— refleja historias térmicas y mareales muy distintas. Urano demuestra que la geología planetaria puede ser intensa incluso en entornos fríos y aparentemente tranquilos.

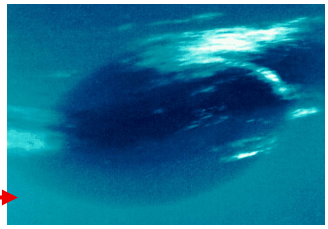


⇒ NEPTUNO (VISIÓN GENERAL)

Neptuno es un **gigante helado** con **gran energía interna** pese a su distancia al Sol (**4.500 millones de kilómetros**). Está compuesto principalmente por una mezcla espesa de agua, amoníaco y metano, lo que le otorga su característico color azul metálico.

→ **Lectura geológica**

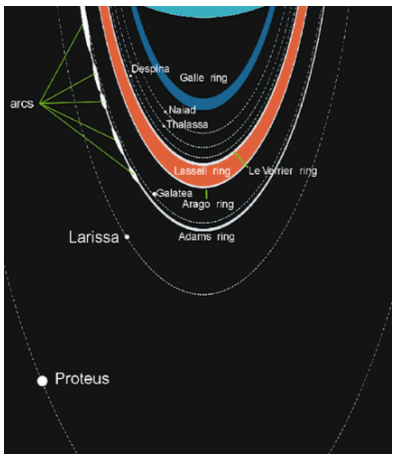
- Emite **más energía de la que recibe**.
- Dinámica atmosférica intensa → acoplamiento con su sistema de satélites.
- La geología relevante se expresa en **anillos y lunas**, no en una "superficie" sólida.



⇒ **NEPTUNO: ATMÓSFERA Y TORMENTAS**

→ **Hechos**

- Tormentas persistentes (p. ej., Gran Mancha Oscura).
- Composición: agua, amoniaco y metano.
- Campo magnético activo.
- Densidad mayor que la de Urano.



→ **Lectura**

- La **contracción gravitatoria** sostiene la energía interna.
- La atmósfera es un sistema **altamente dinámico**, incluso en el confín del Sistema Solar.

⇒ **ANILLOS**

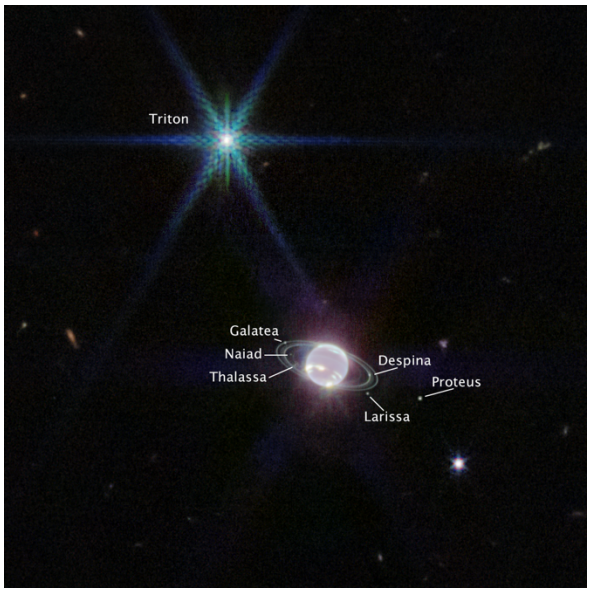
→ **Rasgos**

- **Cinco anillos**, uno con **arcos** (concentraciones de partículas locales).
- Partículas heladas y polvo.
- Pequeños satélites incrustados y presencia de asteroides troyanos (2.000).

→ **Lectura geológica**

- Anillos **jóvenes e inestables**, mantenidos por resonancias.
- Ejemplo de **geología gravitacional** en estado no estacionario.

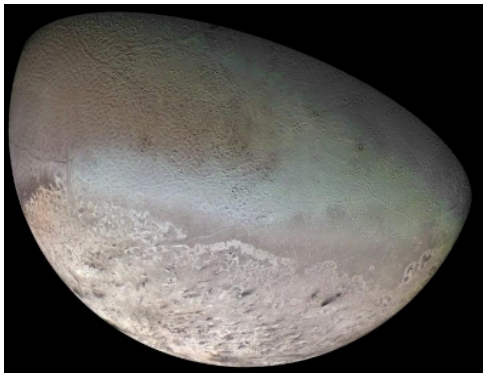
⇒ **SATÉLITES**



→ **Clasificación**

- Numerosos satélites dentro del límite de Roche (se denomina límite de Roche a la distancia más pequeña a la que puede estar un cuerpo que orbita alrededor de otro más masivo y mantenerse entero en virtud tan solo de su cohesión gravitatoria.). Algunos de estos satélites son: **Larisa, Thalasa, Depina, Galatea** y **Naiade**.
- Y 3 fuera de dicho límite: **Prometero**, **Nereida**, y **Tritón**

⇒ **TRITÓN (INTRODUCCIÓN)**



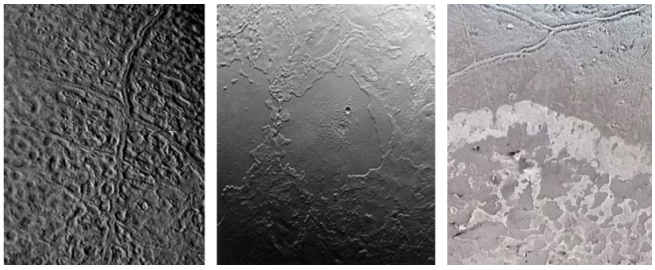
→ **Rasgos**

- Su órbita es **retrógrada** (clave).
- La superficie es de **nitrógeno helado,** agua, metano y monóxido de carbono: N_2, H_2O, CH_4, CO.
- Tenue atmósfera estacional.
- Coloración rojiza (hielo de metano) y azulado (hielo de nitrogeno).

→ **Lectura geológica**

- Tritón es un **objeto capturado** (probable origen transneptuniano).
- La captura indujo **calentamiento mareal** y reactivó su geología.
- Escasez de relieve.

⇒ **TERRENOS Y ACTIVIDAD**



→ **Hechos**

- Terrenos caóticos, cuencas llanas y casquetes.
- **Géiseres de nitrógeno** observados en la zona polar (*Voyager 2*).

→ **Lectura**

- **Criovulcanismo activo** impulsado por energía solar estacional y mareas residuales.
- Superficie **joven** en partes → renovación reciente.
- Tritón muestra que:
  - la **captura** puede "revivir" mundos helados,
  - la geología puede activarse **sin calor radiogénico** dominante.

⇒ CUERPOS TRANSNEPTUNIANOS (VISIÓN GENERAL)

→ Es una región **más allá de la órbita de Neptuno** con:

- órbitas estables o muy excéntricas, aunque no regulables,
- cuerpos del tamaño de **Plutón** e inferiores,
- morfologías variadas y órbitas muy extensas.

→ **Esta zona incluye**:

- Plutón y cuerpos similares
- El cinturón de Kuiper
- La nube de Oort

→ **Lectura**

- Son **restos primitivos** del disco exterior.
- Conservan hielos volátiles (N_2, CH_4, CO).

⇒ **PLUTÓN: CAMBIO DE CATEGORÍA**



→ **Hechos**

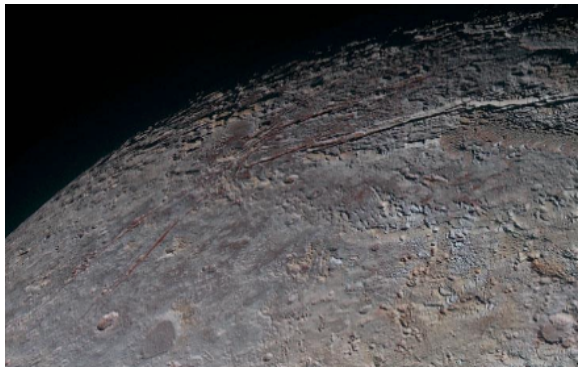
- Ha estado considerado hasta hace pocos años el noveno planeta del Sistema Solar.

Hoy está descatalogado como planeta debido a:
– Reducido tamaño (menor que algunas lunas de otros planetas)
– Órbita en distinto plano y mayor excentricidad
– Periódicamente no era el último cuerpo del Sistema Solar
– Descubrimiento de otros cuerpos de características similares (Eris, Sedna)

→ **Lectura**

- La clasificación refleja **diversidad**, no pérdida de importancia geológica.

⇒ **GEOLOGÍA ACTIVA**



→ **Rasgos**

- Grandes masas glaciares de **nitrógeno** en su superficie (*Sputnik Planitia*).
- Tectónica extensional compleja.
- Superficie joven de hielo craterizada en áreas amplias.

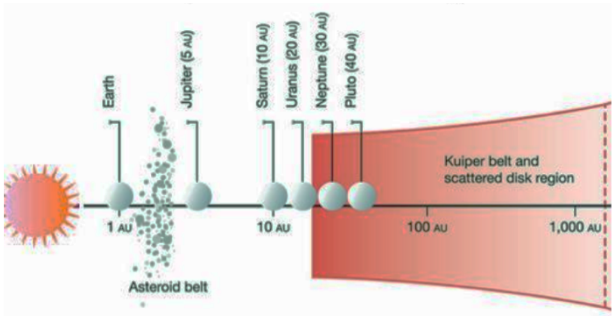
→ **Lectura geológica**

- **Convección en hielos**.
- Posible **océano subsuperficial** salino.
- Actividad impulsada por:
  - calor residual,
  - desintegración radiactiva,
  - aislamiento térmico de los hielos.

⇒ **CINTURÓN DE KUIPER**

→ **Hechos**

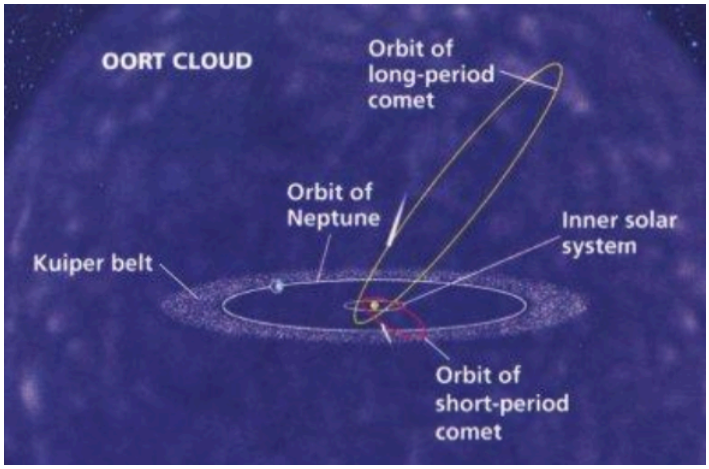
- Reservorio de cuerpos helados de pequeña entidad.
- Fuente de **esteroides capturados** y **cometas de periodo corto**.
- Restos de la formación del Sistema Solar y cuerpos expulsados por la gravedad de los planetas gigantes.



→ **Lectura**

- Archivo del **Sistema Solar exterior**.
- Dinámica controlada por Neptuno.

⇒ **NUBE DE OORT**



→ **Hechos**

- Situados de forma esférica en el exterior del Sistema Solar
- Fragmentos helados de tamaño variable
- Restos de la formación del Sistema Solar, no colapsados hacia el plano de la eclíptica Envolvente esférica lejana.
- Origen de **cometas de largo periodo**.

→ **Lectura**

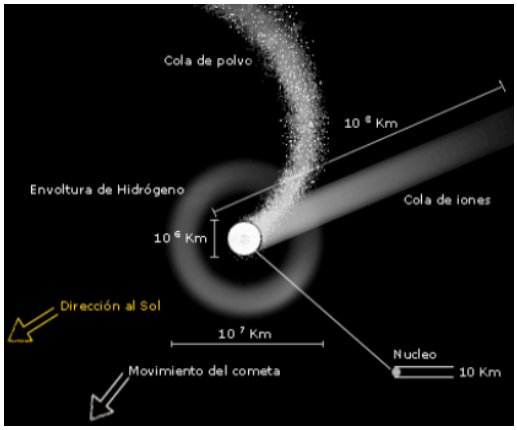
- Restos no colapsados al plano de la eclíptica.
- Testigo del entorno estelar temprano.

⇒ **COMETAS**



→ **Rasgos**

- Cuerpos de hielo, roca y gases de la nube de *Oort* o el *Cinturón de Kuiper*.
- Al acercarse al Sol:
  - se produce gasificación,
  - **se generan dos colas** (polvo y gas),



- se provoca interacción con el viento solar,
- sus órbitas pueden modificarse debido a alteraciones gravitacionales.

→ **Lectura geológica**

- Los cometas son **mensajeros químicos** del origen.
- Transportan **volátiles** y compuestos orgánicos.

⟹ SÍNTESIS FINAL

La geología planetaria muestra que la diversidad de mundos del Sistema Solar surge de la combinación entre composición inicial, energía disponible y contexto dinámico. Desde el volcanismo extremo de ***Ío*** hasta los océanos ocultos de **Europa**, pasando por la geología activa de **Plutón** y **Tritón**, los procesos geológicos no son exclusivos de la Tierra. El estudio comparado de estos cuerpos permite comprender mejor el origen, la evolución y el futuro de los planetas, así como redefinir los límites de la actividad geológica y de la habitabilidad.

Tema 9 - LOS MATERIALES TERRESTRES: MINERALES Y ROCAS

- **La Geología no estudia paisajes abstractos, estudia materiales concretos**.

Todo lo que hemos visto en los temas anteriores (planetas, permafrost, volcanes, cañones, tectónica) **se explica a partir de los materiales** que forman la corteza terrestre.

Este tema es, por tanto, **la base material de toda la Geología**.

⟹ CONTENIDOS

Este es el índice que de los temas marcados por una **progresión lógica**:

1. **Mineral** → unidad básica.
2. **Cristalización** → cómo se forman.
3. **Propiedades** → cómo se reconocen.
4. **Tipos de minerales** → cómo se clasifican.
5. **Roca** → agregados de minerales.
6. **Tipos de rocas** → procesos geológicos.
7. **Recursos de la geosfera** → relación con la sociedad.

👉 El mensaje es claro: **de lo microscópico a lo macroscópico**, y de ahí al uso humano.

⟹ CONCEPTO DE MINERAL

Esta es una **definición clave**, que conviene entender palabra por palabra:

- ***Sustancia inorgánica de origen natural, con estructura cristalina específica y composición química característica.***

→ Aunque la composición química puede variar, en algunos casos, dentro de unos límites, la estructura interna, la composición y las propiedades físicas permiten caracterizar cada especie mineral.

Desglose profundo:

- **Sustancia**: no es una mezcla casual.
- **Inorgánica**: no depende de procesos biológicos (aunque pueda intervenir la vida).
- **Origen natural**: excluye materiales artificiales (vidrio, acero).
- **Estructura cristalina**: los átomos están **ordenados**, no al azar.
- **Composición química característica**: puede variar un poco, pero dentro de límites.



👉 **La identidad del mineral la da el orden interno**, no solo el aspecto externo.

- Esto es crucial: dos minerales con la misma composición pueden ser distintos si su estructura cambia (polimorfismo).

⟹ PROPIEDADES DE LOS MINERALES: ¿POR QUÉ SON ÚNICAS?

Aquí se introduce una idea metodológica esencial:

- ***Las propiedades de un mineral dependen de su composición y de cómo se ordenan sus componentes***.

→ Esto explica por qué:

- podemos identificar minerales **sin análisis químico**,
- usando propiedades físicas observables.
- Hay minerales que son extraídos y utilizados para aprovechar sus componentes químicos porque las propiedades de éstos son útiles para la industria.
- El estudio de las propiedades características de los minerales nos permite identificarlos y clasificarlos.
- Una vez conocidas las propiedades de un mineral, podemos saber de cual se trata usando claves dicotómicas.

⟹ COLOR Y RAYA

→ **Color**



Es el color de la superficie del mineral, pero:

- puede estar alterado,
- puede variar por impurezas.

Se distinguen:

- **idiocromáticos**: color constante (azufre, malaquita, azurita…).
- **alocromáticos**: color variable (cuarzo, yeso…).

https://www.youtube.com/watch?v=T0WW_JRCTsA

⟹ RAYA



La **RAYA** es el **color real del mineral en polvo**. Se aprecia cuando rayamos el mineral hasta pulverizarlo sobre una placa de porcelana. Con frecuencia el color de raya no coincide con el color del mineral, ya que este último suele estar alterado.

👉 Geológicamente, la **raya es más fiable que el color**.

- **Ejemplos destacados de colores de raya:**

- **Rojo/Pardo:** Hematita (rojo sangre/pardo), Cinabrio (rojo).
- **Negro/Gris oscuro:** Pirita (negro verdoso), Galena (gris plomo), Magnetita (negro), Calcopirita (negro verdoso).
- **Amarillo:** Oro (amarillo dorado), Crocoíta (amarillo), Limonita (amarillo amarronado).

- **Blanco/Incoloro:** Fluorita (siempre blanca, a pesar de su color externo), Calcita, Cuarzo.
- **Verde:** Malaquita (verde), Esfalerita.

La raya es fundamental para diferenciar minerales de aspecto similar, como el oro (amarillo) y la calcopirita (negro), o el hematita (rojizo) de otros minerales negros.

⟹ BRILLO Y DUREZA

→ Brillo

El **BRILLO** es el resultado de la reflexión y la refracción de la luz en la superficie de un mineral. Dependiendo de cómo la luz interactúa con la estructura del mineral puede ser:

- **Metálico**: brilla como un metal.
- **No metálico**: no brilla. Se subdivide: vítreo, resinoso, nacarado, perlado, céreo, graso, sedoso, adamantino, etc.



El brillo da pistas sobre:

- tipo de enlace,
- presencia de metales,
- estructura cristalina.

→ Dureza

Es la resistencia que ofrece un mineral a ser rayado por otro mineral o por un objeto. Se determina frotando el mineral con los de la **escala de Mohs** (1822). Esta escala consta de 10 minerales a los que se les ha asignado un valor creciente de dureza (del 1 al 10).

No mide fuerza ni resistencia a golpes, sino **resistencia relativa al rayado**.



👉 La dureza está directamente relacionada con:

- tipo de enlace químico,
- compactación de la red cristalina.

⟹ FRACTURA, EXFOLIACIÓN Y HÁBITO/FORMA

→ Fractura

Una **FRACTURA** mineral es cada una de las formas que puede adoptar la superficie por la cual se rompe un mineral que ha sido golpeado y **cuando no sigue planos definidos**.

Ejemplos:

- concoidea (cuarzo),
- irregular,
- fibrosa.

→ Exfoliación

La EXFOLIACIÓN ocurre cuando los minerales se rompen a lo largo de planos con debilidad estructural.

Rotura según **planos de debilidad estructural**.

Ejemplo:

- micas → láminas.
- galena → cubos.

👉 La exfoliación **revela la arquitectura interna del cristal**.

🔹 En importante conocer el vocabulario que se utiliza en la mineralogía sobre esta clasificación; expresiones como **"2 dir. (60°/120°)"** se refiere a un tipo de **exfoliación prismática** característica de ciertos **silicatos**, fundamentalmente del grupo de los **anfíboles**.

Mineral	Color	Brillo	Raya	Dureza	Exfoliación	Hábito cristalino	Densidad
Anfíbol	Negro/verde	Vítreo	Blanca	5–6	2 dir. (60°/120°)	Prismático	3,2

→ **Veamos este desglose detallado:**

- **2 dir. (Dos direcciones):** Significa que el mineral tiende a romperse o exfoliarse siguiendo dos planos distintos de debilidad estructural.
- **60°/120° (Ángulos):** Los planos de exfoliación no se cruzan en ángulo recto (90°), sino que forman un ángulo agudo de aproximadamente 60° (o 56°) y un ángulo obtuso de 120° (o 124°) entre ellos.

→ **Características clave de esta exfoliación:**

- **Estructura:** Refleja la estructura de doble cadena de los **anfíboles**, que difiere de la de cadena simple de los **piroxenos** (que exfolian a 90°).
- **Identificación:** En cortes finos (microscopio) o muestras de mano, produce formas características con ángulos característicos de 60/120 grados.

En resumen, indica que el mineral se fractura en forma de rombo o prisma con ángulos no perpendiculares, lo que permite diferenciar a los anfíboles de otros minerales como los piroxenos.

→ **Forma / Hábito**

Los términos, forma y hábito, hacen referencia a la **morfología externa** que pueden presentar los minerales, y dependen de la simetría, de las proporciones relativas y el grado de perfección.

- En el caso de la **forma**, cuando un mineral está bien cristalizado, su morfología externa se caracteriza a través de un conjunto de **caras** que conforman una figura geométrica que es **propia** y fácilmente reconocible (**idiomorfos** o **euhedrales**). Algunos ejemplos pueden ser los cristales cúbicos de **pirita** o los escalenoedros de la **calcita**. No todos los minerales desarrollan por igual todas sus caras, incluso pueden no verse alguna de ellas o ninguna, este tipo de morfologías se denominan **alotriomorfos o anhedrales**.
- En el caso del **hábito** se aplica tanto a **cristales** como a **agregados de cristales**.

→ Algunos minerales suelen aparecer con formas y hábitos muy característicos:

- Hábito equidimensional: pirita, fluorita, halita, galena….
- Hábito prismático: cuarzo, calcita…
- Hábito tabular: yeso, baritina



- Hábito laminar: micas (flogopita, moscovita, biotita…)
- Hábito fibroso: yeso



Más ejemplos de hábitos y formas de minerales



Equidimensional: pentagonododecaedro (piritoedro) de pirita.



Prismático: cristales prismáticos de cuarzo.



Agregado fibroso radial de wollastonita.



Agregado **masivo** de sepiolita.



Agregado **botroidal** de malaquita.



Agregado **laminar** de flogopita.

👉 Todo esto no es decoración: el hábito es la **expresión externa del orden interno**.

⟹ DENSIDAD Y DIAFANIDAD

→ Densidad

La **densidad** es la relación entre la masa del mineral y su volumen. A igual volumen, un mineral más denso tiene más masa que uno menos denso.

Densidad= masa/volumen

- A igual tamaño, un mineral denso "pesa más".
- Si se expresa en relación con la densidad del agua, se la denomina peso específico.

👉 Esto es clave para reconocer:

- sulfuros metálicos,
- minerales con elementos pesados.

→ **Diafanidad**

Es la propiedad que poseen algunos minerales de permitir que la luz los traspase casi en su totalidad; si la luz no puede ser traspasada a través de ellos se dice que su diafanidad es **opaca**.

◈ Se distinguen dos grados de diafanidad:

- **Transparente**, cuando el contorno de un objeto puede ser distinguido perfectamente a través del cuerpo del mineral.
- **Translúcido**, si se intuye un objeto a través del cuerpo del mineral, pero no se distingue con claridad.

👉 Esto está relacionado con su composición, estructura y el tipo de enlace.

⟹ **PROPIEDADES ESPECIALES: SABOR, TACTO Y MAGNETISMO**

Estas propiedades, después de lo visto pudieran parecen "menores", pero no lo son.

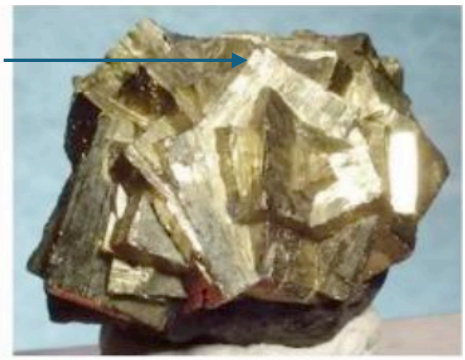
- **Sabor**: Es el resultado de la disolución de algunos minerales, muy solubles, con la saliva. Por medio de este sistema se pueden reconocer algunos **haluros solubles** (ej. la halita, silvina, carnalita).



Mineral transparente. Halita
Imagen de Adam Durylan en Wikimedia Commons.



Mineral translúcido: Aragonito
Imagen de Rob Lavinsky en Wikimedia commons. Licencia



Mineral opaco: Pirita
Imagen de Rob Lavinsky en Wikimedia commons. Licencia Cc

- **Tacto**: Algunos minerales tienen un tacto **untoso** que los hace fácilmente reconocibles mediante el tacto. (Ej. Talco).





- **Magnetismo**: es la capacidad de algunos minerales para ser atraídos por un imán. La mayoría de los minerales que contienen hierro son magnéticos, pero pocos los son tanto como la magnetita.

👉 En campo, estas propiedades permiten **identificaciones rápidas y fiables**.

⟹ **CONCEPTO DE ROCA**

◈ ***Roca: agrupación de minerales.***

→ Esto parece simple, pero tiene implicaciones profundas:

- Una roca **no es una sustancia**, es un **sistema**.
- Su identidad depende de:

- qué minerales contiene,
- cómo están dispuestos,
- cómo se formó.

◈ La **Petrología** estudia las rocas **como resultado de procesos geológicos**.

→ Existen varias formas de clasificar las rocas, pero aquí se va a realizar por el origen.
→ Las de origen externo o **exógenas,** formadas en la superficie de la Tierra. Las de origen interno o **endógenas,** formadas, en parte al menos, en el interior de la Tierra.

⟹ CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS

Del mismo modo que los minerales, las rocas tienen unas propiedades **derivadas de su historia** que permiten su identificación. Estas propiedades dependen, sobre todo, del modo en que la roca se formó en la naturaleza.

Así que, sus propiedades son:

1) La **composición** de la roca es el conjunto de minerales que la forman. Ej. El granito está formado por 3 minerales (cuarzo, feldespato y mica) y la caliza por uno, la calcita.
2) La **textura** es la forma y disposición de los granos de los minerales en la roca: homogéneo o heterogéneo. Estos pueden ser de tamaño y forma distintos, pueden disponerse de forma ordenada, pueden ser fragmentos de otras rocas. Todo esto son indicadores de la velocidad de enfriamiento, transporte, presión, etc.
3) El **color** es variable, poco diagnóstico por sí solo.
4) La **dureza** está relacionada con la resistencia del conjunto.

👉 La textura es, geológicamente, **la memoria del proceso de formación**.

⟹ LOS RECURSOS DE LA GEOSFERA

Ahora vamos a conectar **geología y sociedad**.

De la corteza obtenemos:

1) **Minerales**: piedras preciosas o gemas (diamante, esmeralda, rubí, ...) y minerales de interés industrial (el uranio de la uranita para las centrales nucleares; el sílice del cuarzo para el vidrio, los metales (cobre, hierro, plomo, etc.)
2) **Rocas**: rocas industriales (con caliza y arcilla se hace cemento, con la arcilla cerámica, etc.) y rocas ornamentales (mármol, granito, pizarra, etc.) en construcción y para esculturas, suelos, revestimientos, etc.
3) **Combustibles**: La **producción minera española** no destaca a escala mundial, aunque hasta hace poco tiempo ha sido uno de los productores principales de mercurio, carbón y actualmente se encuentra entre los principales productores de sepiolita.

👉 **La Geología no es solo ciencia básica: es ciencia aplicada**.

⟹ CONCLUSIÓN FINAL DEL TEMA

Los minerales constituyen las unidades básicas de la materia terrestre, definidas por una estructura cristalina y una composición química ordenada. Sus propiedades físicas permiten identificarlos y clasificarlos sin necesidad de análisis complejos. Las rocas, como agregados de minerales, registran en su composición y textura los procesos geológicos que las originaron. El estudio de los materiales terrestres no solo permite comprender la dinámica interna y externa del

planeta, sino también fundamenta el aprovechamiento responsable de los recursos de la geosfera, estableciendo un puente directo entre la geología y la sociedad.

VIDEO PARA IDENTIFICAR METALES:
https://www.youtube.com/watch?v=koqQu8IKZpA&t=13s

TABLA A. Minerales más importantes y propiedades físicas

Mineral	Color	Brillo	Raya	Dureza	Exfoliación	Hábito cristalino	Densidad
Cuarzo	Variable	Vítreo	Blanca	7	No	Prismático hexagonal	2,65
Ortoclasas	Blanco/rosado	Vítreo	Blanca	6	2 dir. (90°)	Tabular	2,55
Plagioclasas	Blanco/gris	Vítreo	Blanca	6	2 dir. (90°)	Tabular	2,6–2,8
Moscovita	Incolora	Nacarado	Blanca	2–2,5	Perfecta	Laminar	2,8
Biotita	Negra	Nacarado	Gris	2,5–3	Perfecta	Laminar	3,1
Olivino	Verde	Vítreo	Blanca	6,5–7	No	Granular	3,3
Piroxeno	Verde oscuro/negro	Vítreo	Blanca	5–6	2 dir. (90°)	Prismático	3,4
Anfíbol	Negro/verde	Vítreo	Blanca	5–6	2 dir. (60°/120°)	Prismático	3,2
Calcita	Blanca	Vítreo	Blanca	3	3 dir.	Romboédrico	2,7
Dolomita	Blanca/gris	Vítreo	Blanca	3,5–4	3 dir.	Romboédrico	2,9
Yeso	Blanco	Vítreo/sedoso	Blanca	2	1 dir.	Tabular/fibroso	2,3
Halita	Incolora	Vítreo	Blanca	2–2,5	3 dir. (cúbica)	Cúbico	2,2
Fluorita	Variable	Vítreo	Blanca	4	4 dir.	Cúbico	3,2
Apatito	Verde	Vítreo	Blanca	5	No	Prismático	3,2
Talco	Blanco	Graso	Blanca	1	No	Laminar	2,7
Pirita	Amarillo	Metálico	Verde	6–6,5	No	Cúbico	5,0
Galena	Gris	Metálico	Gris	2,5	3 dir.	Cúbico	7,6
Hematites	Rojo oscuro	Metálico/mate	Roja	5–6	No	Masivo	5,3
Magnetita	Negra	Metálico	Negra	5,5–6	No	Octaédrico	5,2
Azurita	Azul	Vítreo	Azul	3,5–4	No	Prismático	3,8
Malaquita	Verde	Vítreo	Verde	3,5–4	No	Fibroso	4,0


Top 20 Minerales y Sus Menas Importantes
Hierro
Hematita
Magnetita
Goethita
Siderita
Aluminio
Bauxita
Cobre
Calcopirita
Bornita
Calcocita
Malaquita
Manganeso
Pirolusita
Rodocrosita
Oro
Oro Nativo
Cuarzo
Plata
Plata de Asta
Plomo
Galena
Cerusita
Zinc
Esfalerita
Smithsonita
Cromo
Cromita
Níquel
Pentlandita
Garnierita
Estaño
Casiterita
Tungsteno
Wolframita
Scheelita
Uranio
Pitchblenda
Titanio
Ilmenita
Rutilo
Cobalto
Litio
Espodumena
Lepidolita
Magnesio
Magnesita
Dolomita
Fósforo
Magnesita
Dolomita
Elementos de las Tierras Raras
Monazita
Bastnásita
Xenotima

TABLA B. Rocas ígneas

Roca	Textura	Composición	Color	Dureza	Peso	Rasgos diagnósticos
Granito	Grano grueso	Cuarzo+Feldespato+Mica	Claro	Alta	Pesada	Cristales visibles
Diorita	Grano medio	Plagioclasa+Anfíbol	Intermedio	Alta	Pesada	Sal y pimienta
Gabro	Grano grueso	Plagioclasa+Piroxeno	Oscuro	Muy alta	Muy pesada	Sin cuarzo
Basalto	Grano fino	Plagioclasa+Piroxeno	Negro	Muy alta	Pesada	Volcánica
Obsidiana	Vítrea	Vidrio volcánico	Negra	Alta	Media	Fractura concoidea
Pumita	Vesicular	Vidrio volcánico	Clara	Blanda	Muy ligera	Flota

TABLA C. Rocas sedimentarias

Roca	Textura	Composición	Color	Dureza	Peso	Estructuras/fósiles
Conglomerado	Clastos redondeados	Fragmentos variados	Variable	Media	Pesada	Cantos
Brecha	Clastos angulosos	Fragmentos variados	Variable	Media	Pesada	Angulosos
Arenisca	Grano arena	Cuarzo	Beige/roja	Media	Media	Estratos
Lutita	Grano muy fino	Arcillas	Oscura	Blanda	Ligera	Laminación
Caliza	Compacta	Calcita	Blanca	Media	Media	Fósiles
Yeso	Cristalina	Yeso	Blanca	Blanda	Ligera	Evaporita
Carbón	Masiva	Carbono	Negra	Blanda	Ligera	Orgánica

TABLA D. Rocas metamórficas

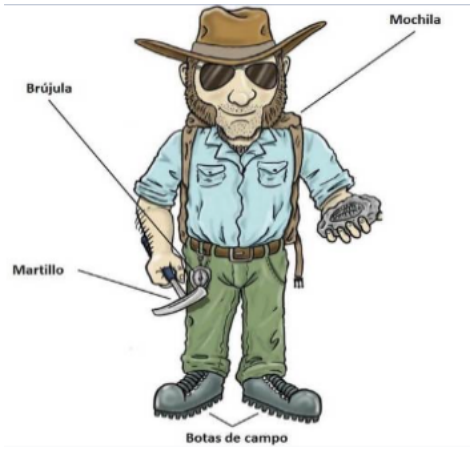
Roca	Textura	Composición	Color	Dureza	Peso	Rasgos clave
Pizarra	Foliada fina	Micas microscópicas	Oscura	Media	Media	Láminas
Filita	Foliada sedosa	Micas finas	Gris verdoso	Media	Media	Brillo sedoso
Esquisto	Foliada gruesa	Micas visibles	Variable	Media	Pesada	Cristales orientados
Gneis	Bandeada	Cuarzo+Feldespato	Claro/oscuro	Alta	Pesada	Bandas
Mármol	Granoblástica	Calcita	Blanca	Media	Media	Reacciona HCl
Cuarcita	Masiva	Cuarzo	Clara	Muy alta	Pesada	Muy dura

Tema 10: MAPAS TOPOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS

Este tema es muy importante, porque **enseña a "leer el terreno" sin estar físicamente en él**.

⇒ **MAPAS TOPOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS: UN MUNDO POR DESCUBRIR**

La geología no se limita a observar rocas, sino que **interpreta el territorio a través de mapas**.



Un mapa es una herramienta fundamental porque permite:

- representar la superficie terrestre
- entender el relieve
- reconstruir la historia geológica
- localizar recursos
- planificar obras e infraestructuras

En geología, el mapa es **el instrumento de síntesis del trabajo de campo**.

Un geólogo pasa semanas observando rocas, estratos y estructuras, y toda esa información se **resume finalmente en un mapa geológico**.

- **Qué vamos a aprender en el tema**

El tema combina **teoría y práctica**.

- Teoría:

- Qué es un mapa
- Qué es un mapa topográfico
- Qué es un mapa geológico

- Práctica:

- reconstruir mapas topográficos
- hacer perfiles topográficos
- reconstruir mapas geológicos
- correlaciones estratigráficas

Esto es muy importante porque **la geología se aprende interpretando mapas**, no solo memorizando conceptos.

- Para entender la Tierra hay que hacerse una pregunta simple:

¿Cómo debemos representar la Tierra para entenderla?

El planeta es tridimensional y enorme. No podemos verlo entero ni recorrerlo completamente. Por eso la ciencia utiliza **modelos y representaciones**, siendo el mapa la herramienta principal.

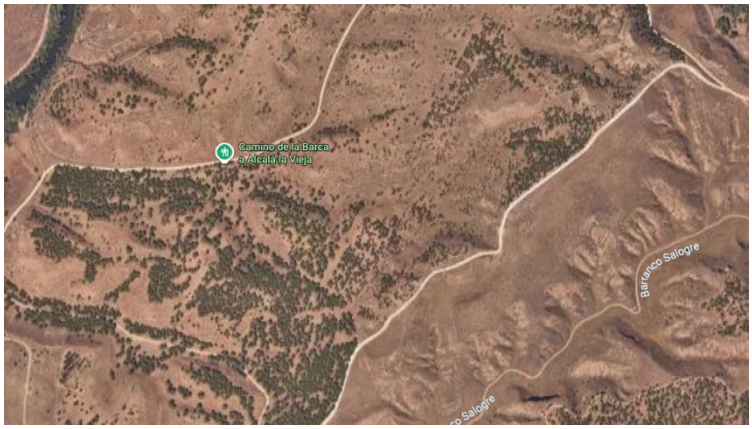
Y es que el mapa es una **abstracción científica del territorio**.





Relieve y materiales: El relieve de la Tierra depende de dos factores fundamentales:

1️⃣ La forma del terreno (relieve)



Incluye elementos como:

- cordilleras
- valles
- mesetas
- montañas
- llanuras
- cimas
- laderas

Estos elementos son **formas geomorfológicas**.

2️⃣ Los materiales que forman el terreno

El relieve depende mucho del tipo de roca.

- Ejemplo:

- las calizas generan relieves kársticos
- los granitos generan berrocales
- las arcillas generan relieves suaves

Por eso un mapa geológico **explica el relieve**.

🔹 Historia de los mapas

Veamos dos hitos históricos acerca de los mapas.



→ Mapa más antiguo conocido

Corresponde a una **tablilla babilónica del siglo VI a.C.**
Era un esquema del mundo conocido con:

- ciudades
- ríos
- zonas míticas

👉 No era exacto, pero ya mostraba el intento humano de **representar el territorio**.

🔹 Mapa de Henricus Martellus (siglo XV)



Este mapa fue una de las fuentes que inspiró a **Cristóbal Colón**.

Es importante porque refleja el conocimiento geográfico del mundo justo antes de los grandes descubrimientos.

🔹 Qué es realmente un mapa

Un mapa es una representación gráfica simplificada y a escala de una serie de datos geográficos correspondientes a un territorio con propiedades métricas sobre una superficie bidimensional que puede ser con forma plana, esférica o incluso poliédrica.

Un mapa tiene dos componentes:

⇒ **Base geográfica**

El territorio.

⇒ **Información temática**

Lo que queremos estudiar.

Ejemplos de mapas temáticos:

- mapas climáticos
- mapas geológicos
- mapas económicos
- mapas de vegetación





En geología nos interesan, sobre todo:

- mapas topográficos
- mapas geológicos

Escala de un mapa

La escala indica **la relación entre el mapa y la realidad**.
Ejemplo:
1: 10000

Significa que
1 cm en el mapa = 10000 cm en la realidad

Tipos de escala

⇒ Escalas grandes

1:50 – 1:10000

Muy detalladas.
Usadas en los planos topográficos de parcelas y poblaciones de pequeño tamaño, así como en proyectos de ingeniería y arquitectura y mapas de términos municipales.

⇒ Escalas medias

1:10000 – 1:100000

Comprenden los mapas topográficos nacionales de la mayoría de los países. Las escalas menores se emplean en los mapas detallados de zonas de interés dentro de esas series nacionales.

⇒ Escalas pequeñas

1:200000 – 1:1000000

Son las que tradicionalmente se utilizan en España para la formación de mapas provinciales, de Comunidades Autónomas o nacionales, que, generalmente, son obtenidos por síntesis de mapas de escalas superiores, es por este motivo que también se los conoce como mapas derivados.

⇒ Escalas muy pequeñas

Mapamundis y los planisferios (proyección de Mercator, Goode, Van der Grinten y Robinson, entre otras.
Cuanto **mayor es el denominador**, **menos detalle tiene el mapa**.

Para qué sirven los mapas geológicos

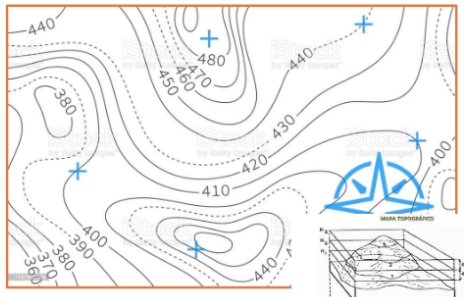
Los mapas geológicos se utilizan para:

- conocer la historia de la Tierra
- localizar recursos minerales o naturales
- encontrar acuíferos
- planificar infraestructuras territoriales y de gestión
- prevenir riesgos geológicos
- gestionar el territorio para realizar infraestructuras

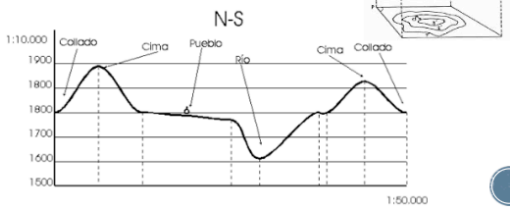
Ejemplo:

Antes de construir un túnel o una presa, es obligatorio estudiar el **mapa geológico de la zona**.

Mapas topográficos



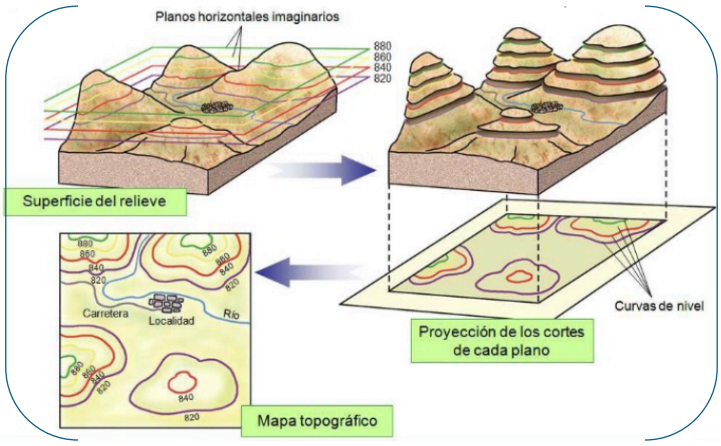
Un mapa topográfico representa el **relieve tridimensional en un plano**. Pero en algunas ocasiones es importante visualizar las diferencias de altitud en una dirección determinada por medio de curvas de nivel para unen puntos con **igual altitud**, para ello se suelen utilizar los cortes o perfiles topográficos.



Esto permite representar montañas, valles y pendientes.

Cómo funciona un mapa topográfico

Un mapa topográfico representa en dos dimensiones, el relieve de una región. Para ello, se proyecta sobre el mapa **las curvas de nivel,** cortando una montaña con planos horizontales. Cada plano genera una línea **o varias que unen los puntos del relieve situados a la misma altitud sobre el nivel del mar.**

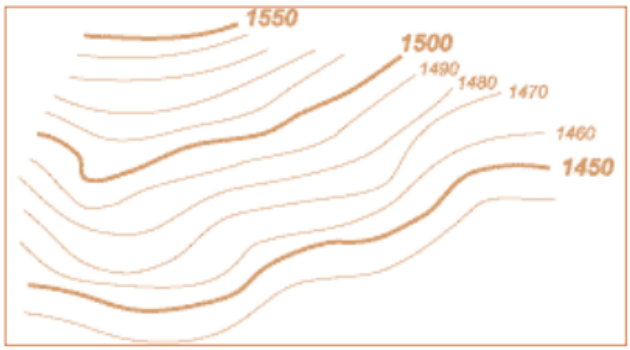


En un mapa topográfico, como el de la imagen se muestra información muy variada como la localización de cada punto, tamaño del área representada, formas de relieve y la altura de cada punto.

👉 Cuando proyectamos todas las curvas sobre un plano obtenemos el mapa topográfico.

Curvas maestras y curvas normales

En un mapa hay dos tipos de curvas:



⇒ **Curvas maestras**

Curvas maestras. son las que presentan un grosor mayor en el trazo y vienen acompañadas de una numeración que indica la altitud, generalmente de 100 m entre una y otra. Su función es la de indicar la altura periódicamente sin necesidad de llenar el mapa de cantidades que dificultarían su uso.

⇒ **Curvas normales**

Presentan un trazado más fino y no presentan numeración que indique su altitud. En los mapas topográficos estas curvas difieren en 20 m de altitud entre una y otra.

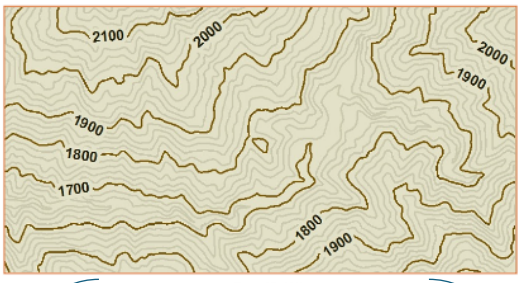
Sirven para interpretar el relieve con precisión.

Reglas de las curvas de nivel

Una curva de nivel, por lo tanto, es la línea que une los puntos de un mapa que tienen idéntica altitud.

Y existen dos reglas fundamentales:

1. **Nunca se cruzan**
2. **Nunca se cortan**

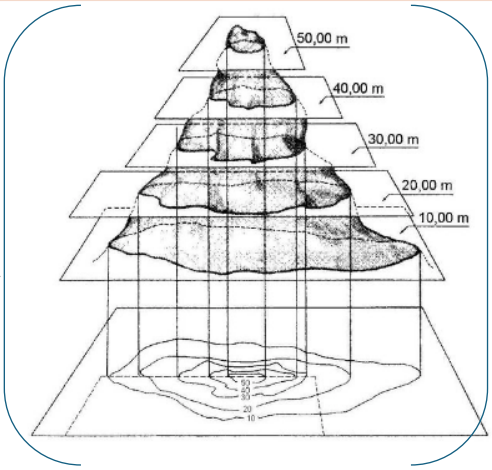


Las curvas de nivel podemos visualizarlo como un corte en la superficie del terreno con un conjunto de planos paralelos entre sí, que deberán de estar separados por una distancia, que, en casi todas las ocasiones, es igual.

Además:

La **equidistancia** es la diferencia de altura entre curvas.

Siempre es **constante en un mapa**.



Interpretar el relieve

Los mapas topográficos permiten interpretar el relieve de los paisajes **y l**as curvas de nivel permiten deducir la pendiente.

⇒ **Curvas muy juntas**

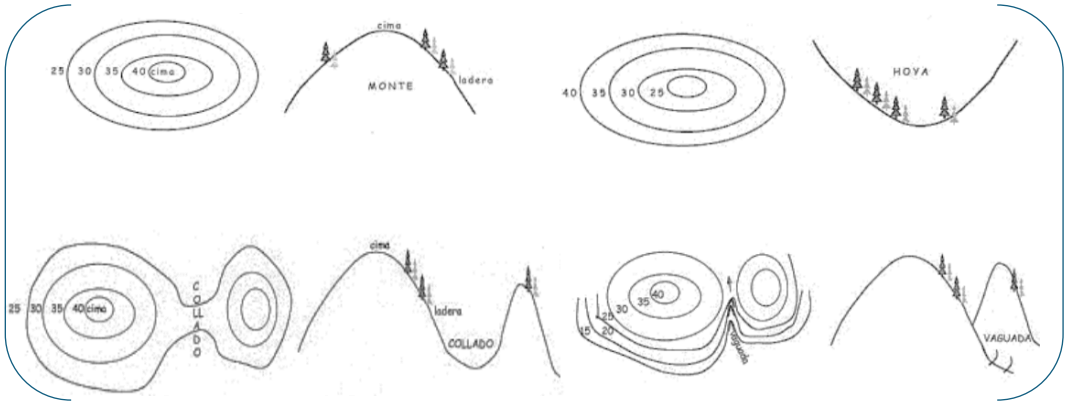
Pendiente muy fuerte.

⇒ **Curvas separada**

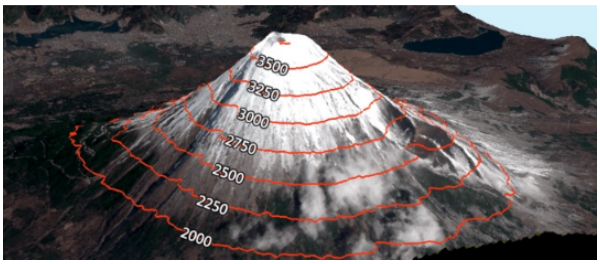
Pendiente suave.

Esto permite reconocer:

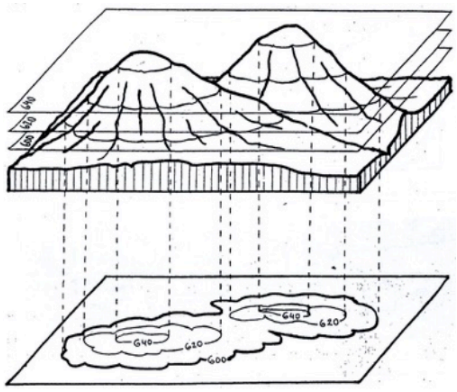
- montañas
- colinas
- valles
- llanuras



COTA



Una **cota** es un punto de mayor altitud que **no coincide con una curva de nivel**.



Por ejemplo:

- cima de una montaña
- punto geodésico

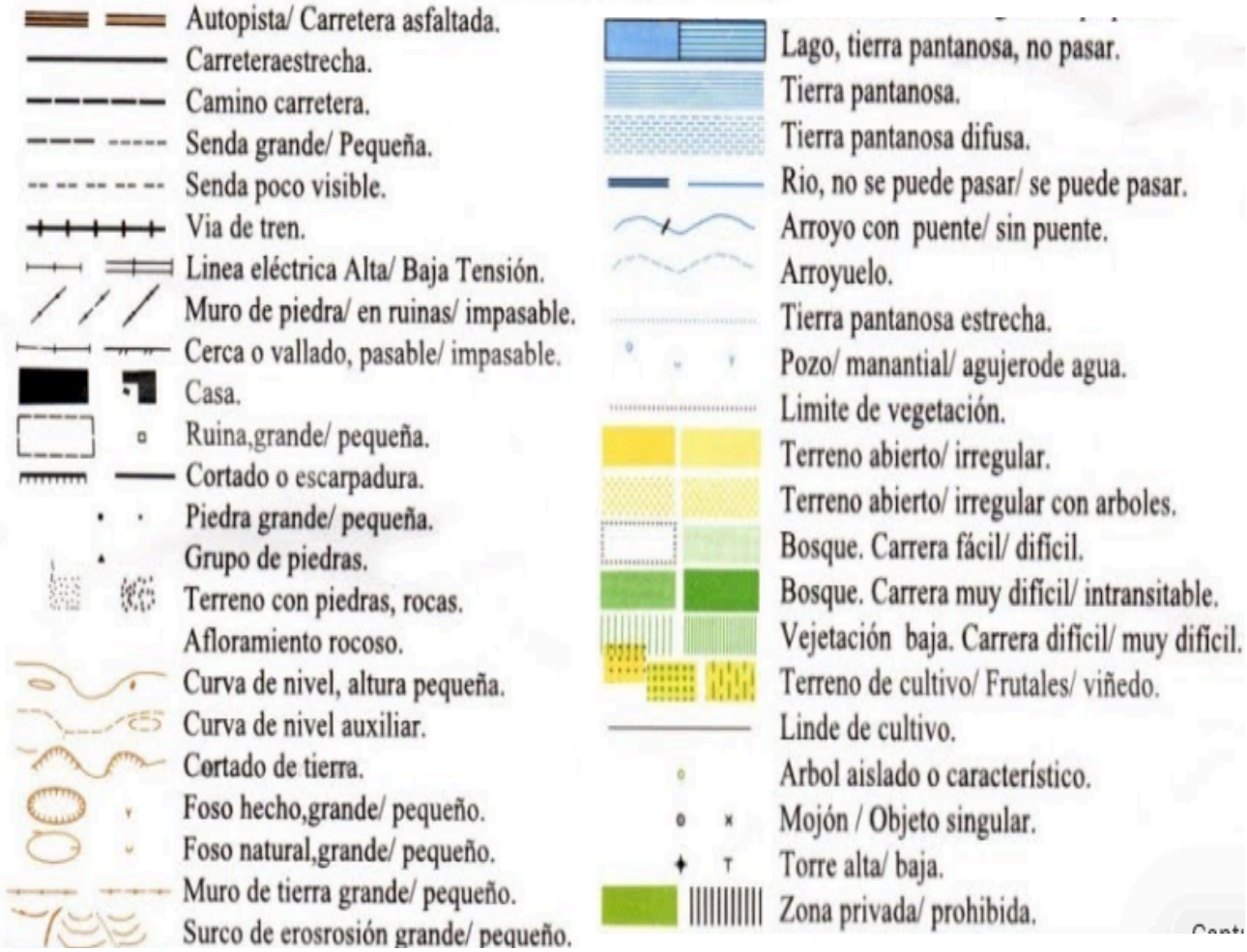
Se representa con un número que indica la altura exacta.

⇒ **Leyendas en un mapa**

La **leyenda** de un mapa (también llamada a veces "simbología") es básicamente el diccionario o la "piedra rosetta" del mapa. Es el cuadro explicativo que descifra qué significan todos los símbolos, colores, líneas y puntos que ves sobre el dibujo.

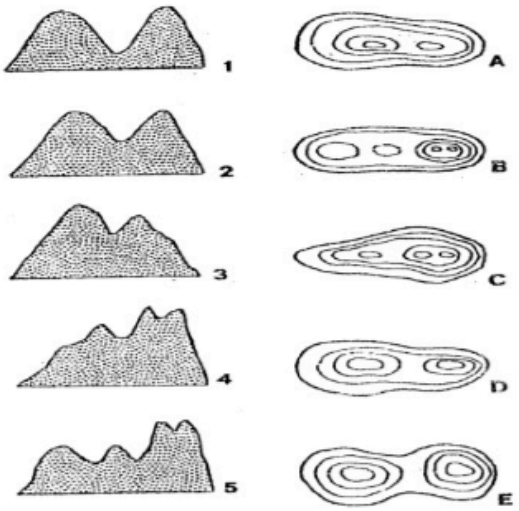
Sin ella, un mapa sería solo un conjunto de formas abstractas difíciles de interpretar.

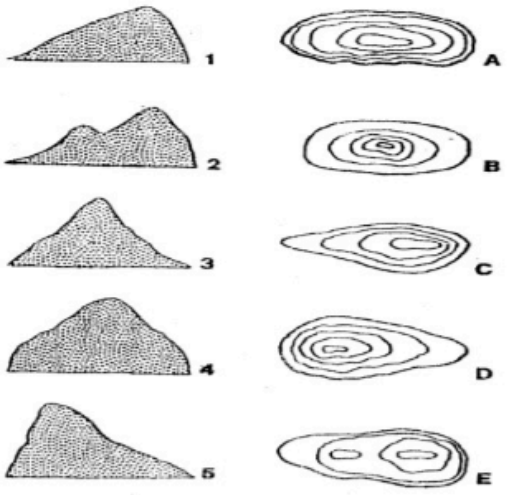
LEYENDA



IDENTIFICACIÓN DE LAS CURVAS DE NIVEL CON EL RELIEVE

1. Identifica las curvas de nivel con el perfil de montaña correspondiente.





1	2	3	4	5
E	D	A	C	B

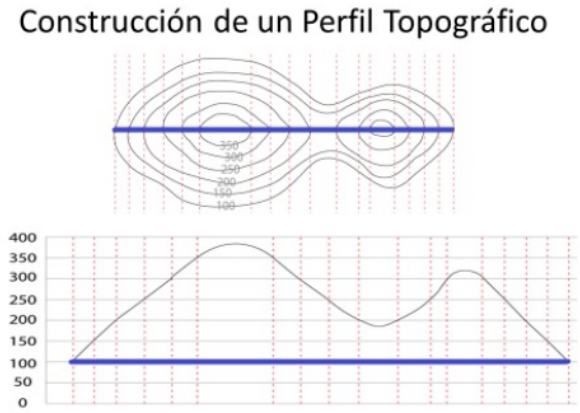
1	2	3	4	5
C	E	B	A	D

Ahora vamos a trabajar **las tres partes centrales del tema**, que son realmente **el corazón de la geología de campo**:

1. **Cómo hacer un perfil topográfico**
2. **Qué es y cómo se construye un mapa geológico**
3. **Cómo reconstruir la historia geológica**

1 CÓMO HACER UN PERFIL TOPOGRÁFICO

El **perfil topográfico** es una representación vertical del relieve a lo largo de una línea del mapa. Es decir: Es como si cortáramos el terreno con un cuchillo y miráramos el paisaje de perfil.



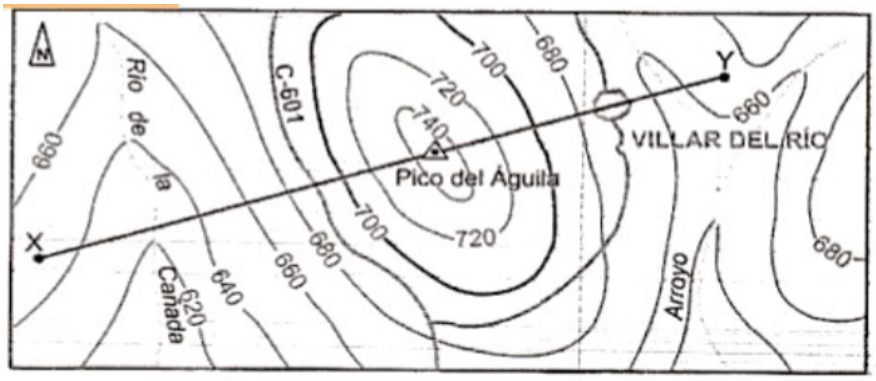
⇒ **Paso 1 — Trazar la línea de perfil**

Primero se dibuja una línea en el mapa topográfico entre dos puntos.

Por ejemplo:

A —— B

Esa línea es el recorrido del perfil.



La línea puede atravesar:

- montañas
- valles
- ríos
- colinas

Todo eso aparecerá después en el perfil.

En el ejemplo de la imagen la línea pasa por:

- río de la Cañada
- Pico del Águila
- Villar del Río

⇒ **Paso 2 — Trasladar las alturas al papel milimetrado**

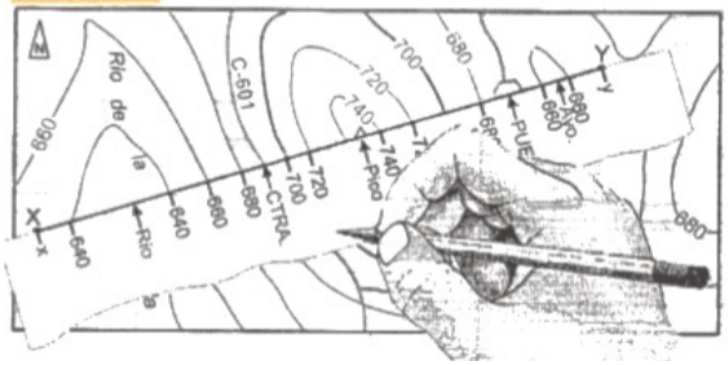
Se coloca un papel milimetrado sobre la línea. Luego se marcan todos los puntos donde la línea corta curvas de nivel.

Cada punto representa una **altitud concreta**.

Por ejemplo:

- 680 m
- 700 m
- 720 m
- 740 m

Todos esos valores se anotan en el papel.



Esto permite transformar el mapa plano en un **registro de alturas**.

⇒ **Paso 3 — Representar las alturas**

En el papel milimetrado se dibujan dos ejes:

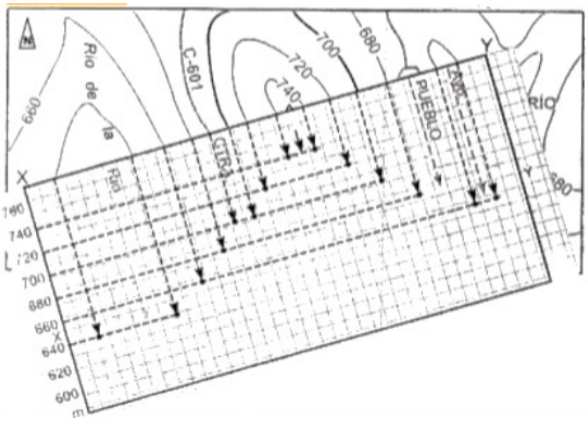
horizontal → distancia

vertical → altura

Luego se proyectan los puntos medidos.

Cada punto indica:

distancia + altura



Cuando se colocan todos, se empieza a ver la forma del terreno.

⇒ **Paso 4 — Unir los puntos**

Finalmente se unen los puntos.



Así aparece la **silueta del relieve**.

En este ejemplo del tema se ve claramente:

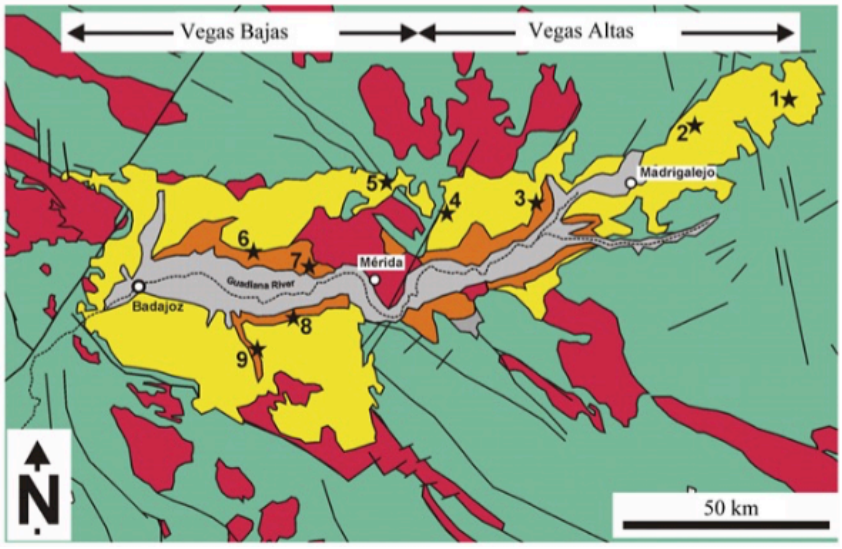
- subida desde el río
- pico de montaña
- descenso hacia el valle
- nueva elevación

Este perfil permite visualizar el terreno mucho mejor que el mapa.

2 QUÉ ES UN MAPA GEOLÓGICO

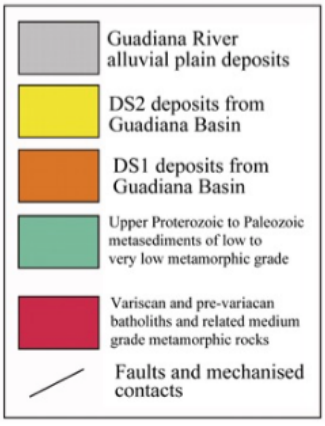
Un **mapa geológico** es la representación sobre un mapa topográfico de los elementos geológicos que afloran en la superficie terrestre, mostrando:

- qué tipos de rocas hay
- qué edad tienen
- cómo están deformadas



⇒ **Cómo se representan las rocas**

Cada tipo de roca se representa:



○ **Con colores**

Indican la edad geológica.

Ejemplo:

- Cambriano
- Ordovícico
- Jurásico
- Terciario

- **Con tramas o símbolos**

Indican el tipo de roca.
Ejemplos del documento:

- conglomerado
- granito
- caliza
- lutita
- evaporitas
- pizarra

⇒ **Qué más aparece en un mapa geológico**
Además de las rocas se representan estructuras como:

- **Fallas:** fracturas con desplazamiento
- **Pliegues:** deformaciones de estratos
- **Discordancias:** interrupciones en la sedimentación
- **Buzamiento:** inclinación de los estratos

Todos estos elementos se indican con **símbolos normalizados**.

3️ CÓMO SE RECONSTRUYE LA HISTORIA GEOLÓGICA

Esta es la parte **más importante de toda la geología**.
Un geólogo no solo mira rocas:

👉 Reconstruye **la historia de lo que ocurrió**. Y para hacerlo utiliza varios **principios geológicos**.

🔹 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

1) Principio de superposición

En una serie de estratos sedimentarios:

- el más antiguo está abajo
- el más moderno está arriba

Ejemplo:
Estrato 3
Estrato 2
Estrato 1

El orden de formación es: 1 → 2 → 3

2) Principio de horizontalidad original

Los sedimentos se depositan **horizontalmente**.
Si hoy están inclinados es porque **algo los deformó después**.
👉 Ese algo puede ser:

- plegamiento
- tectónica
- fallas

3) Principio de continuidad lateral

Los estratos se extienden lateralmente.
Si un estrato aparece en dos puntos separados probablemente era **continuo originalmente**.
Esto permite correlacionar capas en mapas geológicos.

4) Principio de sucesión faunística

Los fósiles cambian con el tiempo.

Por tanto:

- cada época tiene fósiles característicos
- los fósiles permiten **datar rocas**

Esto es fundamental para la **estratigrafía**.

◈ DISCORDANCIAS

Una **discordancia** es una **superficie que separa dos conjuntos de rocas con historias geológicas distintas**, indicando que **entre ambas hubo un tiempo en el que no se depositaron sedimentos o se produjo erosión**.

Es decir:

Una discordancia representa **un tiempo perdido en el registro geológico**.

Ese tiempo perdido puede corresponder a:



- erosión
- levantamiento tectónico
- deformación
- ausencia de sedimentación

Tipos principales de discordancias

En geología se reconocen **cuatro tipos principales**.

1️⃣ Discordancia angular

Es la más fácil de reconocer.



⇒ **Qué ocurre**

1. Se depositan sedimentos horizontales.
2. Esos sedimentos se **plegan o inclinan** por tectónica.
3. Luego se **erosiona la superficie**.
4. Más tarde se depositan **nuevas capas horizontales** encima.

Resultado:

Las capas antiguas están **inclinadas** y las nuevas **horizontales**.

⇒ Ejemplo esquemático:

Estratos nuevos ——————————

Estratos antiguos ///// /////

⇒ **Qué significa geológicamente**

Entre ambos conjuntos de capas ocurrió:

- sedimentación
- deformación tectónica
- erosión
- nueva sedimentación

👉 Es decir, **una historia compleja**.

2️⃣ Discordancia erosiva (disconformidad)

Aquí las capas **son paralelas**, pero hay una superficie de erosión entre ellas.



⇒ **Qué ocurre**

1. Se depositan sedimentos horizontales.
2. La superficie se **erosiona** durante mucho tiempo.
3. Luego vuelven a depositarse sedimentos.

⇒ Esquema:

Estratos nuevos ——————————
Estratos nuevos ——————————
Superficie erosionada ~~~~~~~
Estratos antiguos ——————————
Estratos antiguos ——————————

⇒ **Qué significa**

No hubo deformación, pero sí:

- erosión
- un largo periodo sin sedimentación.

👉 El tiempo perdido puede ser **millones de años**.

3️⃣ Nonconformidad

Este caso es muy importante.
Aquí los sedimentos se depositan **sobre rocas ígneas o metamórficas**.

⇒ **Qué ocurre**

1. Se forman rocas profundas (granitos, gneises).
2. Esas rocas se **exponen por erosión**.
3. Encima se depositan sedimentos.

⇒ Ejemplo:

Sedimentos ——————————
Sedimentos ——————————
Superficie de erosión
Granito o gneis [redacted]
Granito o gneis

⇒ **Qué significa**

Hay un **enorme salto temporal**:

- rocas profundas muy antiguas
- sedimentos mucho más recientes.

4️⃣ Paraconformidad

Es la más difícil de detectar.
Las capas son:

- paralelas
- aparentemente continuas

pero falta tiempo geológico.



⇒ Ejemplo:

Estrato joven ——————————
Estrato joven ——————————

(hiato temporal)
Estrato antiguo ————————
Estrato antiguo ————————

⇒ **Cómo se detecta**

Solo con:

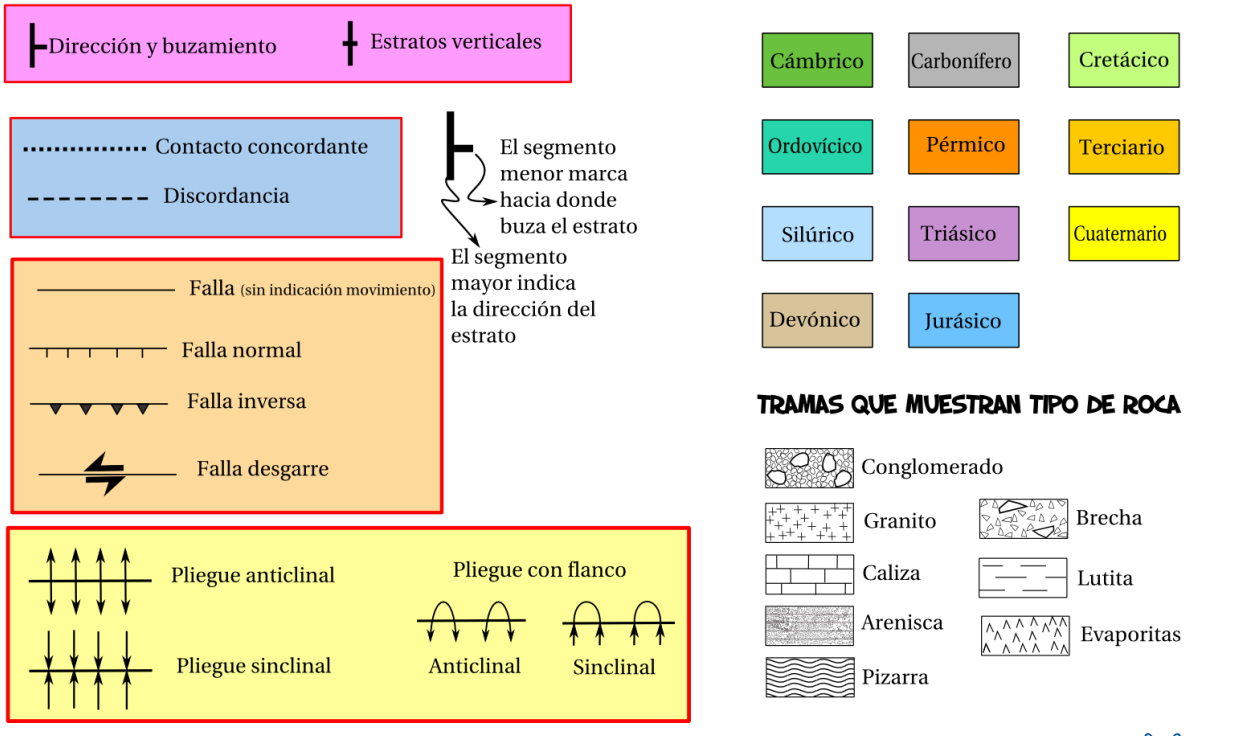
- fósiles
- datación radiométrica

Resumen comparativo

Tipo de discordancia	Estratos paralelos	Erosión visible	Deformación previa
Discordancia angular	✗	✓	✓
Discordancia erosiva	✓	✓	✗
Nonconformidad	✗	✓	roca ígnea/metamórfica
Paraconformidad	✓	✗	✗

- Cuando un geólogo ve una discordancia está viendo: **un capítulo completo de la historia de la Tierra que no quedó registrado en las rocas.** Las discordancias son como **páginas arrancadas de un libro**.

SÍMBOLOS MAPA GEOLÓGICO



Tema 11: GEODINÁMICA EXTERNA

⇒ INTRODUCCIÓN Y ESTRUCTURA DEL TEMA

- **Geodinámica externa**: estudia los procesos que modelan la superficie terrestre.
- Vamos a estudiar el tema en tres bloques:
  1. Importancia + ODS (Objetivos Desarrollo Sostenible) + dinámica fluvial
  2. Geodinámica fluvial
  3. Geodinámica eólica

→ Idea clave

La Tierra no es estática: **la superficie cambia continuamente** por acción de agentes externos (agua, viento, hielo, gravedad).

⇒ SITUACIÓN ACTUAL (IMAGEN SIMBÓLICA)



Aquí vemos una imagen de políticos "sumergidos" que tiene un significado claro:

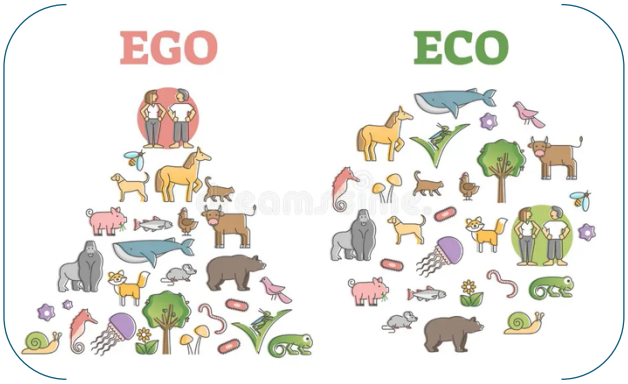
- **Crítica al inmovilismo frente al cambio climático**
- Representa:
  - Negación del problema
  - Lentitud en la toma de decisiones
  - Consecuencias reales (inundaciones)

→ Interpretación geológica

Los fenómenos naturales **no son solo naturales**:

- Se agravan por la acción humana
- La geodinámica externa se ve alterada (más erosión, más inundaciones)

⇒ EGO VS ECO (VISIÓN FILOSÓFICA)



Se plantea una oposición fundamental:

- **EGO** → el ser humano como centro (visión clásica dominante). (ego) significa "yo".
- **ECO** → el ser humano como parte del sistema natural. (eco) es un apócope de "oikós" que significa "casa".

La **"teoría U"** propone **pasar del ego-sistema al eco-sistema** para asegurar verdaderos procesos de transformación social.

¿De qué sirve amasar dinero contaminando el ambiente si luego ese mismo ambiente se vuelve irrespirable y una buena parte del dinero hay que gastarlo en descontaminar? **Lo que, a primera vista, parece una ganancia, acaba revelándose como una gran pérdida.** ¿Qué sentido tiene expoliar los recursos naturales de los países del tercer mundo invirtiendo muy poco en ellos, y tener a sus habitantes sumidos en la pobreza y luego quejarnos de la presión que los emigrantes de esos países ejercen sobre el primer mundo?

Jacques Yves Cousteau hizo una advertencia clara sobre el futuro en la conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, (1992):

"*Las futuras generaciones no nos perdonarán por haber malgastado su última oportunidad y su última oportunidad es hoy*".

→ **Todo esto nos trasmite una idea profunda**

Esto no es solo ética:

- En geología implica:
  - **Cómo usamos el suelo**
  - **Cómo construimos**
  - **Cómo alteramos los procesos naturales**

⇒ **<u>CONSECUENCIAS ACTUALES</u>**

Aquí vemos noticias reales:



Todas ellas hablan de:

- Sequías
- Pobreza ligada al clima
- Contaminación
- Impactos sociales

→ **Interpretación**

Y es que los procesos geológicos:

- Antes eran **naturales**
- Ahora están **amplificados por el ser humano**

Ejemplo:

- Una lluvia intensa → fenómeno natural
- Una inundación catastrófica → mala gestión del territorio

⇒ **<u>¿POR QUÉ IMPORTA?</u>**



Principalmente:

- Porque todo está conectado (red de personas)
- La geología afecta directamente a:
  - Vivienda
  - Economía
  - Seguridad

→ **Conclusión**

La geodinámica externa **no es teórica**:
→ tiene consecuencias directas en la vida cotidiana

⇒ EJEMPLOS REALES EN MADRID

Antes de entrar en ejemplos reales, es conveniente recordar los tipos de terrenos que existen y en los que se construye, así como los problemas o beneficios de cada uno de ellos:

◈ TIPOS DE SUELO

1. **Arenoso**
   Está compuesto principalmente por arena y se encuentra cerca a las costas, ríos y quebradas. La ventaja de construir en este tipo de suelo es que por su textura es fácil de excavar y no retiene agua. Como desventaja, presenta poca cohesión lo que hará que la obra sea inestable.
   Para construir en estos tipos de suelo es necesario estabilizarlo por medio del agregado de materiales como cemento, arcilla o cal.

2. **Limoso**
   Compuesto por un material mucho más fino o delgado que la arena. Este tipo de suelo es de textura suave y retiene gran cantidad de agua, lo que le hace propenso a la erosión.
   Si se desea construir en este tipo de suelo, es necesario realizar una cimentación de hormigón profundo.

   Arcilloso
3. El suelo arcilloso es altamente cohesivo gracias a las pequeñas partículas que lo componen. Al encontrarse en áreas húmedas es posible que presente alteraciones que pueden ocasionar daños e inestabilidad a la estructura.
   Para construir en estos tipos de suelo es necesario realizar una buena compactación del terreno y tener en cuenta que los tiempos de asentamiento de la estructura serán mucho mayores para llegar a una posición de equilibrio.

4. **Húmedo**
   Estos tipos de suelo se caracterizan por una coloración negra, aportada por la descomposición de materiales orgánicos. Son difíciles de compactar y son ideales para usos agrícolas.
   Al construir sobre suelos húmedos pueden presentarse hundimientos y filtraciones en paredes, que a su vez crearán grietas y desestabilizarán la estructura.
   En caso de encontrar este tipo de suelo, deben realizarse excavaciones profundas, retirar las capas de suelo húmedo y rellenar con grava y agregados.

5. **Calizo**
   Los suelos calizos contienen un alto porcentaje de cal y son ideales para la construcción ya que retienen la humedad de manera rápida y fácil.
   Al construir en estos tipos de suelo no es necesario realizar excavaciones profundas para cimentación.

6. **Pedregoso**
   El suelo pedregoso está compuesto por rocas o piedras sólidas que pueden brindar un buen soporte y gran estabilidad para el levantamiento de una estructura.
   Es un suelo ideal para la construcción, pero puede presentar grandes retos en el momento de la excavación, en especial si se encuentran grandes rocas.

◈ Pasamos a analizar situaciones concretas, en este caso en Madrid.

→ **PARLA (SUELO SECO Y EROSIONADO)**

Observación del paisaje:



- Suelo:
  - Seco
  - Compactado
  - Poco vegetal

→ Un suelo que combina estas tres características se encuentra en un estado avanzado de degradación que dificulta gravemente la vida vegetal, la construcción de viviendas y la salud del ecosistema.

→ **Interpretación geológica**

- Problemas:

1. Barrera física para las raíces: La compactación elimina los poros grandes del suelo, volviéndolo extremadamente denso y duro.

- **Crecimiento limitado:** Las raíces tienen dificultades mecánicas para profundizar, lo que resulta en plantas débiles y con escaso anclaje.
- **Falta de oxígeno:** Al reducirse el espacio poroso, disminuye el intercambio de gases, provocando asfixia radicular.

2. Incapacidad de gestionar el agua: Un suelo seco y compactado pierde su función de "esponja" natural.

- **Escorrentía y erosión:** El agua de lluvia no se infiltra y corre por la superficie (escorrentía), arrastrando la poca capa fértil que quede.
- **Baja retención:** Al no tener materia orgánica ni estructura porosa, el suelo no puede almacenar humedad para épocas de sequía.

3. Degradación biológica y nutricional: La falta de vegetación y materia orgánica rompe el ciclo de vida del suelo.

- **Muerte de microorganismos:** Sin humedad ni residuos vegetales, los microorganismos beneficiosos (bacterias, hongos) mueren, deteniendo la liberación de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo.
- **Infertilidad:** El terreno se vuelve un medio inerte que requiere un uso excesivo de fertilizantes químicos para producir algo.

4. Vulnerabilidad ambiental: Sin una cubierta vegetal que lo proteja, el suelo queda expuesto directamente a los elementos.

- **Desertificación:** La pérdida continua de estructura y biología puede llevar a que el paisaje se vuelva irreversiblemente árido.
- **Cambios químicos:** Pueden aparecer problemas de salinización o acidificación al perderse el equilibrio que aporta la materia orgánica.



→ Consecuencia:

Cuando llueve:

- El agua no se infiltra
- Se acumula → inundaciones

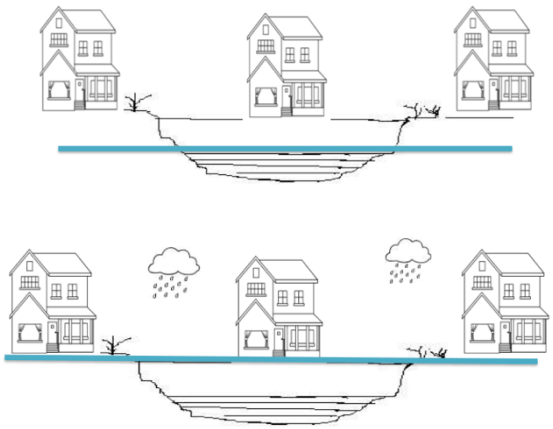
→ **Urbanización e inundaciones en Parla**

Vamos a ver en detalle el problema que ha ocasionado:

- Construcción sobre zonas:

- deprimidas
- antiguas cuencas de drenaje

- Resultado:
  - Inundaciones. Alrededor de 700 viviendas del barrio Laguna Park de **Parla** se ven afectadas por inundaciones cada vez que las lluvias torrenciales sacuden al municipio.



→ **Explicación técnica**

Cuando se urbaniza:

1. Se impermeabiliza el suelo (con asfalto y hormigón)
2. Produce un aumento de la escorrentía
3. Y en los sitios menos deseado se concentra el agua

→ Se produce **inundación rápida**

→ **Idea clave**

No es culpa de la lluvia

→ es culpa de **dónde y cómo construimos**

⇒ **<u>GETAFE (SUELO Y ARCILLAS EXPANSIVAS)</u>**

Aquí entramos en un concepto fundamental:



→ **Arcillas expansivas**

Características:

- Se hinchan con el agua
- Se contraen al secarse

Problema estructural

En este post hablaremos de las **arcillas expansivas**, sus efectos sobre las estructuras y cómo mitigar dichos efectos.

Las arcillas pueden presentar distintos grados de expansividad, dependiendo su respuesta a las variaciones de humedad a las que se vean sometidas. Al ganar humedad, presentan un incremento de volumen o hinchamiento según su grado de expansividad y al desecarse, justo lo contrario, el volumen disminuye produciéndose un agrietamiento del suelo.

Peligro en las reformas de viviendas del Sector 3 de Getafe

Madrid. S. L.

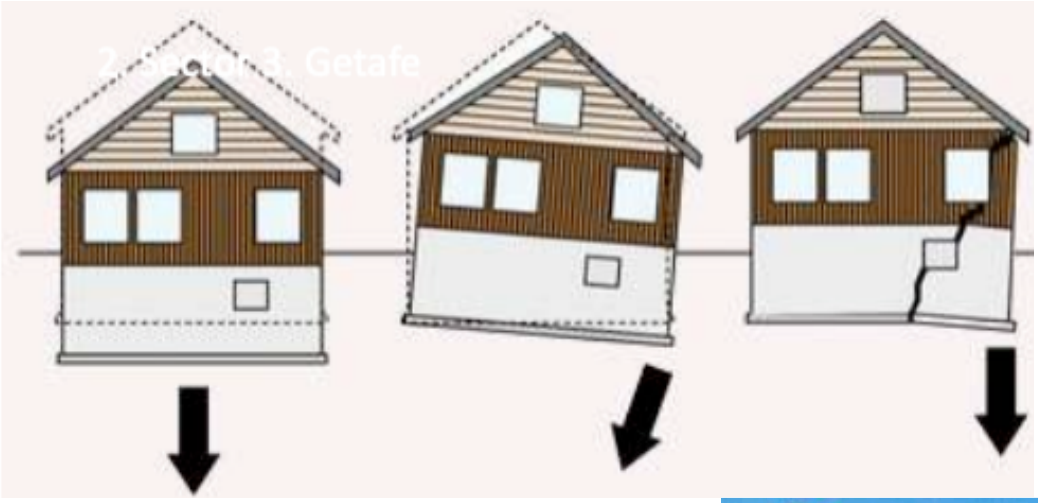
La realización de sótanos y reformas en las viviendas particulares que llevan a cabo algunos vecinos del Sector 3 de Getafe pueden suponer, según fuentes municipales, un serio peligro para la estabilidad de los edificios.

La causa de esta presunta peligrosidad se encuentra en que las casas están construidas sobre un terreno de arcillas expansivas.

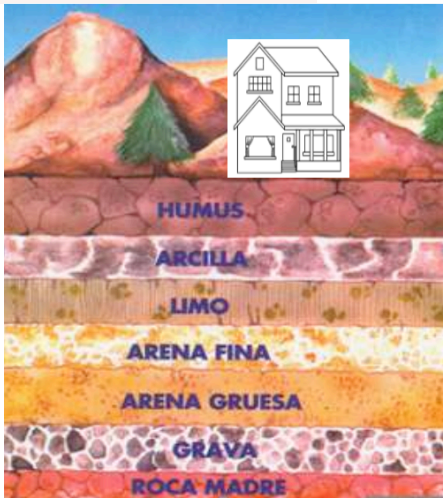


- Esto provoca en los edificios:
  - grietas
  - inclinación de edificios
  - fallos en cimentación





→ **Esquema del suelo**



Capas:

- Humus
- Arcilla
- Limo
- Arena
- Grava
- Roca madre

→ **Idea clave**

El comportamiento del terreno depende de:
→ su **composición y estructura**

⇒ **<u>VICÁLVARO (RELLENOS Y ANTROPIZACIÓN)</u>**



Aquí aparece un concepto moderno que es clave: **Antropización**

- La antropización es la modificación del terreno que ejerce el ser humano sobre un medio.

Ejemplo: Rellenos artificiales.

→ **Problema:**

- Los rellenos artificiales hacen que los suelos estén:
  - heterogéneos
  - poco compactos
  - deformables



Consecuencia:
→ Hundimientos y grietas

Dato importante:

Según un estudio encargado por el **Ayuntamiento de Madrid y realizado por la Facultad CC. Geológicas-Universidad Complutense, el Instituto Geológico y Minero, el Instituto de Geología de Madrid-CSIC, Eniepsa (Empresa Nacional de Investigación y Explotación de Petróleo SA) y el instituto de Geología Económica-CSIC.,**

publicada en marzo de 1989 en El País, aproximadamente el 11% del subsuelo de Madrid (incluido Vicálvaro) estaba compuesto por depósitos de basuras y escombreras. Esta cifra reflejaba la acumulación de residuos durante décadas, especialmente en las zonas periféricas que fueron cubiertas para el desarrollo urbano de la ciudad.



El 11% del subsuelo de Madrid está formado por depósitos de basuras y escombreras



El subsuelo de Madrid está plagado de trampas. Un 11% del terreno que no se ve, pero que soporta el peso de los edificios, está compuesto por escombreras y basureros como los que causaron el hundimiento de la avenida de la Ilustración, los que han paralizado el aparcamiento de General Álvarez de Castro o los que reposan en los solares de la plaza de Castilla donde se levantarán las torres de KIO. La acción humana y la composición del subsuelo hacen de Madrid un lugar "no óptimo" para las construcciones, según el libro Geología de Madrid, editado por el Ayuntamiento.

27/03/1989 - 00:00 CEST

EL PAÍS

→ **Conclusión**

Construir sobre rellenos tiene un **alto riesgo geotécnico**



⇒ CIEMPOZUELOS (KARST Y COLAPSOS)

En las diapositivas se muestran:

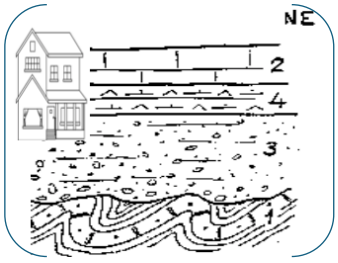
- Estratos sedimentarios
- Procesos de disolución



Concepto clave: karstificación

Karst es un relieve modelado por la disolución química de rocas solubles, principalmente calizas, yesos o dolomías, causado por el agua de lluvia. Esta agua de lluvia absorbe el CO_2 del aire, creando un ácido débil (ácido carbónico) que disuelve el carbonato cálcico de la caliza.

Este es un proceso lento que dura millones de años, y que va haciendo que el agua superficial y subterránea penetre en las grietas, disolviéndolas paulatinamente.



→ **Todo esto va formando:**

- Cavidades o surcos
- dolinas (depresiones circulares)
- hundimientos (formando valles)
-

→ **Consecuencia:** El terreno, en algún momento, puede llegar colapsar de forma súbita.



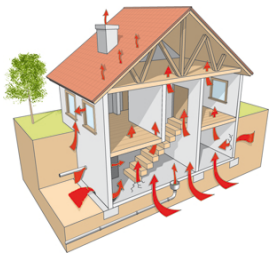
⇒ RADÓN

→ Este es un tema muy importante y poco conocido.

El **Radón** es un gas radiactivo **incoloro e inoloro** que se libera de cierto tipo de suelos y que puede filtrarse a las casas que se encuentren encima a través de grietas, poros en suelos, paredes, conductos de saneamiento de baños, uniones entre paredes, etc.

El gas Radón **se origina** principalmente en el **suelo y las rocas subterráneas** que contienen uranio y otros elementos radiactivos, lo que suele ocurrir en suelos graníticos.

Hay que tener en cuenta que **su presencia no se limita únicamente a las casas construidas sobre suelos ricos en radón.** También puede encontrarse en espacios subterráneos como sótanos, garajes y trasteros.



Además, las **aguas subterráneas** también pueden contener niveles significativos de este gas por lo que también sería peligroso si usamos agua de un pozo contaminado por Radón.

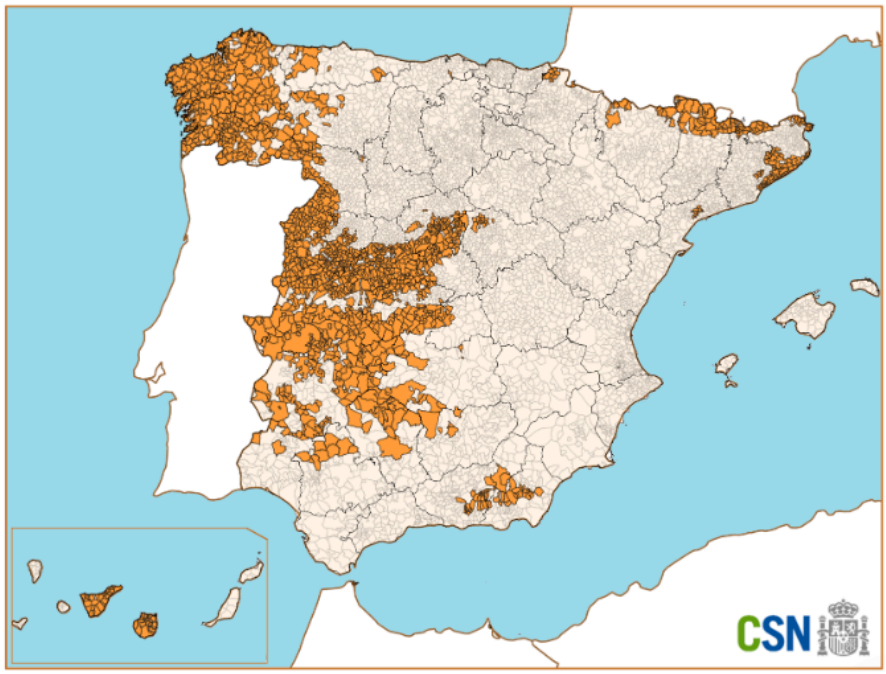
→ Problema

Cuando se inhala, el Radón introduce material radiactivo en los pulmones, incrementando el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón. La exposición continua a niveles elevados de Radón es extremadamente peligrosa para las personas. Los efectos del gas Radón suelen manifestarse después de un largo periodo de exposición y, además, al ser un gas que es invisible e inoloro, se puede estar expuesto a sus efectos y no saberlo.


≡ EL PAÍS MADRID

Las concentraciones de radón en la sierra de Madrid superan tres veces el nivel medio de toda España

→ Donde se puede encontrar



Las altas concentraciones de radón se pueden encontrar por casi toda la península y también en las islas canarias, según se refleja en este mapa. En él podemos ver que las zonas de mayor riesgo se encuentran en la sierra de Madrid, Segovia, Ávila, Cáceres, Salamanca y gran parte de Galicia.

Según el **Consejo de Seguridad Nuclear de España**, todos los edificios contienen radón en concentraciones bajas. No obstante, existen zonas geográficas en las que, debido a su geología, es más probable encontrar edificios con niveles elevados.

Esta cartografía del potencial de radón en España, está desarrollada por el Consejo de Seguridad Nuclear, en ella, categoriza las zonas del territorio español en función de sus niveles de radón y, en particular, identifica aquellas en las que un porcentaje significativo de los edificios residenciales presenta concentraciones superiores a 300 Bq/m^3.

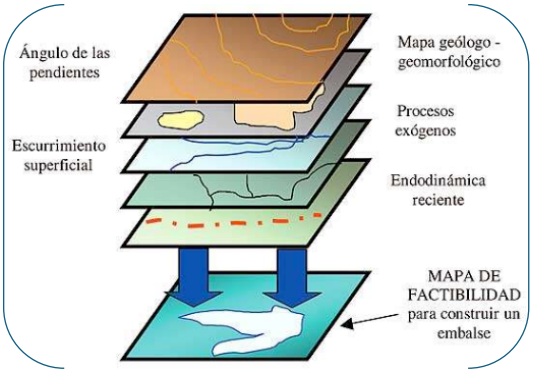
El potencial de radón de una zona es el percentil 90 (P90) de la distribución de niveles de radón de los edificios de esa zona.

Por ejemplo, '300 Bq/m^3' significa que:

- El 90% de los edificios tienen concentraciones inferiores a 300 Bq/m^3.
- El 10% supera este nivel.

⇒ VISIÓN INTEGRADA DEL MEDIO

La política y gestión ambiental basadas en un enfoque de "servicios al ecosistema" buscan tener una visión integral de los ecosistemas y del medio ambiente. La importancia de la geología y la **geosera** (*se llama así a la parte sólida del planeta, formada por rocas y minerales. Si pudiéramos cortar la Tierra como una naranja, podríamos comprobar que está formada por tres capas básicas: la CORTEZA, el MANTO y el NÚCLEO)* en la protección del medio ambiente y en la provisión de esos servicios es a menudo ignorada, si bien conforman el paisaje, interactúan con la atmósfera y la hidrosfera, y sostienen los ecosistemas.



→ Aquí se introduce una idea moderna:
- No se puede estudiar:
  - el suelo
  - el agua
  - ni el clima

por separado, ya que todo está interrelacionado.

⇒ PENSADORES CLAVE

Vamos a ver los precursores de la visión integral de la tierra: las ciencias ambientales



Alexander Humboldt; Berlín, 1769 – 1859

Naturalista y explorador alemán. Durante los últimos veinticinco años de su vida se concentró principalmente en la redacción de un tratado de múltiples volúmenes llamado ***Kosmos***, con una visión global de la estructura del universo, publicando cuatro volúmenes. Está considerado uno de los últimos grandes ilustrados, con una vasta cultura enciclopédica, con un trabajo que abarcaba campos tan dispares como los de las ciencias naturales, la geografía, la geología y la física.

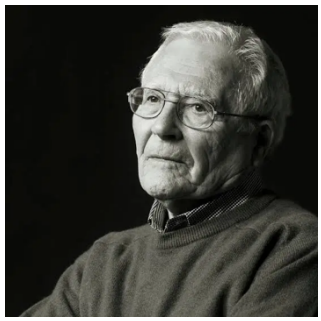
James Lovelock (Hipótesis Gaia) Hertfordshire, Gran Bretaña, 1919 - 2022

James Ephraim Lovelock científico, meteorólogo, escritor, inventor, químico atmosférico, y ambientalista.

Contrario al armamentismo nuclear, promueve un uso pacífico de la energía nuclear como único recurso para disminuir el abuso de los combustibles fósiles y evitar que el sistema atmosférico llegue a un punto sin retorno que lo desestabilice.

La **Hipótesis de Gaia**, formulada por él en 1969, consideró que la Tierra funciona como un **sistema complejo y autorregulado** que mantiene las condiciones físicas y químicas necesarias para la vida. En lugar de ver el planeta como una roca inerte donde la vida simplemente se adapta, planteó que la biosfera, la atmósfera, los océanos y la tierra están integrados en un solo sistema interactivo que busca un equilibrio óptimo o **homeostasis** (capacidad para mantenerse un entorno estable y equilibrado.

→ **Aspectos clave de la teoría**



- **Autorregulación**: La vida interactúa con su entorno inorgánico para regular aspectos críticos como la **temperatura global**, la **salinidad de los océanos** y la **composición de la atmósfera**.
- **Origen en la NASA**: Lovelock concibió la idea mientras trabajaba para la NASA, comparando la atmósfera de Marte (en equilibrio químico y sin vida) con la de la Tierra (en desequilibrio dinámico mantenido por la actividad biológica).
- **Colaboración con Lynn Margulis**: La microbióloga Lynn Margulis fue fundamental para desarrollar la base biológica de la

teoría, destacando el papel de los microorganismos en la regulación de gases y ciclos biogeoquímicos.

- **El nombre "Gaia"**: Fue sugerido por el novelista William Golding, en honor a la diosa griega de la Tierra.

Evolución y críticas

Inicialmente, la comunidad científica fue escéptica, calificándola de mística o teleológica (que implica una intención consciente del planeta). Para responder a estas críticas, Lovelock creó el modelo matemático de **Daisyworld** (Mundo de Margaritas), que demostraba cómo la autorregulación puede emerger de forma automática sin necesidad de conciencia.

Con el tiempo, la hipótesis ha evolucionado hacia la **Ciencia del Sistema Tierra**, ganando una aceptación generalizada en su forma "débil" (la vida influye en el entorno) frente a la interpretación "fuerte" (el sistema busca activamente un propósito). Su legado transformó el pensamiento ecológico moderno.

Rachel Carson; Springdale, Estados Unidos, 1907 - 1964



Carson estudió biología y zoología. Comenzó a investigar los efectos de los contaminantes mientras escribía artículos de divulgación para suplementos y revistas, y a través de su libro "*Primavera Silenciosa*" (1962) denunció el uso indiscriminado de pesticidas sintéticos, como el DDT. Alertó sobre cómo estos químicos se acumulaban en la cadena alimentaria, matando aves y amenazando la salud humana.

- **Impacto político:** Su trabajo llevó directamente a la prohibición del DDT para uso agrícola en EE. UU. y a la creación de la Agencia de Protección Ambiental.
- **Visión ética:** Popularizó la idea de que la humanidad no es dueña de la naturaleza, sino parte integrante de ella, y que dañarla es, en última instancia, dañarnos a nosotros mismos.
  A pesar de enfrentarse a duras campañas de desprestigio por parte de la industria química, que la acusaba de "histérica" o poco científica, su rigor prevaleció y hoy se le rinden honores en todo el mundo.
- Con ella nació la **visión ambiental moderna.**

Además de estos ha habido muchos otros más..... Pero,

⇒ ¿EN QUÉ SITUACIÓN NOS ENCONTRAMOS AHORA?

Hasta ahora hemos visto ejemplos concretos (Parla, Getafe, Vicálvaro…), pero aquí se pretende dar un salto:

- De lo local → a lo global
- De lo descriptivo → a lo interpretativo

→ ¿Cuál es realmente la situación?

Nos encontramos en una **crisis de equilibrio entre tres sistemas**:

1. **Sistema natural (geológico y ecológico)**
   Tiene unos ritmos propios:
   - formación de suelos → miles de años
   - recarga de acuíferos → décadas
   - erosión → procesos lentos (en condiciones naturales)

2. **Sistema humano (económico y urbano)**
   Funciona a otra velocidad:
   - urbanización → años
   - consumo de recursos → inmediato
   - generación de residuos → continua

3. **Sistema climático (cada vez más alterado)**
   Introduce:
   - eventos extremos (lluvias torrenciales, sequías)
   - mayor irregularidad

→ **Conclusión profunda**

El problema no es que existan procesos naturales → el problema es que **los hemos desincronizado.**

Y eso es clave en geología:

Cuando los ritmos naturales y humanos no coinciden → aparecen los riesgos.

→ **De los ODM (Objetivos del Milenio) a los ODS (Objetivos Desarrollo Sostenible)**

Aquí entramos en una pretendida **evolución del pensamiento global** en el terreno de la **política internacional aplicada al medio ambiente**.



Etapa 1: ODM (2000–2015)

Los **Objetivos del Milenio** nacen con una mentalidad muy concreta:

- Reducir la pobreza y lograr el acceso mundial a los alimento
- Mejorar la educación
- Aumentar el acceso a sanidad

Pero tenían una limitación importante: → trataban los problemas **de forma aislada**

Por ejemplo:

- combatir pobreza sin considerar el suelo o el agua
- mejorar agricultura sin analizar la degradación del terreno

Etapa 2: ODS (desde 2015)

Aquí hay un cambio de paradigma:

En la conferencia de RÍO +20 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible), se desarrolla el documento: "**El Futuro Que Queremos**", con los **Objetivos del Desarrollo Sostenible**, ya no se entiende el mundo como compartimentos, sino como un sistema interconectado.

Por ejemplo:

- No se puede hablar de agricultura sin hablar de suelo
- No se puede hablar de agua sin hablar de clima
- No se puede hablar de ciudades sin hablar de riesgos geológicos

→ **Importancia geológica**

Los ODS incorporan expresamente la geología en aspectos como:

- la gestión del suelo
- el uso sostenible del territorio
- la prevención de desastres naturales

→ **Idea de fondo**

Se pasa de: → "resolver problemas" a → "gestionar sistemas complejos"

⇒ **<u>DIAGNÓSTICO GLOBAL: EL DESEQUILIBRIO PLANETARIO</u>**

Aquí aparece un texto de gran densidad conceptual de **Ban Ki-Moon** secretario general de las Naciones Unidas. En su informe promueve una vida digna para todos.

No es solo una descripción política, es un **diagnóstico sistémico**.

"*La prolongación de la crisis económica mundial y los conflictos violentos de años recientes han exacerbado la pobreza, la desigualdad y la exclusión. La pérdida de diversidad biológica, la degradación del agua, las tierras secas y los bosques y el aumento de los riesgos del cambio climático amenazan con anular los logros que hemos conseguido hasta la fecha y socavar los avances que se podrían producir en el futuro".*



⇒ **Analicemos los elementos uno a uno:**

1. Crisis económica

Implica:

- explotación intensiva de recursos
- reducción de inversión en sostenibilidad

2. Conflictos

Provocan:

- migraciones
- sobreexplotación de territorios
- destrucción de ecosistemas

3. Pérdida de biodiversidad

Tiene implicaciones geológicas indirectas:

- pérdida de vegetación → mayor erosión
- degradación del suelo

4. Degradación del agua y del suelo

Este es el núcleo geológico:

- desertificación
- salinización
- contaminación

5. Cambio climático

Multiplica todos los anteriores:

- lluvias más intensas → erosión
- sequías → degradación del suelo

Conclusión

No son problemas independientes → forman un **sistema de retroalimentación negativa**

⇒ JEFFREY SACHS: TEORÍA EN BASE A LA REALIDAD



Jeffrey Sachs, economista y profesor estadounidense, destacado por su trabajo en el campo del desarrollo sostenible, la macroeconomía global y la lucha contra la pobreza, representa la visión del **desarrollo sostenible globalizado**. Es el director del Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas.

⇒ **Su planteamiento**

- El mundo puede coordinarse
- Se pueden diseñar estrategias globales
- Se pueden reducir desigualdades

Análisis crítico (importante tenerlo claro)

Desde el punto de vista geológico:

- Las soluciones globales son necesarias pero…
- **los problemas son locales**

Ejemplo:

- Las arcillas expansivas de Getafe no se resuelven con políticas globales
- Las inundaciones de Parla requieren estudios geomorfológicos concretos

⇒ **De modo que, el desarrollo sostenible tiene dos escalas:**

ESCALA	FUNCIÓN
Global	Define objetivos
Local	Resuelve problemas reales

⇒ CREATIVIDAD APLICADA A SISTEMAS COMPLEJOS

La frase del ingeniero químico, bioquímico y activista estadounidense. **Linus Pauling, 1901 – 1994**, no es casual: "*La mejor forma de tener buenas ideas es tener muchas ideas*".

En geología ambiental:

- No hay soluciones simples
- No hay recetas universales

¿Por qué?

Porque cada territorio es único:

- tipo de suelo
- clima
- relieve
- uso humano

Consecuencia

Se requiere:

- pensamiento multidisciplinar
- múltiples hipótesis
- ensayo y error

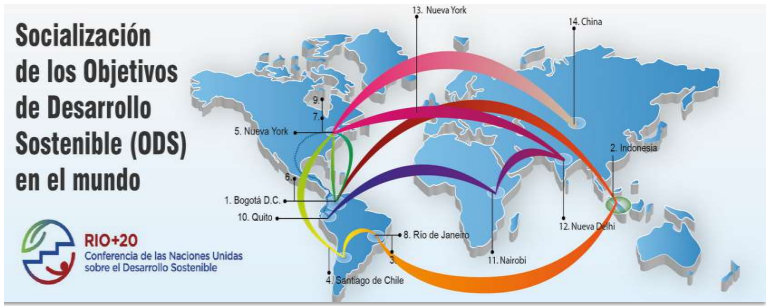
◈ Esto es muy importante para nuestra formación: **LA GEOLOGÍA NO ES MEMORIZAR → ES INTERPRETAR**

⇒ PARTICIPACIÓN GLOBAL: UN CAMBIO HISTÓRICO

Aquí hay un cambio muy profundo respecto al pasado.

LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

¿Cómo se formularon?



Antes:

- Las decisiones se tomaban desde arriba

Ahora:

- Se consulta a:
  - científicos
  - ciudadanos
  - países pobres
  - empresas

¿Por qué es importante esto?

Porque los problemas ambientales:

- afectan a todos
- dependen de todos

Pero hay una realidad que se debe entender

Participación no es solución

- Se puede consultar mucho
- Pero si no hay ejecución real → no cambia nada

⇒ LOS CINCO GRANDES CAMBIOS DEL SIGLO XXI

Así pues y visto lo anterior, nos enfrentamos a nuevos retos y no nos sirven los avances de los últimos 15 años porque:

Desde la adopción de la Declaración del Milenio y los ODM el mundo ha cambiado profundamente. En particular, cinco cambios harán que el próximo periodo de 15 años 2015-2030 sea diferente del periodo ODM que terminó en 2015:

Y este es uno de los puntos más importantes del tema por los desafíos a los que nos enfrentamos.

Vamos a interpretarlo bien:

1. Fin de la pobreza extrema (posible técnicamente)

Pero:

- implica mayor presión sobre recursos
- más consumo → más impacto geológico

2. Impacto humano sin precedentes

Este es el punto clave:

Por primera vez en la historia: → el ser humano es un agente geológico, responsable del problema si no actúa bien.

Ejemplos que tiene que desechar:

- modificación de ríos
- excavaciones masivas
- urbanización global

3. Cambio tecnológico rápido

Esto provoca:

- una mayor explotación
- y mayor transformación del terreno

4. Desigualdad

Si no se soluciona provoca:

- zonas sobreexplotadas
- zonas abandonadas

5. Creciente difusión y complejidad en la manera de gobernar

Eso dificulta:

- la gestión del territorio
- la prevención de riesgos

⇒ **PRINCIPIOS DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

Aquí nos encontramos con una idea muy moderna:

No basta con proteger el medio ambiente

Hay que integrar:

- economía
- sociedad
- salud

- **Concepto clave: RESILIENCIA** (ser capaz de hacer frente a acontecimientos difíciles)

En geología, esto es fundamental:

Un sistema resiliente:

- soporta las perturbaciones
- se recupera

Ejemplo:

- un bosque sano → se regenera
- un suelo degradado → no

⇒ **LOS ODS (VISIÓN GEOLÓGICA)**

Aunque los objetivos parecen sociales, muchos dependen directamente de la geología:

- el agua limpia → depende los acuíferos
- la agricultura → está supeditada al estado del suelo
- las ciudades → están condicionadas a la estabilidad del terreno
- el clima → está directamente influenciado por los procesos geológicos y atmosféricos



- **Conclusión:** La geología está en la base de la mayoría de los ODS, aunque no se mencione explícitamente.

⇒ LAS TRES DIMENSIONES DEL DESARROLLO

Aquí tenemos una idea fundamental que conviene entender bien.

- **No son tres cosas separadas:**

- medio ambiente
- sociedad
- economía

Son tres dimensiones del mismo sistema.



- **Ejemplo claro:**

Construir viviendas:

- Dimensión económica → genera riqueza
- Dimensión social → proporciona alojamiento
- Dimensión ambiental → puede destruir el suelo

Si uno de ellos falla: → el sistema se rompe

⇒ MODELO LINEAL: ORIGEN DEL PROBLEMA

El modelo económico tradicional funciona así:

1. Extraer
2. Transformar
3. Consumir
4. Tirar

- **Pero vamos a profundizar**

1. EXTRAER → El punto de partida: la Tierra

Aquí comienza todo.

¿Qué significa extraer?

Tomar recursos directamente de la naturaleza:

- Minerales (hierro, cobre, litio…)
- Rocas (caliza, granito…)
- Combustibles (petróleo, carbón)
- Agua
- Suelo fértil

Visión geológica

Estos recursos:

- **no se generan a escala humana**
- han tardado:
  - millones de años (petróleo)
  - miles de años (suelos)
  - procesos geológicos complejos

Problema

Estamos extrayendo: → **como si fueran infinitos**

Cuando en realidad → son **limitados y lentos de regenerar**

2. TRANSFORMAR → La industria

Una vez extraído el recurso:

- se transporta
- se procesa
- se convierte en producto

Ejemplo sencillo:

- petróleo → plástico
- mineral de hierro → acero
- arena → vidrio

Qué ocurre aquí realmente

- Se consume energía (muchísima)
- Se generan residuos
- Se contamina:
  - aire
  - agua
  - suelo

No existe transformación "limpia" → toda transformación implica **impacto geológico y ambiental**

3. CONSUMIR → El uso humano

El producto llega al consumidor:

- ropa
- tecnología
- viviendas
- alimentos procesados

Problema actual

El consumo ya no es:

- necesario → es **masivo**
- duradero → es **rápido y desechable**

Ejemplo claro:

- antes un electrodoméstico duraba 20 años
- ahora → 5 o poco más

Consecuencia
Aumenta: → la velocidad del ciclo
4. TIRAR → El gran fallo del sistema
Aquí está el punto crítico.
Una vez usado el producto:
- se convierte en residuo
- se desecha

¿Dónde va?
- vertederos
- océanos
- atmósfera (CO_2, gases)
- suelo (contaminación)

Problema geológico profundo
El sistema natural:
- **no puede absorber ese volumen de residuos**

Porque:
- los residuos modernos (plásticos, químicos):
  - no son biodegradables
  - no existían en la naturaleza

LA CLAVE DEL PROBLEMA

Este modelo supone algo que es falso, que la Tierra puede:
- proporcionar recursos infinitos
- absorber residuos infinitos

Y ninguna de las dos cosas es cierta.

VISIÓN GEOLÓGICA GLOBAL

Si lo miramos desde la geología:
Este modelo rompe dos equilibrios fundamentales:

1. Ritmo de extracción vs ritmo de formación

RECURSO	TIEMPO DE FORMACIÓN	TIEMPO DE CONSUMO
Petróleo	millones de años	décadas
Suelo fértil	siglos	años
Minerales	millones de años	décadas

→ Estamos consumiendo **más rápido de lo que la Tierra puede crear**

2. Ritmo de residuos y capacidad de absorción
- La naturaleza recicla:
  - materia orgánica
  - minerales naturales

Pero no puede reciclar bien:
- plásticos
- metales pesados
- químicos industriales

Esto hace que se acumulen degradando el medio

CONCLUSIÓN

El modelo lineal es:
- eficaz económicamente a corto plazo
- **insostenible geológicamente a largo plazo**

Porque:
- agota recursos
- degrada el entorno
- genera riesgos

Acabamos con un ejemplo muy directo:

Una botella de plástico precisa:

1. Extraer → petróleo
2. Transformar → plástico
3. Consumir → beber agua
4. Tirar → residuo durante siglos

- Tiempo de uso: minutos. Tiempo de impacto: siglos

Todo este modelo que hemos visto no es un error técnico, es un error de planteamiento. Hemos organizado la economía **sin tener en cuenta cómo funciona la Tierra**.

Y eso es exactamente lo que intenta corregir la geodinámica externa aplicada.

⇒ TIEMPO DE RENOVACIÓN: CONCEPTO CRÍTICO

Este es un concepto de los más importantes de todo el tema.

Definición

Tiempo que necesita un sistema natural para regenerarse.

Ejemplos:

- Formación de suelo → siglos
- Recuperación de acuífero → décadas
- Regeneración de bosque → años

Problema actual

Desde la Revolución industrial nuestra economía ha estado creciendo ininterrumpidamente. El ser humano consume tan rápido que al Medio Ambiente no le da tiempo a regenerarse, alcanzando los límites del planeta.

Consecuencia

- degradación irreversible
- pérdida de recursos
- aumento de riesgos

⇒ ECONOMÍA CIRCULAR: INTENTO DE SOLUCIÓN

Se ha visto necesario intentar cambiar el modelo para lograr:

- reutilizar
- reciclar
- reducir



Pero conviene ser crítico

La economía circular:

- Puede mejorar el sistema
- pero no lo soluciona completamente

Porque:

- sigue habiendo consumo
- sigue habiendo impacto



⇒ "HISTORIA DE UNA ZAPATILLA": VISIÓN SISTÉMICA

"... La alta tecnología del diseño y de los materiales fue enviada vía satélite a una empresa de diseño asistido por ordenador en Taiwan.

La parte superior de una zapatilla deportiva tiene 20 partes diferentes y se obtiene a partir de cuero de vaca.

La vaca fue criada, sacrificada y desollada en Texas. La piel se apila en un contenedor de tren hasta Los Ángeles y de allí se exportó a Corea del Sur, donde los costes laborales del curtido del cuero son menores. Durante el proceso, la planta de curtidos descargó pelos, epidermis y numerosos productos químicos en el río *Naktong*. Excepto el cuero, las zapatillas están hechas con productos químicos procedentes del petróleo. La suela exterior está hecha de caucho de estireno-butadieno, sintetizado a partir de petróleo procedente de Arabia Saudí y benceno local (obtenido a partir del carbón), en una fábrica en Taiwan. La fábrica taiwanesa obtuvo su electricidad de una de las tres centrales nucleares de la isla. Finalmente, en la fábrica de Indonesia, una máquina japonesa de bordado cosió a toda velocidad el logotipo central. La línea de montaje manual está compuesta por mujeres jóvenes que cortan, cosen y encolan el calzado en pésimas condiciones laborales. Si ellas mismas quisieran adquirir un par de esas zapatillas tendrían que trabajar algo más de un mes para obtener el dinero necesario."

Extraído de "*Materiales: Las vidas secretas de los objetos cotidiano"*.

- Este ejemplo es extraordinario.

Demuestra que:

Un objeto cotidiano implica:

- múltiples países
- múltiples recursos
- múltiples impactos

- **Lectura geológica**

Cada fase implica:

- extracción de materiales
- alteración del terreno
- contaminación

https://www.youtube.com/watch?v=uZucclsuKaU

⇒ **LAGO TITICACA: EJEMPLO REAL DE DEGRADACIÓN**

- El lago Titicaca está siendo contaminado por residuos de la explotación minera de la región peruana de Puno. Además, se añaden al lago, en el lado boliviano, desechos sólidos y aguas vertidas de las poblaciones de Copacabana, de la bahía de Cohana y Tiquina. En estas poblaciones no existe un sistema de alcantarillado y los desechos desembocan en el Titicaca.



- Bolivia y Perú promueven la nominación del Lago Titicaca como una de las maravillas naturales del planeta y, en ese marco, han desarrollado varias iniciativas para mejorar su imagen. Entre ellas destaca el proyecto gubernamental denominado "Desarrollo Sostenible del Lago Titicaca".

Aquí se ve el resultado final:

- contaminación del agua
- degradación del entorno
- impacto social

- **Idea clave**

Cuando se gestiona mal el territorio: → los sistemas naturales colapsan.

⇒ PREGUNTA CENTRAL DEL TEMA

¿Por qué es importante estudiar la dinámica terrestre?

Porque permite:

- entender los procesos
- anticiparse a los riesgos
- para tomar decisiones correctas

⇒ GEOMORFOLOGÍA: QUÉ ESTUDIA REALMENTE

- La **geomorfología** estudia el origen, estructura, evolución y dinámica actual del relieve terrestre, tanto en la superficie continental como en el fondo oceánico. Analiza las formas del terreno —montañas, valles y costas— moldeadas por procesos endógenos (tectónica) y exógenos (clima, agua, viento, actividad humana). El término proviene del griego: ge, es decir, geos (Tierra), morfeé (forma) y logos (estudio, conocimiento.

- **Tiene dos partes inseparables:**

1. Las formas (lo que vemos)

- Montañas
- Valles
- llanuras
- acantilados
- cauces de ríos

2. Los procesos (lo que no vemos directamente)

- erosión
- transporte
- sedimentación
- movimientos de ladera
- acción del agua, viento, hielo

- **ALGUNOS EJEMPLOS**

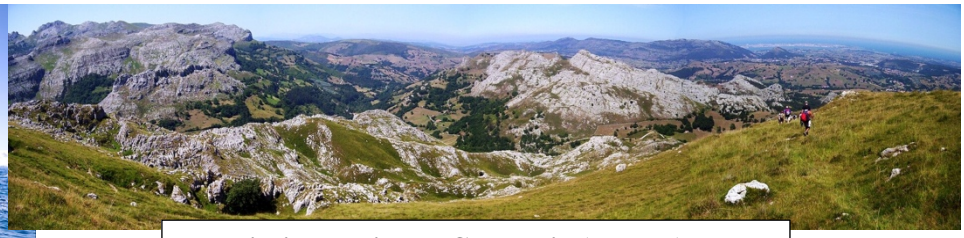


El árbol de Piedra o los cerros de atrás en el Altiplano andino



Cono de Arita, Salar de Arizaro Argentina





Paisaje kárstico en Cantabria (España) con estructuras superficiales como lapiaces y dolinas

El Gran Cañón, ejemplo de modelado fluvial



Erosión por olas resaltan fallas en rocas



Durdle Door al sur de Inglaterra



Los Encantados y el lago de San Mauricio, ejemplos de modelado glacial (Pirineo Catalán)

- **Idea fundamental**

El relieve no es algo "dado" → es el resultado de una **historia dinámica**

Cada forma del terreno es: una consecuencia de procesos que han actuado durante mucho tiempo

- **Relación con el ser humano**

En lo que se refiere a los riesgos Naturales y la relación del Hombre con el medio, la Geomorfología está totalmente relacionada.

- Geografía física → formas naturales y riesgos
- Geografía humana → ocupación del territorio por el hombre

Y aquí está el punto crítico:
Cuando el ser humano ignora los procesos geomorfológicos → aparecen los problemas.
Ejemplo:

- construir en una ladera inestable
- urbanizar una zona inundable



⇒ **PELIGROSIDAD Y RIESGO: NO SON LO MISMO**

Estos dos términos son básicos y suelen confundirse.

→ **PELIGROSIDAD**



Es un concepto **natural**.

Está sujeto a la probabilidad de que ocurra un fenómeno geológico.

Ejemplos:

- probabilidad de inundación en un río
- probabilidad de deslizamiento en una ladera
- probabilidad de sequía en una zona

La peligrosidad depende de:

- clima
- geología
- relieve

No depende del ser humano directamente

→ **RIESGO**

Es un concepto **mixto (natural + humano)**.

Posibilidad de que ese fenómeno cause daños.

Aquí entra en escena:

- la población
- las infraestructuras
- la vulnerabilidad

Diferencia clara e importante

SITUACIÓN	PELIGROSIDAD	RIESGO
Inundación en zona deshabitada	Alta	Bajo
Inundación en ciudad	Alta	Muy alto

→ **Idea clave que se debe interioriza**

El ser humano no puede eliminar la peligrosidad, pero sí puede reducir el riesgo.

¿Cómo?



- no construyendo en zonas peligrosas
- adaptando infraestructuras
- gestionando el territorio

→ **Pero, veamos qué es realmente el riesgo natural**

- **Definición profunda**

El riesgo es:

- una **probabilidad**
- de que ocurra un fenómeno
- que afecte a una sociedad vulnerable

- **Elementos del riesgo**

Para entenderlo bien:

1. **Peligro (fenómeno natural)**
2. **Exposición (personas o bienes presentes)**
3. **Vulnerabilidad (qué sensibles son)**

→ **Ejemplo completo**

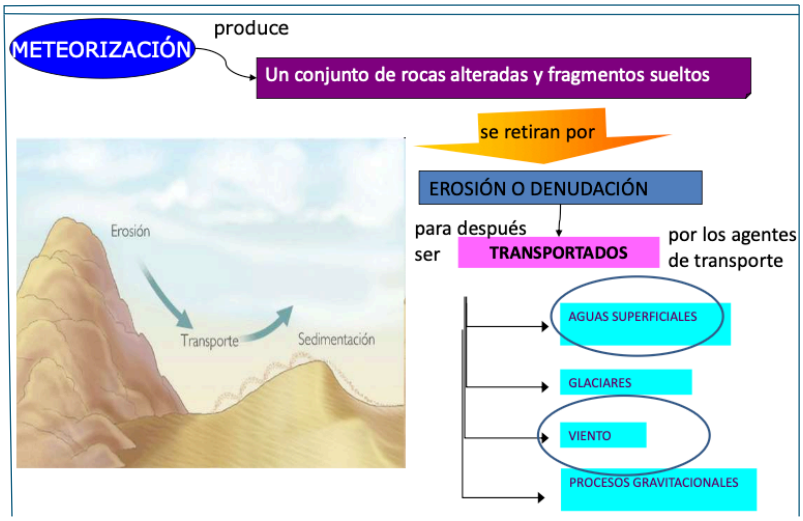
Deslizamiento de tierra:

- zona sin población → no hay riesgo real
- zona con viviendas mal construidas → riesgo alto

→ **Conclusión clave**

El riesgo no es solo natural es, en gran parte, una consecuencia de decisiones humanas.

⇒ **<u>PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS: EL MOTOR DEL MODELADO TERRESTRE</u>**



Aquí entramos en el núcleo de la geodinámica externa.

El esquema de la diapositiva resume un **ciclo fundamental** que es importante comprender perfectamente.

1. METEORIZACIÓN (inicio del proceso)

¿Qué es?

La **descomposición de las rocas en el lugar donde están**.

No hay transporte todavía.

Tipos que actúan:

- Física → rotura (cambios de temperatura, hielo)
- Química → disolución, alteración (agua, CO_2)
- Biológica → raíces, organismos

Resultado:

- fragmentos sueltos
- suelo incipiente

2. EROSIÓN (arranque del material)

Aquí ya hay movimiento.

La roca o el sedimento es arrancado del lugar.

Agentes:

- agua (el más importante)
- viento
- hielo
- gravedad

3. TRANSPORTE

Los materiales se desplazan:

- ríos → arrastran sedimentos
- viento → mueve arena
- glaciares → arrastran rocas
- gravedad → deslizamientos

→ **Importante**

Durante el transporte:

- los materiales se desgastan
- y se seleccionan por tamaño

4. SEDIMENTACIÓN

El material se deposita cuando:

- disminuye la energía del agente que lo mueve

Ejemplo:

- un río que pierde velocidad → deposita sedimentos

→ **VISIÓN GLOBAL DEL PROCESO**

Esto forma un ciclo continuo:

- la roca se rompe
- se transporta
- se deposita
- vuelve a transformarse

→ Este ciclo modela toda la superficie terrestre.

→ **IDEA FUNDAMENTAL DEL TEMA**

Todo lo que vemos en el paisaje:

- no es estático
- es el resultado de este ciclo actuando durante miles o millones de años

Relación con el ser humano (muy importante)

Cuando intervenimos:

- aceleramos la erosión
- alteramos el transporte
- cambiamos la sedimentación

Ejemplo claro:

- deforestación → aumenta la erosión
- urbanización → cambia el drenaje
- presas → alteran sedimentos

⇒ **<u>CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS EXTREMOS</u>**

El cambio climático está modificando o acelerando la dinámica natural del planeta.

→ **¿Qué significa esto desde el punto de vista geológico?**

Los procesos que ya conocemos (erosión, transporte, sedimentación) **no cambian de naturaleza**, pero sí cambian en:

- **intensidad**
- **frecuencia**
- **distribución**

→ **Ejemplo clave: lluvias**

Antes:

- lluvias moderadas → infiltración → equilibrio

Ahora:

- lluvias torrenciales → escorrentía → erosión → inundaciones

→ **Ejemplo: sequías**

- pérdida de vegetación
- suelo desprotegido
- aumento de erosión cuando vuelve la lluvia

→ **Idea fundamental**

El cambio climático no crea nuevos proceso → **desestabiliza los existentes**

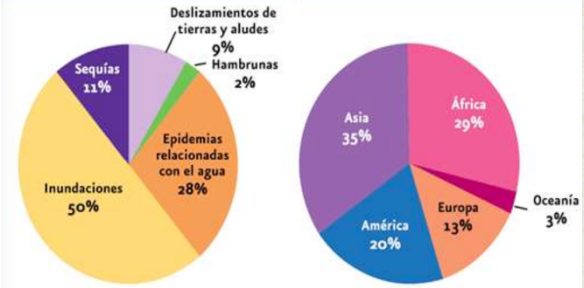
⇒ **EVIDENCIAS VISUALES (IMPACTOS REALES)**

Japón intensifica operaciones de rescate por devastadoras inundaciones

Equipos de rescate en Japón intensificaban este lunes las operaciones de búsqueda de sobrevivientes en un escenario de casas devastadas por inundaciones y deslizamientos de tierra en el fin de semana, y que ya dejaron por lo menos 34 personas muertas.



Figura a Tipos y distribución de los desastres naturales relacionados con el agua, 1990 - 2001

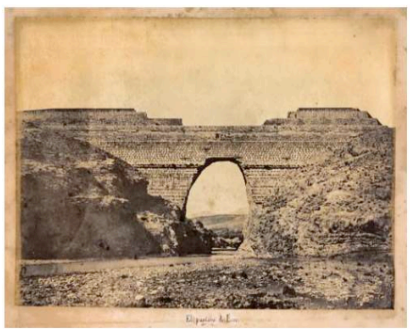


Fuente:
UNESCO-WWAP. *Agua para todos agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.* Francia. 2003.

INUNDACIONES MÁS IMPORTANTES EN ESPAÑA

AÑO	LOCALIDAD	DAÑOS	Nº DE VICTÍMAS MORTALES
1651	Murcia	Graves	1.000
1779	Ribera Baja del Júcar	Importantes	numerosas
1802	Lorca (Murcia)	Destrucción de la ciudad	700
1874	Cataluña	Grandes daños, más de setecientas viviendas destruidas	600
1879	Murcia	Grandes daños	800
1891	Consuegra (Toledo)	Destrucción parcial de la localidad	359
1957	Valencia	Grandes daños, más de trescientos edificios destruidos, 10.000 millones de 1957	86
1962	Cataluña	Grandes daños. Cinco mil viviendas destruidas. 2.700 millones en pérdidas	1.000
1963	Murcia, Almería	Grandes daños	300
1971	Cataluña	Grandes daños. 7.000 millones de pérdidas	400
1972	Valdepeñas	Daños importantes	22
1973	Sureste	Grandes daños en zonas extensas	300
1982	Levante	Grandes daños. 300.000 millones de pérdidas	38
1983	País Vasco y Cantabria	Más de 150.000 millones	40
1989	Málaga y Sureste	200.000 millones	42
1994	Cataluña	30.000 millones	9
1995	Yebra (Guadalajara)	Daños importantes	10
1996	Biescas (Huesca)	Varios miles de millones	87
1997	Alicante y Sureste	10.000 millones	5

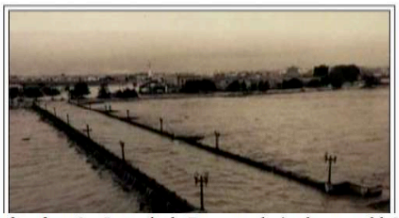
30 de abril de 1802: Rotura del pantano de Puentes. Riada en el río Guadalentín (Cuenca del Segura) en Lorca, debido a la rotura del pantano de Puentes por deficiencias en su construcción. Provocó **608 muertos**.



25 de septiembre de 1962 – Inundaciones en Cataluña, Baleares y Castellón. Las fuertes lluvias provocaron en Barcelona el desbordamiento de los ríos Llobregat y Besós, llegando este último a los 3.000 m³/s y provocando más de 700 muertos así como numerosos años en viviendas e infraestructuras. En Castellón, la Rambla de la Viuda, afluente del Mijares, alcanzó 1.500 m³/s rebasando la presa de María Cristina, vertiendo hasta 1,70 m por encima de la coronación del embalse.



14 de octubre de 1957 – *Gran riada de Valencia*, en las cuencas del Turia y Palancia. Precipitaciones de 300 mm en buena parte de las cuencas de ambos ríos originaron dos ondas de crecida sobre Valencia, la primera de 2.700 m³/s y la segunda, más virulenta, de 3.700 m³/s y 4,16 m/s, que inundaron inundando la mayor parte de la capital valenciana. Tras esta riada se desvió el cauce del Turia al sur de Valencia dotándolo de una capacidad que se calcula en 5.000 m³/s.



20 de octubre de 1982: Pantanada de Tous, que afectó a la cuenca del Júcar, produciéndose lluvias torrenciales en el resto de la Comunidad Valenciana y Región de Murcia. Las lluvias superaron los 100 mm en la mayor parte de la cuenca del Júcar, y los 600 mm en un área de 700 km²; aguas arriba del pantano. Como consecuencia de la gran afluencia de agua y ante la imposibilidad de aliviar caudales, por razones de errores en la operación, la presa de Tous se vino abajo la tarde del 20 de octubre originando una crecida de **16.000 m³/s la mayor registrada en España** (no hay registros de antes de la Guerra Civil). En las poblaciones más inmediatas al pantano, como Gavarda, el agua llegó al **segundo piso de altura** y en ciudades como Carcagente o Alcira se superaron los 2 m. Los **muertos**superaron los **30** y los daños materiales fueron muy cuantiosos. En Alicante cayeron 220 mm en pocas horas causando **2 muertos** y la inundación de la ciudad.



Aunque son imágenes, hay que interpretarlas geológicamente.
Lo que se observa en este tipo de imágenes:

- inundaciones urbanas
- desbordamientos de ríos
- destrucción de infraestructuras
- acumulación de sedimentos

→ **Lectura geológica de las imágenes**

En todos los casos ocurre lo mismo:

1. Exceso de agua o energía
2. Incapacidad del sistema para absorberla
3. Alteración del equilibrio natural
4. Aparición del desastre

→ **Pero hay un matiz importante**

El fenómeno natural no es el problema en sí.
El problema es la ocupación del territorio sin respetar la dinámica natural.

⇒ **<u>CASO REAL: INUNDACIONES EN EXTREMADURA (1997)</u>**

Aquí no hablamos de teoría.

→ **Datos:**

- 25 muertos
- 1.200 familias afectadas
- personas arrastradas por el agua



→ **Análisis geológico**

No basta con decir "llovió mucho".
Hay que analizar:

1. Intensidad de la lluvia

- precipitaciones muy concentradas

2. Capacidad del terreno

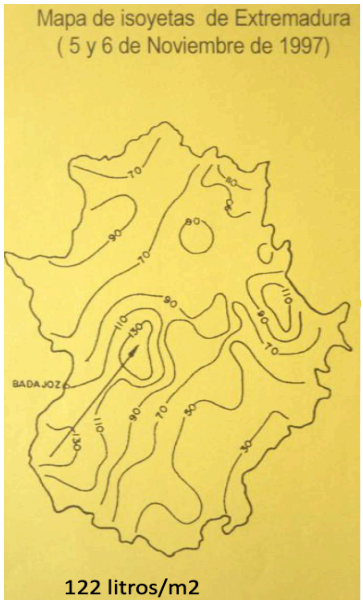
- suelos saturados → no infiltran

3. Relieve

- zonas bajas → acumulación de agua

4. Ocupación humana

- viviendas construidas en zonas inundables



→ **Idea clave (muy importante)**

Una catástrofe natural casi nunca es solo natural.
Siempre hay:

- un componente humano
- una mala planificación

⇒ **<u>122 LITROS/M²: INTERPRETACIÓN DEL DATO</u>**

Este dato parece simple, pero es fundamental entenderlo bien.

→ **¿Qué significa?**

- 122 litros por metro cuadrado = 122 mm de lluvia

Es una **precipitación muy intensa en poco tiempo**

→ **¿Por qué es peligrosa?**

Porque supera la capacidad de:

- infiltración del suelo
- drenaje natural
- infraestructuras

→ **Consecuencia directa**

- escorrentía superficial masiva
- arrastre de sedimentos
- inundaciones rápidas

→ **Idea importante**

No es solo la cantidad de lluvia → es **la velocidad a la que cae**

⟹ **CIERRE VISUAL DEL TEMA**

Aunque sea una imagen final, el mensaje del tema queda claro:

⇒ **CONCLUSIÓN GLOBAL DEL TEMA (lo esencial que se debe dominar)**

1. La Tierra es un sistema dinámico

- La superficie cambia constantemente
- Los procesos son naturales y continuos

2. Los procesos geomorfológicos son la base

Hay que tener muy claro:

- la meteorización
- la erosión
- el transporte
- la sedimentación

→ Son el motor del modelado terrestre

3. El ser humano es un agente geológico

Esto es clave:

- modifica el relieve
- altera los procesos
- acelera la degradación

4. El riesgo no es solo natural

Hay que recordar siempre:

Riesgo = fenómeno natural + vulnerabilidad humana

5. El gran problema actual

No es la existencia de fenómenos naturales → es la **mala gestión del territorio**

6. Idea final (la más importante del tema)

No podemos evitar que llueva, que haya ríos o que existan procesos geológicos. Pero sí podemos decidir **dónde y cómo vivimos**.

Y ahí está la diferencia entre:

- fenómeno natural
- desastre

Tema 12: MODELADO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

⇒ BLOQUE 1 - INUNDACIONES URBANAS

Vamos a pasar a **ejemplos reales de modelado de la superficie terrestre**, sobre todo relacionados con **inundaciones y dinámica fluvial**.



→ **Diapositiva 1**

Se ve una calle anegada con agua y gente limpiando.

Interpretación:

- Es una **inundación reciente por escorrentía superficial**.
- El agua no ha sido absorbida → suelo urbano impermeable.
- Estamos ante un caso típico de:
  - lluvia intensa
  - drenaje insuficiente

Idea clave: En ciudades, el agua no infiltra → corre → se acumula → inunda.



→ **Diapositiva 2**

Calle normal junto a una muralla.

Interpretación:

- Aquí no hay inundación, pero es importante:
- Zona urbana con posible **relieve bajo o encajado**.
- Las murallas antiguas muchas veces marcan zonas cercanas a antiguos cauces.





→ **Diapositivas 3–4**

Detalle de una pared con marcas.

Interpretación:

- Es una **marca de nivel de inundación**.
- Indica hasta dónde llegó el agua en una riada anterior.

Esto es fundamental en Geología:

- Permite reconstruir eventos pasados.
- Nos habla de la **recurrencia de inundaciones**.





→ **Diapositivas 5–6**

Parque inundado.

Interpretación:

- Zona verde convertida en zona de acumulación.
- El agua ocupa:
  - zonas bajas
  - antiguos cauces
  - áreas mal drenadas

Idea importante: El agua siempre "recuerda" por dónde pasaba antes.

Diapositivas 7–8
Colegio y aula inundados.
Interpretación:

- Consecuencia directa de:
  - ocupación humana de zonas inundables
- El sedimento (barro) indica:
  - transporte de materiales por el agua



⇒ **BLOQUE 2: ENERGÍA DEL AGUA Y DESTRUCCIÓN**

Diapositiva 9
Casas destruidas cerca de un cauce.
Interpretación:

- Inundación de alta energía.
- El río ha desbordado con fuerza suficiente para:
  - arrancar estructuras
  - transportar materiales grandes



Diapositivas 10–11
Interiores destrozados.
Interpretación:

- El agua entra con sedimentos → flujo turbulento.
- No es agua limpia → es una **mezcla destructiva**.



Diapositivas 12–14
Canal urbano dañado, carreteras hundidas.
Interpretación:

- El agua ha erosionado:
  - taludes
  - cimientos
- Esto es **erosión fluvial intensa**.





Concepto clave:

- El agua no solo transporta → **también excava**.

⇒ **<u>BLOQUE 3: DINÁMICA DEL RÍO</u>**

→ **Diapositiva 15**
Cauce con poco caudal.
Interpretación:

- Situación posterior a la riada.
- Se observan:
  - sedimentos depositados
  - cauce irregular



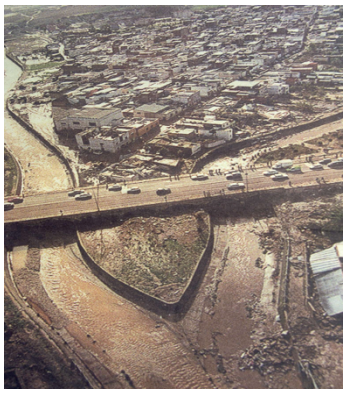
→ **Diapositiva 16**



Puente con restos vegetales.

Interpretación:

- Los restos marcan el nivel alcanzado por el agua.
- Indican dirección y fuerza del flujo.



→ **Diapositiva 17**

Vista aérea del río.

Interpretación:

- Se observa claramente:
  - el cauce
  - la llanura de inundación

Idea clave:

- El río necesita espacio → si se lo quitamos → invade la ciudad.



→ **Diapositiva 18**

Canal artificial junto a viviendas.

Interpretación:

- Intento humano de controlar el río.
- Problema: si el caudal supera la capacidad → viene el desastre.

⇒ **<u>BLOQUE 4: EFECTOS DE LA RIADA</u>**





→ **Diapositivas 19–20**

Destrucción masiva.

Interpretación:

- Arrastre de:
  - troncos
  - basura
  - estructuras

Esto indica:

- **alta energía del flujo**
- comportamiento torrencial



→ **Diapositiva 21**

Sedimentos colgados en cables.

Interpretación:

- Señalan la altura alcanzada por el agua.
- Es una "huella" directa del evento.

⇒ **<u>BLOQUE 5: EROSIÓN DEL SUELO</u>**

Aquí entramos en otro proceso distinto: **erosión hídrica en suelos**.



→ **Diapositiva 22**

Surcos en un campo.

Interpretación:

- **Erosión en surcos**.
- El agua concentra su flujo y excava pequeños canales.

→ **Diapositiva 23**



Superficie arrasada.

Interpretación:

- Pérdida de suelo fértil.
- Etapa más avanzada de erosión.



→ **Diapositiva 24**

Textura irregular del suelo.

Interpretación:

- Acción del agua al evaporarse.
- Formación de microrelieves.

→ **Diapositivas 25–26**





Depósitos de sedimento.

Interpretación:

- El agua pierde energía → deposita materiales.
- Formación de:
  - lenguas de sedimento
  - abanicos pequeños

→ **Diapositivas 27–28**





Surcos profundos.

Interpretación:

- Erosión más intensa → cárcavas.
- Etapa avanzada de degradación del suelo.

⇒ **<u>BLOQUE FINAL: CONTEXTO REAL</u>**

Este recorte de prensa habla de:

- **La riada de hubo en Badajoz**
- 21 fallecidos
- miles de viviendas afectadas

Interpretación geológica:

- No es un fenómeno aislado
- Es un proceso natural amplificado por:
  - una urbanización inadecuada
  - ocupación de zonas inundables
  - y mala gestión del territorio



eldiario.es Extremadura / Política

18 años después, la terrible riada de Badajoz sigue ahogando a los vecinos del Cerro de Reyes

- 21 personas perdieron la vida en esta catástrofe, que inundó miles de viviendas de la ciudad la madrugada del 6 de noviembre de 1997. "No hubo más muertes porque esa noche jugó el Real Madrid, y gracias al partido muchos estaban fuera de sus casas"
- Vecinos y Administración no llegan a un acuerdo para derrumbar estas viviendas y construir una zona rehabilitada
- Una veintena de casas afectadas por el desbordamiento de los arroyos Rivilla y Calamón sigue en pie como "nido de todo tipo de bichos", según la presidenta de la asociación vecinal. A pesar de la canalización de los cauces, los vecinos aledaños miran con miedo la suciedad y maleza ante una nueva inundación

◈ **CONCLUSIÓN**

Todo esto nos enseña tres ideas fundamentales:

1. **El agua es el principal agente modelador de la superficie terrestre.**
2. **Las inundaciones son procesos naturales inevitables.**
3. **El desastre no lo provoca el río, sino dónde construye el hombre.**

Tema 13: MODELADO DE LA SUPERFICIE TERRESTRE (PROCESOS SUPERFICIALES EÓLICOS)

⇒ PROCESOS EÓLICOS

En este tema vamos a ver los cambios que el **viento** produce en la parte externa de la Tierra; arranca materiales, los transporta, y finalmente los deposita en otro lugar formando nuevos depósitos. La expresión **procesos superficiales** se refiere precisamente a esos cambios.

La palabra "eólico" significa precisamente "relacionado con el viento". En geología, el viento es un agente externo, como también lo son el agua, el hielo o la gravedad.

Puntos importantes:

• **Proceso eólico** es el proceso geológico producido por el viento.

• **Gaia** es la manera de referirse a la Tierra como sistema natural integrado.

• La idea inicial es que el relieve terrestre cambia también por agentes externos, no solo por terremotos o volcanes.

Y en todo ese proceso geológico no se trata solo de saber que hay viento, sino de comprender:

- qué agentes intervienen en un territorio
- qué formas de relieve producen

Por ello, el geólogo se pregunta: "¿Qué condiciones hay aquí?" y "¿Qué paisaje generan?". Es la relación entre **proceso** y **resultado.**

Los procesos eólicos se organizan en tres acciones: **erosionar**, **transportar** y **sedimentar**. Primero el viento arranca o desgasta; después mueve los materiales; finalmente los deposita cuando pierde fuerza.

Este esquema es la columna vertebral del tema. Si se comprende bien, resulta mucho más fácil entender dunas, pavimentos, cubetas, desiertos, y **ventifactos** (rocas pulidas, facetadas o estriadas por la acción abrasiva del viento cargado de arena o cristales de hielo).

PUNTOS IMPORTANTES:

• **Erosión**: retirada o desgaste de materiales.

• **Transporte**: desplazamiento de partículas.

• **Sedimentación**: acumulación del material transportado.

⇒ DINÁMICA EÓLICA, EL VIENTO Y LOS DESIERTOS

La dinámica eólica estudia cómo se comporta el viento como agente geológico. No basta con saber que sopla viento; hay que conocer su fuerza, su dirección, los materiales disponibles y el tipo de superficie sobre la que actúa.

En todo este proceso se distinguen dos objetivos: reconocer los **agentes** que intervienen y reconocer las **morfologías** que resultan. Es decir, estudiar la causa y el efecto: qué actúa y qué forma deja en el paisaje.

→ **Puntos Importantes:**

• **Agentes**: factores que producen el cambio, como viento, sequedad o falta de vegetación.

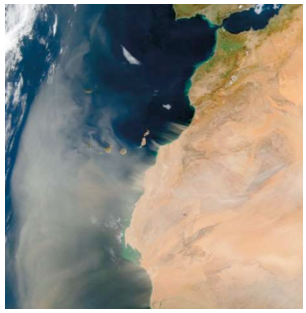
• **Morfologías**: formas del relieve generadas por esos agentes.

• La dinámica eólica se entiende relacionando condiciones del medio y formas resultantes.

⇒ VIENTO, EROSIÓN Y TRANSPORTE

El viento puede levantar partículas sueltas del suelo. Este proceso se llama **deflación** y es semejante a un barrido natural del terreno. Afecta sobre todo a materiales finos y secos.

Además, cuando el viento transporta arena, esa arena golpea otras rocas y las desgasta. Este desgaste se llama **abrasión** o **corrasión**. Las partículas transportadas también chocan entre sí y se redondean o se rompen; a esto se le llama **atrición**.



⇒ MORFOLOGÍAS EÓLICAS: DESIERTOS

Podemos considerar que el desierto es el escenario más representativo de la acción eólica. Un desierto no se define solo por tener arena, sino por la **escasez de agua** y la dificultad para que se desarrolle vegetación continua.





Por eso hay desiertos arenosos, pedregosos, fríos, salinos e incluso antiguos desiertos conservados en rocas. Lo decisivo es la aridez, no la temperatura ni la presencia de dunas.

→ **Puntos Importantes:**

- **Desierto**: región árida donde las precipitaciones son muy escasas.
- No todos los desiertos son cálidos ni todos están cubiertos de arena.
- La falta de vegetación deja el suelo expuesto al viento.

⇒ AGENTES DE LA DINÁMICA EÓLICA

Los factores principales son la escasez de lluvia, la falta de vegetación, la rugosidad del suelo y la existencia de vientos capaces de mover materiales. Cada factor aumenta o reduce la eficacia del viento.

La vegetación es especialmente importante porque protege el suelo. Sus raíces sujetan las partículas y sus tallos frenan el viento. Cuando desaparece, el terreno queda mucho más vulnerable.

→ **Puntos Importantes:**

- **Poca lluvia**: el suelo permanece seco y suelto.
- **Escasa vegetación**: las raíces no sujetan el material.
- **Viento moderado o fuerte**: proporciona la energía para mover partículas.
- El resultado combinado es erosión, transporte y sedimentación.

⇒ MORFOLOGÍAS Y DEPÓSITOS DE ACUMULACIÓN

El viento selecciona los materiales según su tamaño y peso. Por eso no todos los depósitos eólicos son iguales. La arena forma ripples, dunas y draas; las piedras forman superficies pedregosas; los limos pueden formar loess.

Esta clasificación ayuda a leer el paisaje. Si vemos dunas, interpretamos abundancia de arena. Si vemos pavimentos o hamadas, interpretamos retirada de finos y permanencia de materiales gruesos.



→ **Puntos Importantes:**

- **Ripples**: pequeñas ondulaciones de arena.
- **Dunas**: acumulaciones arenosas mayores.
- **Draas**: grandes formas dunares de escala superior.
- **Loess**: depósito de polvo o limo transportado por el viento.

⇒ DEFLACIÓN Y CORRASIÓN



Veamos los dos mecanismos erosivos principales. La **deflación** retira material suelto; la **corrasión o abrasión** desgasta las rocas usando partículas transportadas por el viento.

También conviene distinguir erosión y meteorización. La meteorización rompe o altera la roca en el lugar donde está; la erosión implica retirada o desgaste por un agente, en este caso el viento.



Puntos importantes:

- **Deflación**: vaciado del terreno por retirada de partículas.
- **Corrasión**: desgaste por impacto de arena o polvo.
- Estos procesos crean formas características de los desiertos.

⇒ EROSIÓN: DEFLACIÓN

La deflación es difícil de observar como hecho puntual porque actúa durante mucho tiempo y sobre superficies amplias. Sin embargo, sus resultados son muy claros: rebaja el terreno y deja formas específicas.

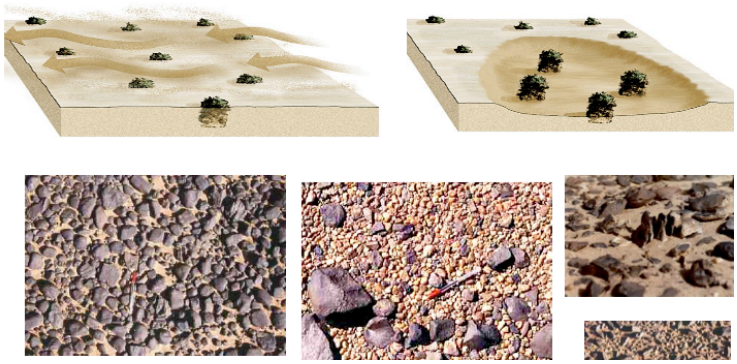
Cuando el viento retira los materiales finos, el suelo puede descender poco a poco. En algunos lugares se forman depresiones; en otros, quedan superficies cubiertas por cantos y piedras.

Puntos Importantes:

- **Arranque**: inicio del movimiento de partículas sueltas.
- **Vaciado**: retirada progresiva del material.
- **Resultado**: depresiones de deflación y pavimentos rocosos.

⇒ EROSIÓN: DEFLACIÓN

Esta imagen nos ayuda a entender que la deflación no desgasta por igual todos los materiales. El viento es selectivo: se lleva con más facilidad polvo, limo y arena fina, pero no puede mover tan fácilmente cantos grandes.



Por eso una zona sometida a deflación puede acabar convertida en una superficie más pedregosa y compacta, aunque al principio tuviera abundante material fino.

Puntos Importantes:

- **Selección eólica**: el viento separa materiales según tamaño y peso.
- Lo fino se transporta; lo grueso tiende a quedarse.
- La superficie resultante puede proteger parcialmente el suelo inferior.

⇒ PAVIMENTOS ROCOSOS

Los pavimentos rocosos son superficies cubiertas por piedras, gravas o cantos. Se forman cuando el viento ha eliminado el material fino y deja una especie de armadura natural de fragmentos más grandes. Esta cubierta puede estabilizar la superficie. Una vez que los cantos se juntan, el viento tiene más dificultad para seguir actuando sobre el material que queda debajo.



Pavimento rocoso
Argélia

Pavimento rocoso
Egipto

Puntos importantes:

• **Pavimento rocoso**: superficie pedregosa producida por retirada de finos.
• No es un simple montón de piedras; es el resultado de una selección prolongada.
• Es frecuente en desiertos de piedra.

⇒ PAVIMENTO DESÉRTICO EN FORMACIÓN

Aquí vemos el pavimento desértico que se forma gradualmente. Primero hay una mezcla de tamaños. Después el viento retira polvo y arena. Finalmente quedan gravas y cantos en superficie.

Comprender este proceso evita una confusión habitual: una superficie pedregosa puede ser el resultado de que el viento haya eliminado lo más fino, no de que siempre haya sido solo piedra.



Pavimento desértico en formación - Ued Issilam (Argelia)

Puntos importantes:

• **Fase inicial**: mezcla de finos y gruesos.
• **Fase intermedia**: retirada de partículas finas.
• **Fase final**: cubierta de cantos y gravas.

⇒ PAVIMENTOS



Micropavimento desértico - Ikinduka (Argelia) - 01

En esta otra diapositiva vemos otro ejemplo de pavimentos. La finalidad es entrenar la observación: cuando una superficie desértica aparece cubierta de cantos, debemos relacionarla con la deflación.

En geología, reconocer una forma permite deducir un proceso. El pavimento indica que el viento ha actuado durante bastante tiempo retirando material fino.

Puntos importantes:

• **Forma observada**: superficie pedregosa.
• **Proceso deducido**: deflación prolongada.
• El paisaje conserva huellas del proceso que lo generó.

⇒ PAVIMENTO ROCOSO

El ejemplo de Assekrem, en Argelia, muestra que los pavimentos rocosos son formas reales y frecuentes en zonas áridas. No son una rareza, sino una de las caras habituales del desierto.

Estos paisajes suelen parecer muy estables, pero esa estabilidad es el resultado de una historia anterior de erosión y selección de materiales.



Assekrem (Argelia)

Puntos Importantes:

• **Localización**: ejemplo en el Sahara argelino.
• El pavimento puede indicar una etapa avanzada de retirada de finos.
• El desierto puede ser pedregoso, no solo arenoso.

⇒ CUBETAS Y SURCOS DE DEFLACIÓN

Las cubetas de deflación son depresiones producidas por la retirada de materiales. Si el viento actúa sobre sedimentos sueltos durante mucho tiempo, puede rebajar una zona respecto a su entorno.

Los surcos son formas más alargadas o canalizadas. Ambos casos muestran que el viento puede excavar, aunque lo haga de manera lenta y sin el aspecto visible de un río.



Surcos de deflación - Tin Agharghar (Argelia) - 01

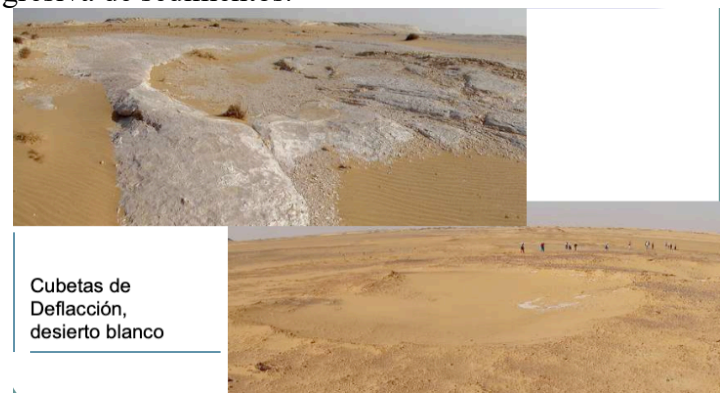
→ **Puntos Importantes:**

- **Cubeta**: depresión más o menos cerrada.
- **Surco**: rebaje alargado.
- Se originan donde hay material suelto y viento persistente.

⇒ CUBETAS DE DEFLACIÓN

Esta imagen del desierto blanco nos permite visualizar estos efectos. La cubeta aparece como una zona hundida, abierta por la retirada progresiva de sedimentos.

Estas formas pueden crecer si el viento sigue eliminando material y si no existe una cubierta protectora que frene el proceso.



Cubetas de Deflacción, desierto blanco

→ **puntos importantes:**

- **Rasgo principal**: terreno rebajado.
- **Causa**: extracción eólica de sedimentos.
- Su tamaño depende del tiempo de actuación, del material y de la fuerza del viento.

⇒ OASIS EN CUENCA DE DEFLACIÓN



Oasis en cuenca de deflación - Gabron, Mandara (Libia)

Esta diapositiva muestra una relación muy interesante entre erosión y agua. Cuando la deflación rebaja mucho una zona, puede acercarse al nivel freático, es decir, al agua subterránea.

Si el agua queda cerca de la superficie, puede aparecer vegetación y formarse un oasis. Por tanto, un oasis no siempre se explica solo por una fuente visible; también puede estar relacionado con la forma del terreno.

→ **puntos importantes:**

- **Nivel freático**: altura a la que se encuentra el agua subterránea.
- **Oasis**: lugar con agua y vegetación dentro de un medio árido.
- La deflación puede favorecer el acceso al agua subterránea.

⇒ ABRASIÓN O CORRASIÓN

La abrasión o corrasión es el desgaste de las rocas por partículas impulsadas por el viento. La arena actúa como una herramienta natural que golpea, pule y talla superficies expuestas.

Las formas resultantes se llaman **ventifactos**. Son rocas modeladas por el viento. Los ventifactos son de varios tipos: pulidos, facetas, alveolos, acanaladuras y rocas fungiformes.

→ **puntos importantes:**

- **Abrasión**: desgaste por impacto de partículas.
- **Ventifacto**: roca esculpida por el viento.
- La arena transportada puede funcionar como una lija natural.

⇒ VENTIFACTOS: ROCAS PULIDAS

Las rocas pulidas presentan superficies suavizadas por el roce continuo de partículas. No se trata de un pulido artificial, sino del efecto acumulado de miles o millones de impactos pequeños.

El pulido puede aparecer en zonas expuestas al viento dominante, especialmente si existe arena disponible para actuar como abrasivo.



Microformas grabadas


Barniz del desierto - Jabarem (Argelia) - 02

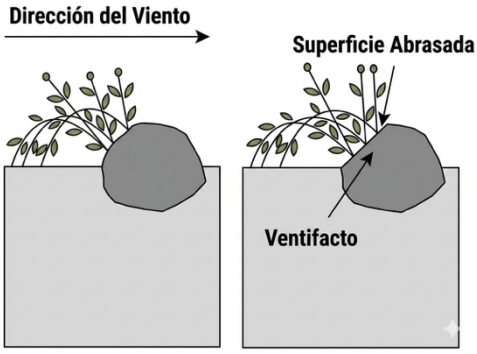
→ **puntos importantes:**

- **Aspecto**: superficie lisa o brillante.
- **Proceso**: abrasión repetida.
- Indica exposición prolongada al viento con carga de partículas.

⇒ VENTIFACTOS: FACETAS O CLASTOS AFACETADOS

Los clastos afacetados tienen caras planas y aristas marcadas. Se forman porque el viento desgasta ciertas superficies con más intensidad que otras.

Si la roca cambia de posición o si el viento actúa desde diferentes ángulos, pueden aparecer varias facetas. Por eso algunas piedras parecen talladas con planos geométricos.





→ **puntos importantes:**

- **Faceta**: cara plana generada por abrasión.
- **Arista**: borde marcado entre dos caras.
- Se desarrollan mejor en rocas compactas y resistentes.

⇒ TIPOS DE VENTIFACTOS

Esta diapositiva visual sirve para reconocer que los ventifactos pueden tener formas variadas. No todos son lisos; algunos presentan caras, aristas, huecos o surcos.

Lo importante es interpretar la roca como un testimonio del viento. Su forma conserva información sobre dirección, intensidad y duración de la abrasión.


Hamada "Desierto pedregoso" Marruecos. Efectos de la termoclastia

→ **puntos importantes:**

• **Idea principal**: la roca conserva la huella del viento.
• La forma ayuda a deducir el proceso que actuó.
• Los ventifactos son frecuentes en ambientes áridos con arena móvil.

⇒ ALVEOLOS O PICADURAS DE CORRASIÓN



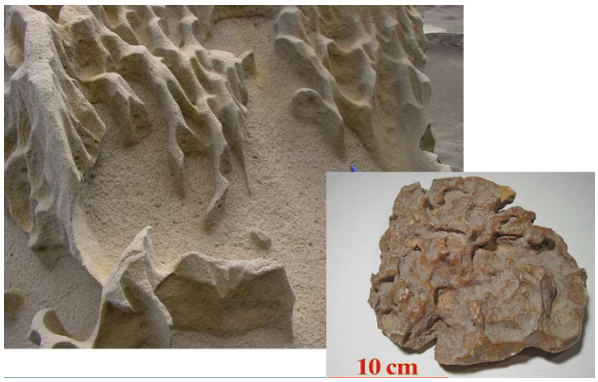
Los alveolos son pequeñas cavidades o picaduras que aparecen en la roca. Pueden ser milimétricos o centimétricos y a veces se conectan unos con otros.

No toda la superficie de una roca tiene la misma resistencia. Las zonas más débiles se desgastan más, y por eso aparecen huecos irregulares.

→ **puntos importantes:**

• **Alveolo**: pequeño hueco producido por erosión localizada.
• **Picadura de corrasión**: marca causada por abrasión del viento.
• El desgaste no siempre es uniforme.

⇒ EROSIÓN ALVEOLAR



La imagen muestra el aspecto de la erosión alveolar. La roca parece perforada o marcada por numerosos huecos pequeños.

Estas formas pueden verse reforzadas por sales, humedad puntual o diferencias internas de la roca, pero en este tema se destacan como resultado asociado a la acción abrasiva del viento.

→ **puntos importantes:**

• **Rasgo visible**: huecos pequeños y repetidos.
• **Interpretación**: erosión diferencial.
• Sirve para reconocer superficies expuestas y alteradas.

⇒ ACANALADURAS O ESTRÍAS



Acanaladuras en el Desierto blanco de Egipto

Las acanaladuras son surcos paralelos grabados en superficies rocosas. Suelen disponerse en la dirección del viento dominante, porque las partículas viajan siguiendo esa trayectoria.

Tienen gran valor como indicador. Si observamos la orientación de los surcos, podemos reconstruir aproximadamente la dirección del viento que los produjo.

→ **puntos importantes:**

• **Acanaladura**: surco alargado.
• **Estría**: marca lineal sobre la roca.
• Su orientación puede indicar la dirección dominante del viento.



⇒ ROCAS FUNGIFORMES

Las rocas fungiformes tienen forma de hongo o seta. Se originan porque la abrasión es más intensa cerca del suelo, donde se concentra la mayor cantidad de arena transportada por saltación.

La base se desgasta más que la parte alta, de modo que la roca queda

estrechada abajo y más ancha arriba. Es un ejemplo claro de erosión diferencial.

→ **puntos importantes:**

- **Fungiforme**: con forma de hongo.
- **Causa**: mayor abrasión en la parte baja.
- **Resultado**: base estrecha y parte superior más amplia.

⇒ TRANSPORTE EÓLICO



Efectos de la erosión eólica en la pirámide de Giza

Una vez arrancado o desgastado, el material puede ser transportado por el viento. La forma de transporte depende sobre todo del tamaño y peso de la partícula.

Las partículas finas pueden viajar en suspensión durante largas distancias. Los granos de arena suelen moverse por saltación. Las partículas más pesadas ruedan o son arrastradas cerca del suelo.

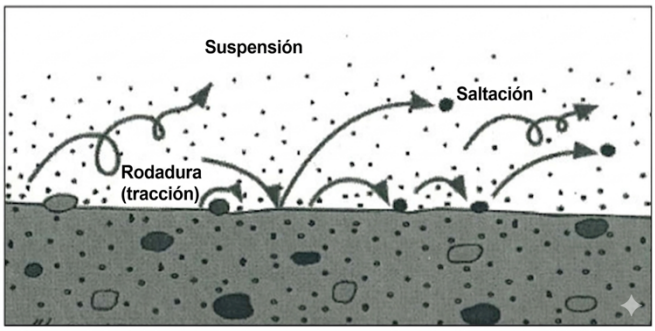
PUNTOS IMPORTANTES:

- **Suspensión**: partículas muy finas flotando en el aire.
- **Saltación**: granos que avanzan dando pequeños saltos.
- **Rodadura y arrastre**: movimiento de partículas más pesadas sobre el suelo.

⇒ FORMAS DE TRANSPORTE

La diapositiva compara las trayectorias. La suspensión se mantiene elevada; la saltación describe pequeños arcos; la rodadura y el arrastre permanecen casi pegados al suelo.

La saltación es especialmente importante porque cada grano que cae puede golpear otros granos y ponerlos en movimiento. Así se mantiene activo el transporte arenoso.



→ **puntos importantes:**

- **Partículas finas**: viajan más lejos.
- **Arena**: suele moverse por saltación.
- **Granos gruesos**: ruedan o se arrastran.

⇒ SEDIMENTACIÓN

La sedimentación ocurre cuando el viento pierde energía. Puede perderla porque disminuye su velocidad, porque encuentra un obstáculo o porque la partícula es demasiado pesada para seguir en movimiento.

Según el material acumulado se forman **ripples**, **dunas**, **draas** o **loess**. La sedimentación no es un final pasivo: construye nuevas formas del relieve.



Ripples eólicos - White Desert (Egipto)

→ **puntos importantes:**

- **Ripples**: ondulaciones pequeñas.
- **Dunas**: acumulaciones móviles de arena.
- **Draas**: grandes cuerpos arenosos.
- **Loess**: polvo fino depositado en grandes extensiones.

⇒ PARTES DE UNA DUNA

Una duna tiene una cara de barlovento y una cara de sotavento. El barlovento es el lado por donde llega el viento; suele tener pendiente suave. El sotavento es el lado protegido, donde la arena cae por gravedad.

La cara de sotavento puede alcanzar una inclinación próxima al ángulo de reposo de la arena. Cuando se supera, se produce una pequeña avalancha.



→ **puntos importantes:**

- **Barlovento**: lado que recibe el viento.
- **Sotavento**: lado protegido donde se desliza la arena.
- La asimetría de la duna permite saber hacia dónde sopla el viento dominante.

⇒ BARLOVENTO Y SOTAVENTO

Este esquema refuerza la idea anterior. La arena asciende por la pendiente suave de barlovento y cae por la pendiente más abrupta de sotavento.

Esta estructura interna es importante porque explica el movimiento de la duna. La duna avanza, aunque conserve una forma parecida.



→ **puntos importantes:**

- **Ladera suave**: zona de subida de la arena.
- **Ladera abrupta**: zona de caída o avalancha.
- La duna es una forma dinámica, no un montón fijo.

⇒ AVANCE DE LA DUNA

El avance de la duna se produce por transferencia de arena desde barlovento hacia sotavento. Grano a grano, la acumulación se desplaza en la dirección del viento.

Este movimiento puede ser lento, pero tiene consecuencias reales. Las dunas pueden cubrir vegetación, caminos, yacimientos o construcciones si no se estabilizan.



PUNTOS IMPORTANTES:

- **Movimiento**: la arena sube, cae y la duna avanza.
- **Dirección**: normalmente hacia sotavento.
- La migración de dunas es un problema ambiental en algunas regiones.

⇒ FACTORES QUE CONTROLAN LAS DUNAS

La forma de una duna depende de tres controles: dirección del viento, velocidad del viento y cantidad de arena disponible. Esos factores explican por qué existen tantos tipos de dunas.

Un viento constante favorece formas simples. Vientos variables generan formas más complejas. Mucha arena permite grandes campos dunares; poca arena produce dunas aisladas.

⇒ TIPOS DE DUNAS

La dunas están clasificadas en longitudinales, transversales, transversales sinuosas, barjanes, parabólicas y estrelladas. Cada tipo refleja una combinación distinta de viento, arena y obstáculos.

Por eso las dunas son como huellas del clima y del viento. Estudiar su forma permite reconstruir las condiciones del medio donde se formaron.

Veamos cada una de ellas:

⇒ DUNAS LONGITUDINALES O SEIF



Las dunas longitudinales son crestas largas y estrechas que se disponen más o menos paralelas a la dirección del viento dominante. Se desarrollan con suministro limitado de arena.

Pueden alcanzar dimensiones enormes, incluso decenas o más de cien kilómetros. Eso muestra que el viento puede construir formas de escala regional.

→ **puntos importantes:**

- **Seif**: nombre frecuente de las dunas longitudinales.
- **Orientación**: aproximadamente paralela al viento.
- **Arena**: suministro escaso o moderado.

⇒ DUNAS TRANSVERSALES



Las dunas transversales forman crestas casi perpendiculares al viento dominante. Se originan cuando el viento es bastante uniforme y hay arena abundante.

Si se extienden por áreas muy grandes, forman mares de arena. Estos paisajes son característicos de grandes desiertos como algunos sectores del Sahara.

→ **puntos importantes:**

- **Orientación**: perpendicular al viento.
- **Condición necesaria**: abundancia de arena.
- **Mar de arena**: gran extensión cubierta por dunas.

⇒ BARJANES





Los barjanes son dunas aisladas en forma de medialuna. Sus puntas avanzan en la dirección del viento, por lo que son muy útiles para interpretar la dirección eólica dominante.

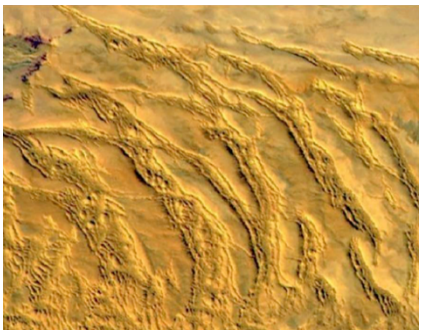
Se forman donde hay poca arena, superficie dura y ausencia de vegetación. Si el viento es constante, la forma es bastante simétrica; si varía, una punta puede crecer más que la otra.

→ **puntos importantes:**

- **Forma**: media luna.
- **Puntas**: apuntan hacia la dirección del viento.
- **Ambiente**: poca arena, suelo duro y sin vegetación.

⇒ DUNAS PARABÓLICAS

Las dunas parabólicas se parecen a los barjanes, pero sus puntas se orientan en sentido contrario al viento. La razón principal es la presencia de vegetación. La vegetación fija los extremos, mientras la parte central avanza. Por eso la forma se abre hacia el lado de procedencia del viento.



→ **puntos importantes:**
- **Diferencia con barján**: las puntas miran al sentido contrario.
- **Vegetación**: fija los extremos.
- Son frecuentes en zonas costeras o semiáridas con cierta cubierta vegetal.

⇒ DUNAS EN ESTRELLA



Las dunas en estrella tienen varias crestas que convergen en una zona central. Se forman cuando los vientos soplan desde varias direcciones y existe abundante arena.

Son formas complejas y pueden alcanzar gran altura. Su presencia indica un régimen de vientos variable, no una dirección única permanente.

→ **puntos importantes:**
- **Forma**: varios brazos o crestas.
- **Viento**: direcciones cambiantes.
- **Arena**: abundante disponibilidad.

⇒ DUNAS RAMPANTES





Las dunas rampantes aparecen cuando la arena se acumula contra una pendiente y asciende por ella. La topografía obliga al depósito a adaptarse al relieve.

Esto recuerda que el viento no actúa en un espacio vacío. Montañas, escarpes, rocas y obstáculos modifican la velocidad del viento y favorecen la acumulación de arena.

→ **puntos importantes:**
- **Rampante**: que sube o trepa por una pendiente.
- **Control topográfico**: el relieve condiciona la acumulación.
- La forma de una duna depende también de los obstáculos.

⇒ PARTES DE UN DESIERTO Y ESTADO DE MADUREZ

La diapositiva introduce la evolución de los desiertos. Un desierto no es un paisaje fijo: puede pasar por fases juvenil, madura y senil.



En cada fase dominan procesos y sedimentos distintos. Al principio pueden tener importancia las montañas y las corrientes ocasionales; con el tiempo gana importancia el viento.

→ **puntos importantes:**
- **Fase juvenil**: relieve más acusado y acción de lluvias torrenciales.
- **Fase madura**: relieve más suavizado y mayor acción eólica.
- **Fase senil**: dominio del viento y grandes acumulaciones arenosas.

⇒ FASE JUVENIL



En la fase juvenil hay relieve montañoso y lluvias escasas pero fuertes. Aunque llueva poco, cuando lo hace puede haber escorrentías violentas que arrastran sedimentos hacia zonas bajas.

Durante los periodos secos, el viento moviliza parte de ese material. El resultado típico es un desierto pedregoso o reg, donde predominan cantos y gravas.

→ **puntos importantes:**

- **Relieve**: montañoso o abrupto.
- **Agua**: escasa, pero a veces torrencial.
- **Resultado**: desierto de piedra o reg.

⇒ DIAPOSITIVA 43. REG



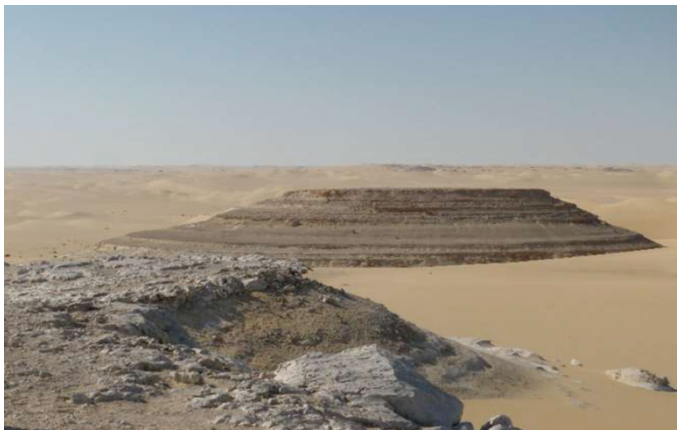
El reg es un desierto pedregoso. Su superficie aparece cubierta por gravas y cantos, no por grandes campos de dunas.

Este tipo de desierto es muy común y ayuda a corregir una idea equivocada: el desierto no es siempre una extensión de arena. Muchas regiones áridas son fundamentalmente pedregosas.

→ **puntos importantes:**

- **Reg**: desierto de piedras y gravas.
- Puede formarse por retirada de partículas finas.
- Es característico de fases iniciales o intermedias de evolución desértica.

⇒ FASE DE MADUREZ



En la fase de madurez, el relieve se ha degradado y las pendientes son menores. Como las corrientes tienen menos energía, el agua pierde capacidad de transporte.

El viento se vuelve más importante. Redistribuye sedimentos, mueve partículas finas y favorece la acumulación de materiales alrededor de zonas pedregosas.

La imagen representa un paisaje donde el relieve ya no es tan abrupto, pero tampoco estamos ante un campo de dunas plenamente desarrollado.

Es una etapa intermedia: parte del material grueso permanece, mientras los materiales más finos pueden ser transportados y acumulados por el viento.

→ **puntos importantes:**

- **Paisaje intermedio**: mezcla de superficies degradadas y depósitos eólicos.
- El viento adquiere mayor capacidad modeladora.
- La madurez no significa final, sino transformación avanzada.

⇒ FASE SENIL



En la fase senil el viento es el agente dominante. El relieve está muy rebajado y pueden aparecer grandes acumulaciones de arena llamadas erg. Los lagos efímeros o sebkhas, son zonas deprimidas donde el agua puede acumularse temporalmente y evaporarse, dejando sales.

→ **puntos importantes:**

- **Erg**: gran desierto de arena.
- **Sebkha**: depresión salina con agua temporal.
- **Fase senil**: etapa de dominio eólico avanzado.

⇒ DE LA FASE JUVENIL A LA SENIL



Bajada - Tin Toraha (Argelia) - 01



Playa o sebkha - Assale (Afar, Etiopía) - 02

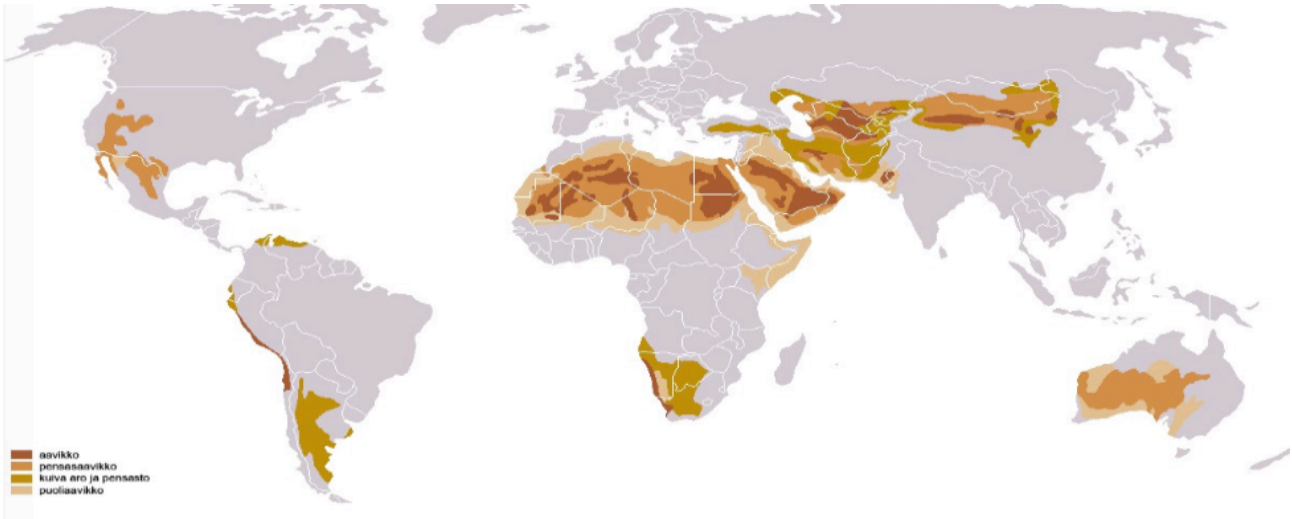
La diapositiva resume la evolución en el espacio y en el tiempo. El paisaje pasa de formas más montañosas y pedregosas a formas más llanas, degradadas y dominadas por arena.

No debe entenderse como una secuencia rígida idéntica en todos los lugares, sino como un modelo general para interpretar la evolución de muchos desiertos.

→ **puntos importantes:**

- **Juvenil**: más relieve y más intervención de escorrentías ocasionales.
- **Madura**: transición y mayor transporte eólico.
- **Senil**: dominio del viento y grandes depósitos arenosos.

⇒ EVOLUCIÓN Y TIPOS DE DESIERTOS



Los desiertos ocupan una parte muy importante de la superficie terrestre, alrededor del 30 por ciento. Esta cifra muestra que la aridez es un rasgo fundamental del planeta.

La diapositiva distingue desiertos propiamente dichos y estepas. Las estepas son zonas secas, pero con más vegetación que los desiertos estrictos.

→ **puntos importantes:**

- **Desierto estricto**: aridez muy marcada y vegetación muy escasa.
- **Estepa**: región seca con algo más de vegetación.
- Los desiertos se clasifican también por latitud, origen y situación climática.

⇒ DESIERTOS DE LATITUDES BAJAS Y MEDIAS

Los desiertos de latitudes bajas se sitúan en torno a los trópicos. Se relacionan con la circulación general de la atmósfera: masas de aire descienden, se calientan y dificultan la formación de nubes y lluvias.

Los desiertos de latitudes medias suelen estar en interiores continentales o detrás de cordilleras. Allí llega poca humedad marina, por distancia o por barreras montañosas.

→ **puntos importantes:**

- **Latitudes bajas**: desiertos tropicales o subtropicales.
- **Latitudes medias**: desiertos interiores o de sombra pluviométrica.
- **Diferencia principal**: causa climática y posición geográfica.

⇒ DESIERTOS HELADOS, PALEODESIERTOS Y EXTRATERRESTRES

Los desiertos helados demuestran que un desierto no tiene que ser caluroso. Algunas zonas de la Antártida son desiertos porque reciben muy poca precipitación, aunque sean extremadamente frías.

Los paleodesiertos son desiertos antiguos conservados en el registro geológico. Los desiertos extraterrestres, como Marte, muestran que el viento también puede modelar superficies fuera de la Tierra si hay atmósfera y partículas sueltas.

→ **puntos importantes:**

- **Desierto helado**: desierto frío con muy poca precipitación.
- **Paleodesierto**: antiguo desierto conservado en rocas.
- **Desierto extraterrestre**: paisaje árido fuera de la Tierra, como Marte.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

El viento actúa como agente geológico especialmente en regiones secas, con poca vegetación y abundancia de materiales sueltos. Su acción se organiza en tres fases: erosiona, transporta y sedimenta.

La erosión eólica produce deflación, abrasión, ventifactos, pavimentos y cubetas. El transporte se realiza por suspensión, saltación, rodadura y arrastre. La sedimentación genera ripples, dunas, draas y depósitos de loess.

Tema 15: GEOLOGÍA APLICADA

La geología aplicada, también conocida como ingeniería geológica, utiliza conocimientos geológicos para resolver problemas prácticos en ingeniería, minería y medio ambiente. Su objetivo es mitigar riesgos geológicos, investigar recursos naturales y asegurar la viabilidad de obras civiles como presas y carreteras. Es clave en exploración mineral, geotécnica y estudios ambientales.

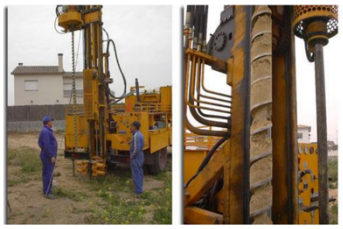
Aspectos Clave de la Geología Aplicada:

- **Ingeniería Geológica:** Se enfoca en el estudio del suelo y subsuelo para la cimentación de estructuras (puentes, túneles, carreteras) y la estabilidad de taludes.
- **Geología de los Recursos Naturales:** Implica la exploración y evaluación de recursos energéticos, minerales e hidrológicos (aguas subterráneas).
- **Gestión de Riesgos y Medio Ambiente:** Identifica riesgos geológicos como deslizamientos o sismos para prevenir desastres, además de evaluar el impacto ambiental.
- **Geología Estructural Aplicada:** Fundamental en la exploración minera para identificar yacimientos mediante la interpretación de estructuras tectónicas y deformaciones de la corteza.
- **Geotecnia:** Analiza las propiedades físicas y mecánicas de materiales geológicos para su uso en construcción.

⇒ TÉCNICAS DE ESTUDIO (MÉTODOS DIRECTOS DE CAMPO)

En las técnicas de estudio se encuentran el **Sondeo Helicoidal (o con barrena helicoidal)**. Es un método de perforación a rotación o percusión. Utiliza una herramienta en forma de tornillo (barrena) que se introduce en el terreno desmenuzando el suelo, el cual sale por la boca del sondeo. Se usa para mayor profundidad y en terrenos blandos, cohesivos y sin gravas gruesas.

Sondeo helicoidal



Calicata



El sondeo **Calicata (o cata),** es una excavación a cielo abierto, generalmente realizada con una retroexcavadora. Consiste en hacer un pozo de dimensiones variables (frecuentemente 1x1x1m o más) que permite una inspección visual directa de las paredes del terreno hasta profundidades bajas o medias (generalmente 3-4 metros).

Estos métodos directos permiten observar el terreno o tomar muestras reales. Son valiosos porque reducen la incertidumbre y comprueban el material existente.

⇒ TOMA DE DATOS EN UN POZO Y MEDIDA DE INCLINACIÓN DE CAPAS

Toma de datos en un pozo



Medida de inclinación de capas



Medir la inclinación de las capas significa conocer cómo están colocados los estratos en el espacio. Para ello se usa una brújula geológica o instrumentos equivalentes que permiten medir dirección y buzamiento. Estos datos son esenciales para entender pliegues, fallas, estructuras y continuidad de las formaciones.

La toma de datos en un pozo permite estudiar el subsuelo directamente: se observa la profundidad del agua, la naturaleza de los materiales atravesados y, en algunos casos, variaciones químicas o hidráulicas. Un pozo no es solo un agujero: es un punto de observación geológica e hidrogeológica de gran valor.

→ puntos Importantes:

• La inclinación de las capas ayuda a reconstruir la geometría del subsuelo.
• Un pozo permite obtener información directa sobre materiales y agua subterránea.
• Las mediciones de campo son la base de muchas interpretaciones posteriores.

⇒ GEOFÍSICA: SÍSMICA DE REFLEXIÓN

Geofísica: sísmica de reflexión

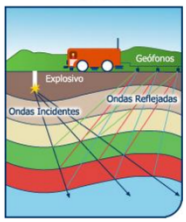
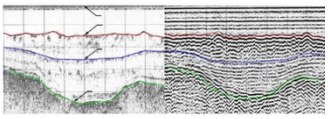


Diagrama interpretado de sísmica de reflexión



La sísmica de reflexión es un método indirecto que envía ondas al subsuelo y registra sus rebotes. Cuando una onda encuentra un límite entre materiales con propiedades distintas, una parte se refleja y vuelve a la superficie. Midiendo el tiempo que tarda en regresar, se puede reconstruir la posición de las capas profundas.

Este método se utiliza mucho en exploración de hidrocarburos y en estudios estructurales. Su ventaja es que puede investigar grandes profundidades sin necesidad de excavar. Su limitación es que necesita interpretación especializada: lo que se obtiene no es una foto directa del terreno, sino un perfil geofísico que hay que leer correctamente.

→ puntos Importantes:

- La sísmica de reflexión se basa en el rebote de ondas en límites entre capas.
- Permite estudiar estructuras profundas del subsuelo.
- Es un método muy potente, pero requiere interpretación técnica.

⇒ GEOFÍSICA: SÍSMICA DE REFRACCIÓN

Geofísica: sísmica de refracción





La sísmica de refracción también usa ondas, pero en vez de analizar principalmente los rebotes, estudia cómo cambian de velocidad y dirección al pasar de un material a otro. Cada tipo de roca transmite las ondas de forma distinta y eso permite deducir propiedades del terreno.

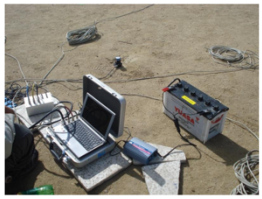
Se usa mucho para estudios geotécnicos y para reconocer capas relativamente superficiales: profundidad de roca sana, espesores de suelos, zonas alteradas o materiales blandos. Es especialmente útil antes de cimentar, excavar o abrir zanjas profundas.

→ puntos Importantes:

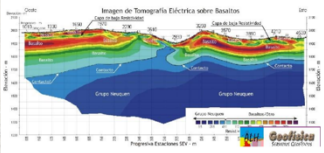
- La refracción sísmica aprovecha el cambio de velocidad de las ondas en distintos materiales.
- Es muy útil para estudios geotécnicos y capas poco profundas.
- Permite conocer el subsuelo sin necesidad de abrir grandes excavaciones.

⇒ PROSPECCIÓN ELÉCTRICA Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Geofísica: prospección eléctrica



Tomografía eléctrica



La prospección eléctrica consiste en hacer pasar corriente por el terreno y medir su respuesta. Los materiales saturados de agua, las arcillas, las rocas compactas o las zonas contaminadas no presentan la misma resistividad eléctrica, y por eso pueden diferenciarse.

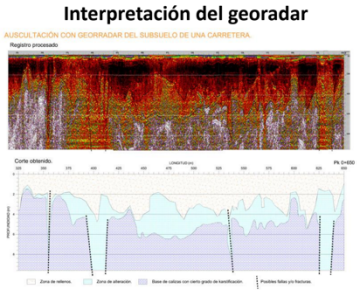
La tomografía eléctrica combina muchas medidas y construye una imagen interpretada del subsuelo. Es muy útil para localizar agua, cavidades, zonas arcillosas, fracturas, rellenos o posibles focos de contaminación. Es uno de los métodos más versátiles en geología aplicada.

→ puntos Importantes:

- Cada material tiene un comportamiento eléctrico distinto.
- La tomografía transforma medidas puntuales en una imagen del subsuelo.
- Es muy usada en hidrogeología, geotecnia y medio ambiente.

⇒ PROSPECCIÓN CON GEORADAR


Geofísica: prospección con georadar


Interpretación del georadar

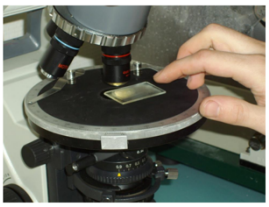
El georadar envía pulsos electromagnéticos al subsuelo y registra sus reflejos. Funciona especialmente bien en materiales secos y poco conductores, y permite reconocer cambios de material, cavidades, tuberías, restos enterrados o estructuras ocultas.

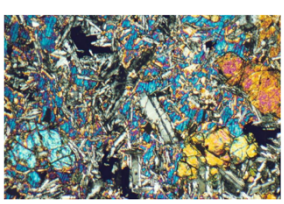
Su gran ventaja es la rapidez y el detalle. La limitación es que no penetra igual en todos los terrenos: en suelos arcillosos o muy húmedos pierde eficacia. Por eso es una técnica excelente, pero no universal; su rendimiento depende mucho del terreno.

→ puntos Importantes:

- El georadar estudia el subsuelo con ondas electromagnéticas.
- Aporta mucho detalle en poca profundidad.
- Su eficacia depende fuertemente del tipo de suelo o roca.

⇒ LABORATORIO: LÁMINAS DELGADAS AL MICROSCOPIO


Estudio en microscopio de láminas delgadas


Lámina delgada de basalto

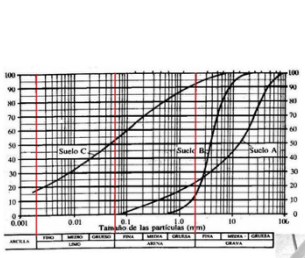
Una lámina delgada es un corte de roca tan fino que deja pasar la luz. Bajo el microscopio petrográfico se pueden identificar minerales, texturas, tamaños de cristal y relaciones entre componentes. Esto permite saber cómo se formó la roca y cómo ha evolucionado.

El basalto de la diapositiva es una roca volcánica. En una lámina delgada se pueden reconocer minerales como plagioclasa, piroxeno o vidrio volcánico, y deducir si el enfriamiento fue rápido, si hubo burbujas de gas o si la roca se alteró posteriormente.

→ puntos Importantes:

- Las láminas delgadas permiten estudiar rocas con mucho más detalle que a simple vista.
- El microscopio revela minerales y texturas invisibles en campo.
- La textura ayuda a interpretar el origen y la historia de la roca.

⇒ LABORATORIO: ENSAYO DE TAMIZADO



A.- Grava media y gruesa con 22% de arena
B.- Grava media y fina con 12% de arena gruesa
C.- 10% de grava fina, 40% de arena, 32% de limo y 18% de arcilla


Ensayo de tamizado



El tamizado sirve para separar y cuantificar los tamaños de los granos de un sedimento. La muestra se pasa por una serie de tamices de abertura cada vez menor, y después se calcula qué porcentaje corresponde a grava, arena, limo o arcilla.

Este ensayo es muy importante porque el tamaño de grano influye en casi todo: permeabilidad, compactación, drenaje, resistencia, fertilidad y comportamiento frente a la erosión. Una grava drena muy bien, una arena drena moderadamente, y una arcilla retiene agua y se deforma de otra manera.

→ puntos Importantes:

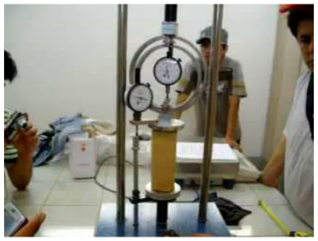
- La granulometría describe el tamaño de las partículas de un suelo o sedimento.
- El tamizado permite cuantificar cuánta grava, arena, limo o arcilla hay.
- La granulometría condiciona el comportamiento hidráulico y mecánico del terreno.

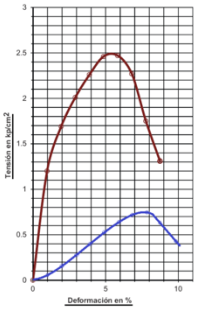
⇒ ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

Este ensayo mide la capacidad de una muestra para soportar una carga de compresión hasta romperse. Se coloca el material entre placas y se aplica fuerza progresivamente hasta que se deforma o colapsa.

En geotecnia y geología de ingeniería es fundamental porque indica si una roca o un suelo cementado pueden soportar cargas de edificios, túneles, taludes o estructuras. No basta con que una roca "parezca dura"; su resistencia real debe medirse.

Ensayo de resistencia a compresión simple





→ puntos Importantes:

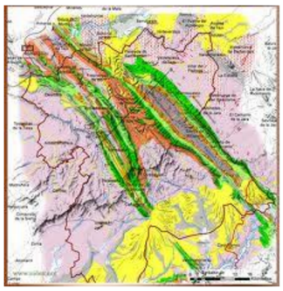
- La compresión simple cuantifica la resistencia del material.
- Es esencial para diseñar cimentaciones y estructuras seguras.
- Permite comparar materiales y detectar zonas débiles.

⇒ MÉTODOS DE GABINETE: MAPA GEOLÓGICO, LEYENDA Y CORTE

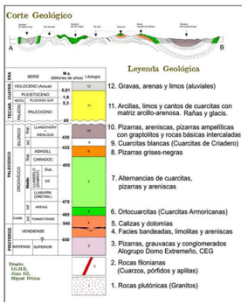
El mapa geológico representa en superficie qué rocas aparecen y cómo se distribuyen. La leyenda explica los colores, edades y tipos de materiales. El corte geológico, en cambio, muestra cómo se prolongan esas unidades en profundidad.

El trabajo de gabinete no consiste solo en dibujar: consiste en interpretar toda la información recogida en campo y laboratorio para construir un modelo coherente del terreno. Sin mapa y sin corte es muy difícil comprender un territorio completo.

Cartografía: mapa geológico



Leyenda y corte del mapa geológico



→ puntos Importantes:

- El mapa geológico explica la distribución superficial de las rocas.
- La leyenda permite interpretar correctamente los símbolos y colores.
- El corte geológico muestra la continuidad de las capas en profundidad.

⇒ DIACLASAS: ORIENTACIÓN Y DENSIDAD

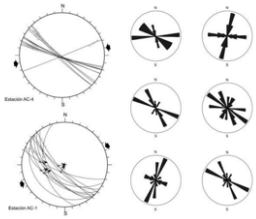
Las diaclasas son fracturas en las rocas en las que no ha habido desplazamiento importante. Aunque no sean fallas, son muy importantes porque controlan la circulación del agua, la estabilidad de taludes y la facilidad de excavación.

La orientación indica hacia dónde se disponen las fracturas; la densidad indica cuántas existen en una zona. Una roca muy diaclasada suele ser menos estable y permite más entrada de agua, algo clave en canteras, túneles y cimentaciones.

Familias de diaclasas



Orientación y densidad de diaclasas



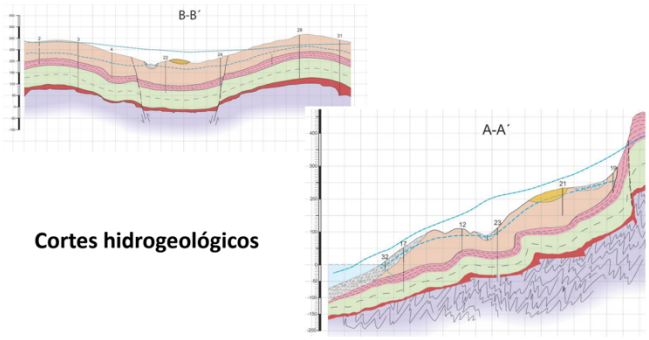
→ puntos Importantes:

- Las diaclasas condicionan la estabilidad de la roca.
- Su orientación influye en deslizamientos, excavaciones y drenaje.
- Cuantas más fracturas hay, más cambia el comportamiento del macizo rocoso.

⇒ CORTES HIDROGEOLÓGICOS

Un corte hidrogeológico muestra cómo se relacionan las capas geológicas con el agua subterránea. Permite ver qué materiales actúan como acuíferos, cuáles son impermeables y por dónde circula el agua.

Esto es esencial para localizar pozos, entender manantiales, proteger acuíferos y prever la contaminación. El agua subterránea no se mueve al azar: sigue caminos condicionados por porosidad, fracturación, pendiente hidráulica y barreras geológicas.



Cortes hidrogeológicos

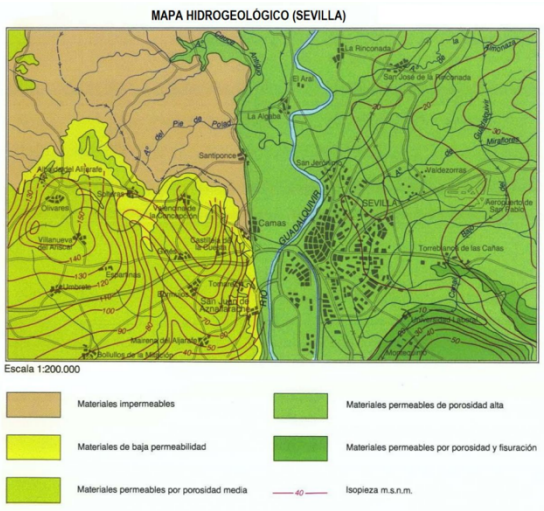
→ puntos Importantes:

- Un corte hidrogeológico une geología y comportamiento del agua subterránea.
- Permite distinguir acuíferos y capas impermeables.
- Es básico para abastecimiento, protección y gestión del agua.

⇒ MÉTODOS DE GABINETE

Esta diapositiva pertenece al bloque de gabinete y resume una idea clave: interpretar. En gabinete se reúnen datos de campo, resultados de laboratorio, mapas, perfiles geofísicos y modelos.

Es la fase en la que el geólogo pasa de datos aislados a una visión de conjunto. Muchas decisiones prácticas dependen de esta etapa, porque aquí se define qué significa realmente la información obtenida.



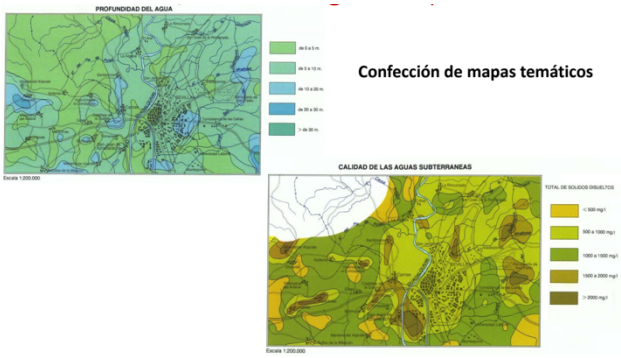
→ puntos Importantes:

- El gabinete integra toda la información disponible.
- Sin interpretación, los datos sueltos dicen muy poco.
- La toma de decisiones depende de una síntesis correcta.

⇒ CONFECCIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

Un mapa temático representa un solo aspecto del territorio: riesgos, suelos, acuíferos, pendientes, contaminación, usos del suelo o recursos. No muestra todo, sino lo que interesa para un problema concreto.

Su utilidad es enorme, porque simplifica la información y permite comparar zonas. Por ejemplo, un mapa temático de riesgo de inundación ayuda a decidir dónde no conviene construir o qué áreas necesitan protección especial.

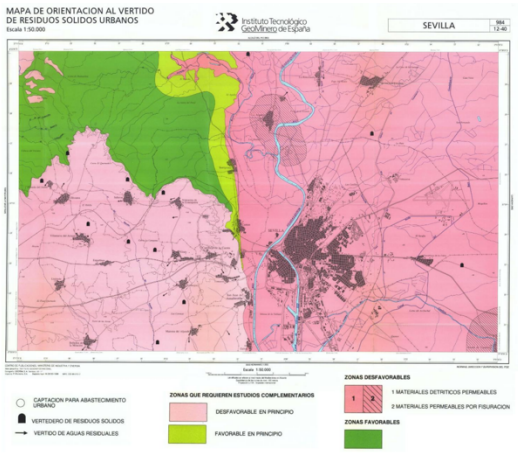


Confección de mapas temáticos

→ puntos Importantes:

- Un mapa temático selecciona una información concreta.
- Sirve para planificación territorial y ambiental.
- Convierte datos complejos en una herramienta visual fácil de usar.

⇒ TRANSICIÓN A LAS APLICACIONES



Esta diapositiva funciona como transición entre el bloque de técnicas y el bloque de aplicaciones. Hasta aquí se ha explicado cómo se estudia el terreno; a partir de ahora se verá para qué sirve todo ello.

Es una pausa estructural del tema, pero didácticamente importante: primero se aprende la herramienta y después se aplica esa herramienta a recursos geológicos, obra civil y medio ambiente.

→ puntos Importantes:

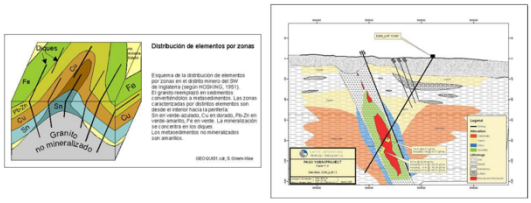
- Primero se aprende a investigar el terreno; después se aplican esos datos.
- La geología aplicada se basa siempre en una fase previa de estudio.
- Sin técnicas de investigación no puede haber buena aplicación.

⇒ RECURSOS GEOLÓGICOS: MINERALES

Los minerales son recursos geológicos valiosos cuando aparecen concentrados en cantidades explotables. Los cortes geológicos de mineralizaciones por zonas permiten saber si el yacimiento es continuo, cuánto puede rendir y cómo explotarlo con seguridad.

Para valorar una mineralización no basta con encontrar un mineral en superficie: hay que conocer su geometría, espesor, ley mineral y relación con las rocas que lo encajan.

Cortes geológicos de mineralizaciones



→ puntos Importantes:

- Una mineralización solo se convierte en recurso si puede explotarse técnica y económicamente.
- Los cortes geológicos ayudan a imaginar cómo continúa el yacimiento en profundidad.
- Sin conocer forma y volumen no se puede planificar una mina.

⇒ DIQUES MÁFICOS Y CORTA ATALAYA

Un dique máfico es una intrusión de magma oscuro que corta otras rocas. Su presencia puede indicar procesos magmáticos y, en algunos casos, relación con mineralizaciones.

Corta Atalaya es un ejemplo emblemático de minería a cielo abierto. La geología determina dónde se excava, qué materiales se extraen y cómo se organiza la explotación.

Diques máficos



Corta Atalaya (Riotinto)



→ puntos Importantes:

- Los diques cortan estructuras anteriores y revelan episodios magmáticos.
- La geología controla la forma y viabilidad de una explotación minera.
- Las minas a cielo abierto dependen de la estructura del yacimiento.

⇒ MINA DE SAL Y MINA DE CARBÓN

La sal procede normalmente de la evaporación de aguas salinas en cuencas cerradas; el carbón procede de restos vegetales enterrados y transformados durante millones de años.

La diapositiva compara dos recursos muy distintos y muestra que cada uno exige un tipo de estudio y explotación diferente. No todos los recursos geológicos se forman ni se extraen de la misma manera.

Mina de sal (Cardona)



Mina de carbón en Teruel



→ puntos Importantes:

- La sal es un recurso evaporítico; el carbón es un recurso energético de origen orgánico.
- Cada recurso tiene una historia geológica distinta.
- La forma de explotación depende del tipo de yacimiento.

⇒ ROCAS INDUSTRIALES: MÁRMOL

Las rocas industriales son aquellas que se usan directamente como materia prima. El mármol es una roca metamórfica muy apreciada por su belleza, pulido y resistencia.

Para explotar una cantera de mármol hay que estudiar continuidad de las capas, fracturas, color, calidad y volumen. Una fractura mal colocada puede inutilizar un bloque de gran valor.

Capas de mármol



Cantera de mármol "crema marfil"



→ puntos Importantes:

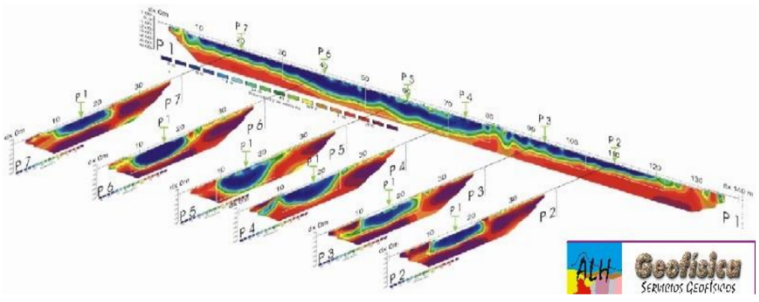
- La geología de una cantera determina la calidad del aprovechamiento.
- No basta con que la roca sea bonita: debe ser extraíble en bloques útiles.
- Las fracturas son un factor decisivo en rocas ornamentales.

⇒ CUBICACIÓN DE UNA EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL

Cubicar una explotación significa calcular cuánto material aprovechable existe. Para ello se combinan observaciones geológicas con métodos geofísicos, como la prospección eléctrica.

La geofísica ayuda a estimar límites, continuidad y zonas alteradas sin necesidad de abrir toda la cantera. Es una forma de ahorrar costes y planificar mejor la extracción.

Cubicación de una explotación de mármol con geofísica eléctrica



→ puntos Importantes:

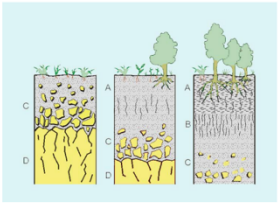
- Cubicar es medir el volumen útil del recurso.
- La geofísica permite ver más allá de lo expuesto en superficie.
- Planificar bien una cantera reduce pérdidas y daños innecesarios.

⇒ SUELOS EDÁFICOS: EVOLUCIÓN Y USO AGRÍCOLA

El suelo se forma lentamente por alteración de la roca, acción del agua, incorporación de materia orgánica y actividad biológica. No es simplemente tierra suelta: es un recurso complejo y vivo.

En agricultura, conocer un suelo significa saber su profundidad, fertilidad, textura, drenaje y capacidad para sostener cultivos. Un suelo degradado pierde productividad y tarda muchísimo en recuperarse.

Evolución de un suelo



Suelo con uso agrícola



→ puntos Importantes:

• El suelo es un recurso geológico y biológico a la vez.

• Su formación es lenta; su degradación puede ser rápida.

• La geología del suelo condiciona su uso agrícola.

⇒ ANÁLISIS DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

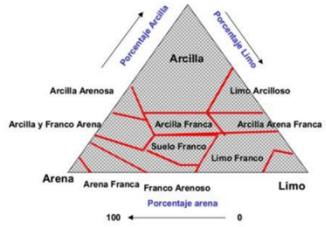
El análisis de suelos estudia tamaño de grano, composición, materia orgánica, salinidad, pH y otras propiedades. La textura controla cómo se comporta el suelo frente al agua y las raíces.

La clasificación granulométrica permite distinguir si un suelo es más arenoso, limoso o arcilloso. Esa diferencia influye en retención de agua, aireación, cultivo y susceptibilidad a la erosión.

Análisis de suelos



Clasificación granulométrica



→ puntos Importantes:

• La textura del suelo condiciona su comportamiento agrícola y ambiental.

• Un suelo arcilloso y uno arenoso no responden igual al agua.

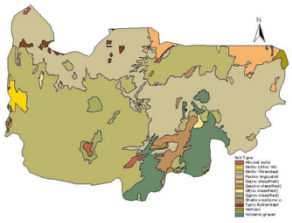
• Analizar el suelo es imprescindible antes de usarlo intensamente.

⇒ MAPA DE SUELOS Y EROSIÓN EN CÁRCAVAS

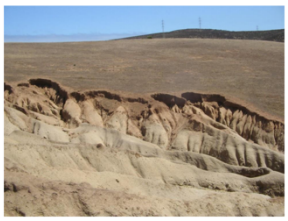
Los mapas de suelos muestran cómo se distribuyen los distintos tipos de suelo. Son herramientas fundamentales para agricultura, ordenación del territorio y conservación.

Las cárcavas son una forma de erosión muy intensa: el agua se concentra y excava surcos profundos, llevándose el suelo fértil. Cuando aparecen, indican una degradación importante del terreno.

Mapa de suelos



Erosión de suelos (cárcavas)



→ puntos Importantes:

• El suelo puede cartografiarse igual que las rocas.

• Las cárcavas representan pérdida grave de suelo fértil.

• Conservar el suelo es esencial porque tarda mucho en formarse.

⇒ AGUAS SUBTERRÁNEAS: OASIS Y MANANTIAL

El agua subterránea es uno de los recursos más importantes de la geología aplicada. Se encuentra almacenada en poros y fracturas, y puede aflorar como manantial o quedar accesible en oasis.

La hidrogeología estudia dónde está esa agua, cómo circula y cómo se recarga. Su aprovechamiento exige equilibrio: si se extrae demasiado, el sistema se deteriora.

Oasis en el desierto



Manantial



→ puntos Importantes:

• Los manantiales muestran la salida natural del agua subterránea.

• Los oasis dependen de la disponibilidad y accesibilidad del agua en medios áridos.
• Los acuíferos deben explotarse sin superar su recarga.

⇒ POZOS DE ABASTECIMIENTO Y RIEGO

Los pozos se perforan para extraer agua subterránea. Un pozo de abastecimiento sirve para consumo humano o urbano; uno de riego sirve para agricultura.

Diseñar un pozo exige conocer profundidad del acuífero, caudal esperado, calidad del agua y ritmo de recarga. Si se extrae más de lo que entra, el nivel freático baja y aparecen problemas de sobreexplotación.

Pozo de abastecimiento



Pozo para riego

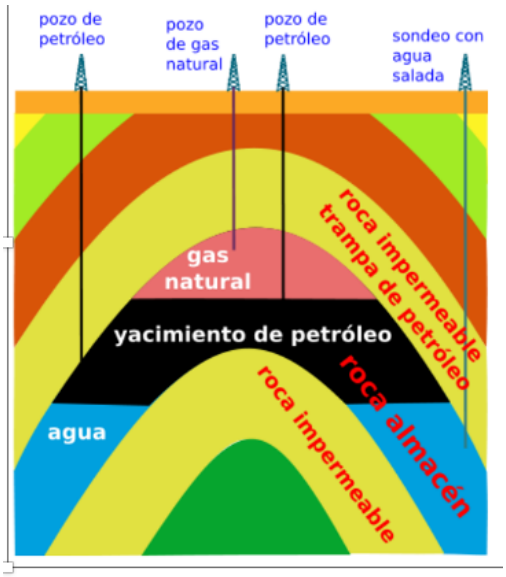


→ puntos Importantes:

• No todos los pozos tienen el mismo uso ni las mismas exigencias.
• Un pozo bien diseñado depende de un buen estudio hidrogeológico.
• La sobreexplotación puede secar manantiales y encarecer el bombeo.

⇒ HIDROCARBUROS: TRAMPA Y SONDEO

El petróleo y el gas necesitan varias condiciones para acumularse: roca madre, roca almacén, roca sello y una trampa geológica que impida su fuga.
El sondeo verifica si la estructura que parecía favorable realmente contiene hidrocarburos. Es decir, la geología señala la posibilidad, pero la perforación confirma la realidad.



Sondeo con petróleo



→ puntos Importantes:

• La trampa geológica es imprescindible para retener petróleo o gas.
• Sin sondeo, una estructura solo es una hipótesis.
• La exploración de hidrocarburos depende de conocer bien el subsuelo.

⇒ POZOS DE PETRÓLEO Y GAS

Los pozos de petróleo y gas permiten extraer fluidos acumulados en profundidad. Son obras muy complejas porque trabajan con altas presiones, materiales agresivos y gran profundidad.

La geología es esencial para decidir dónde perforar, cómo entubar, cómo evitar fugas y cómo proteger acuíferos atravesados durante la perforación.

Pozos de petróleo



Pozos de gas



→ puntos Importantes:

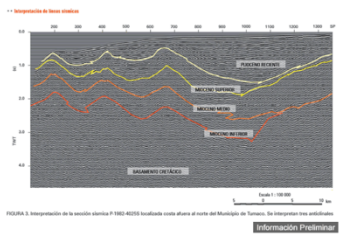
• Un pozo conecta la superficie con el yacimiento profundo.
• Su diseño depende de la estructura y presión del subsuelo.
• La seguridad de la perforación es una cuestión geológica e ingenieril.

⇒ SÍSMICA DE REFLEXIÓN Y REGISTRO DE SONDEO

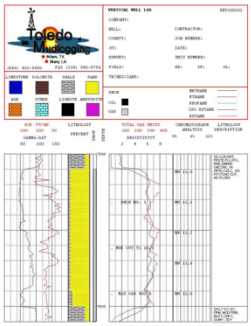
La sísmica de reflexión da una imagen indirecta del subsuelo, mientras que el registro de sondeo proporciona datos reales obtenidos durante la perforación.

La gran fuerza de la exploración moderna está en combinar ambos: la sísmica orienta y el sondeo confirma. Así se reduce la incertidumbre antes de invertir en una explotación.

Interpretación de sísmica de reflexion



Registro de sondeo



→ puntos Importantes:

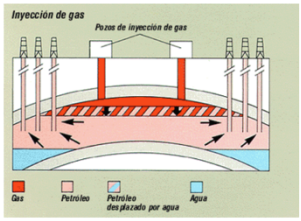
- La sísmica interpreta; el sondeo verifica.
- La combinación de métodos es más fiable que usar uno solo.
- En geología aplicada, contrastar hipótesis es esencial.

⇒ INYECCIÓN DE GAS Y MEJORA DE PRODUCCIÓN

Cuando un yacimiento pierde presión, el petróleo fluye peor hacia los pozos. Una forma de mejorar la producción es inyectar gas para mantener o recuperar esa presión.

Esta técnica exige conocer bien la estructura del yacimiento, la porosidad de la roca y la circulación de fluidos. Si no se entiende la geología del reservorio, la inyección puede ser ineficaz o incluso contraproducente.

Inyección de gas y mejora de producción de petróleo



Inyección de gas (Tarragona)



→ puntos Importantes:

- La presión del yacimiento es clave para extraer petróleo.
- La inyección de gas es una técnica de recuperación mejorada.
- La eficacia del método depende de la geología interna del reservorio.

⇒ DIAPOSITIVA 32. ENERGÍA GEOTÉRMICA

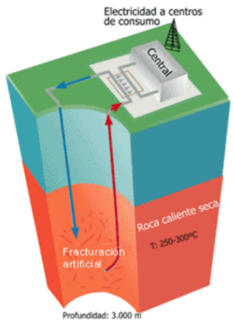
La energía geotérmica aprovecha el calor interno de la Tierra. En algunos lugares aflora de forma evidente, con fumarolas, aguas termales o géiseres; en otros se explota perforando zonas profundas calientes.

Para que un proyecto geotérmico funcione hay que conocer temperatura, circulación de fluidos, fracturas y tipo de roca. La geología decide si el recurso es aprovechable o no.

Energia geotérmica (Rotorua, Nueva Zelanda)



Planta de energía geotérmica profunda



→ puntos Importantes:

- La geotermia es una energía ligada directamente al calor terrestre.
- No toda zona caliente es automáticamente explotable.
- Hace falta estudiar calor, agua y estructuras geológicas.

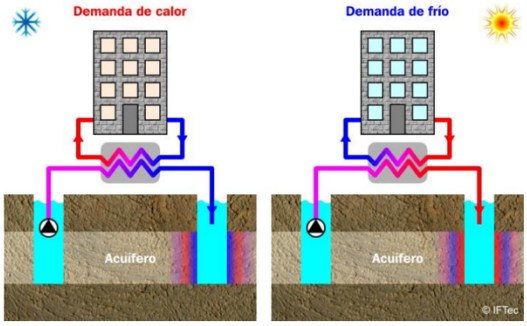
⇒ GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA

La geotermia de baja entalpía no busca temperaturas extremas, sino la estabilidad térmica del subsuelo. Se usa en edificios para calefacción y refrigeración mediante intercambiadores y bombas de calor.

Su interés es que permite ahorrar energía aprovechando que bajo tierra la temperatura cambia menos que en la atmósfera. Aunque no genera electricidad, tiene un gran valor para climatización eficiente.



Funcionamiento de la energía geotérmica de baja entalpía



→ puntos Importantes:

- Baja entalpía significa temperaturas moderadas del subsuelo.
- Es útil sobre todo para climatizar edificios.
- La estabilidad térmica del terreno se convierte en una ventaja energética.

⇒ EDIFICIOS: PENETRÓMETRO DINÁMICO

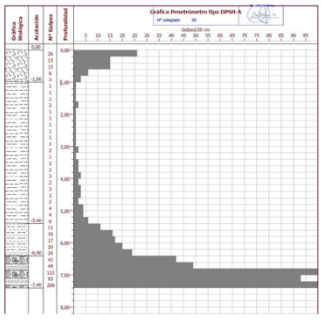
El penetrómetro dinámico mide la resistencia del suelo a la penetración mediante golpes. El número de golpes necesarios da una idea de si el terreno es blando, compacto, relleno o competente para cimentar.

Es una técnica muy usada en estudios preliminares de edificios, porque es relativamente rápida y ayuda a detectar cambios de resistencia con la profundidad.

Penetrómetro dinámico



Registro del penetrómetro



→ puntos Importantes:

- El penetrómetro no sustituye a todos los ensayos, pero orienta muy bien.
- Sirve para valorar si el suelo es adecuado para cimentar.
- Permite detectar capas blandas o rellenos problemáticos.

⇒ SONDEO DE GEOTECNIA Y MUESTRAS

El sondeo geotécnico perfora el terreno para obtener muestras y datos directos del subsuelo. Gracias a él se pueden identificar capas, espesor, agua subterránea y propiedades mecánicas.

Las muestras se estudian después en laboratorio. Así se comprueba si el terreno soportará cargas, si se deformará o si presentará problemas durante la obra.

Sondeo de geotecnia



Muestras de perforación



→ puntos Importantes:

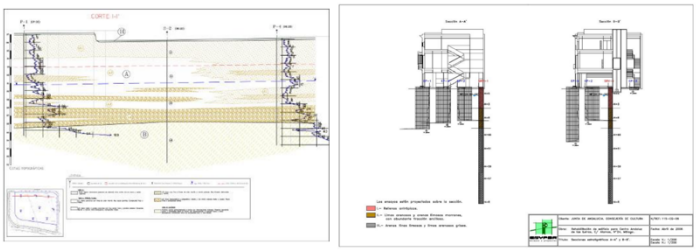
- El sondeo geotécnico es una base imprescindible para diseñar cimentaciones.
- Las muestras permiten ensayos y descripciones precisas.
- Conocer el subsuelo evita daños futuros en los edificios.

⇒ RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL SUBSUELO DE UN EDIFICIO

El reconocimiento del subsuelo integra mapas, sondeos, ensayos y observaciones para saber si el terreno donde se construirá es adecuado.

Su objetivo es detectar problemas antes de construir: agua, rellenos, arcillas expansivas, huecos, fracturas o capas blandas. Cuanto mejor se conoce el terreno, menor es el riesgo de daños posteriores.

Reconocimiento geológico del subsuelo del edificio



→ puntos Importantes:

- El terreno bajo un edificio es tan importante como la estructura visible.
- El reconocimiento geológico es una medida de prevención.
- Un mal subsuelo puede arruinar una buena obra.

⇒ OBRAS LINEALES: ARCILLAS EXPANSIVAS

Las arcillas expansivas cambian de volumen con la humedad: se hinchan al mojarse y se contraen al secarse. Ese movimiento puede provocar grietas, deformaciones y levantamientos en puentes, carreteras o edificios.

El ejemplo del recalce muestra que, cuando aparece el problema, hay que reforzar la cimentación o modificar el apoyo. Por eso es mucho mejor detectar estas arcillas antes de construir.

Pont de Candí (recalce por apoyo en arcillas expansivas)



→ puntos Importantes:

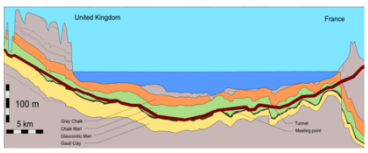
- Las arcillas expansivas son uno de los grandes problemas geotécnicos.
- Sus cambios de volumen pueden dañar seriamente las estructuras.
- La prevención geológica es más eficaz que la reparación posterior.

⇒ DIAPOSITIVA 38. TÚNEL INGLATERRA-FRANCIA Y AGUA SUBTERRÁNEA

La traza de un túnel debe adaptarse a la geología del terreno. No es lo mismo excavar en una roca compacta y seca que en materiales fracturados o con agua.

El agua subterránea es un factor crítico en túneles: puede inundar frentes, aumentar presión, debilitar materiales y encarecer muchísimo la obra. Por eso la geología y la hidrogeología son decisivas en el diseño.

Traza geológica del tunel Inglaterra - Francia



Agua subterránea en túnel



→ puntos Importantes:

- La geología condiciona el trazado del túnel.
- El agua subterránea puede ser uno de los mayores problemas durante la excavación.
- Un buen estudio previo reduce riesgos y sobrecostes.

⇒ ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

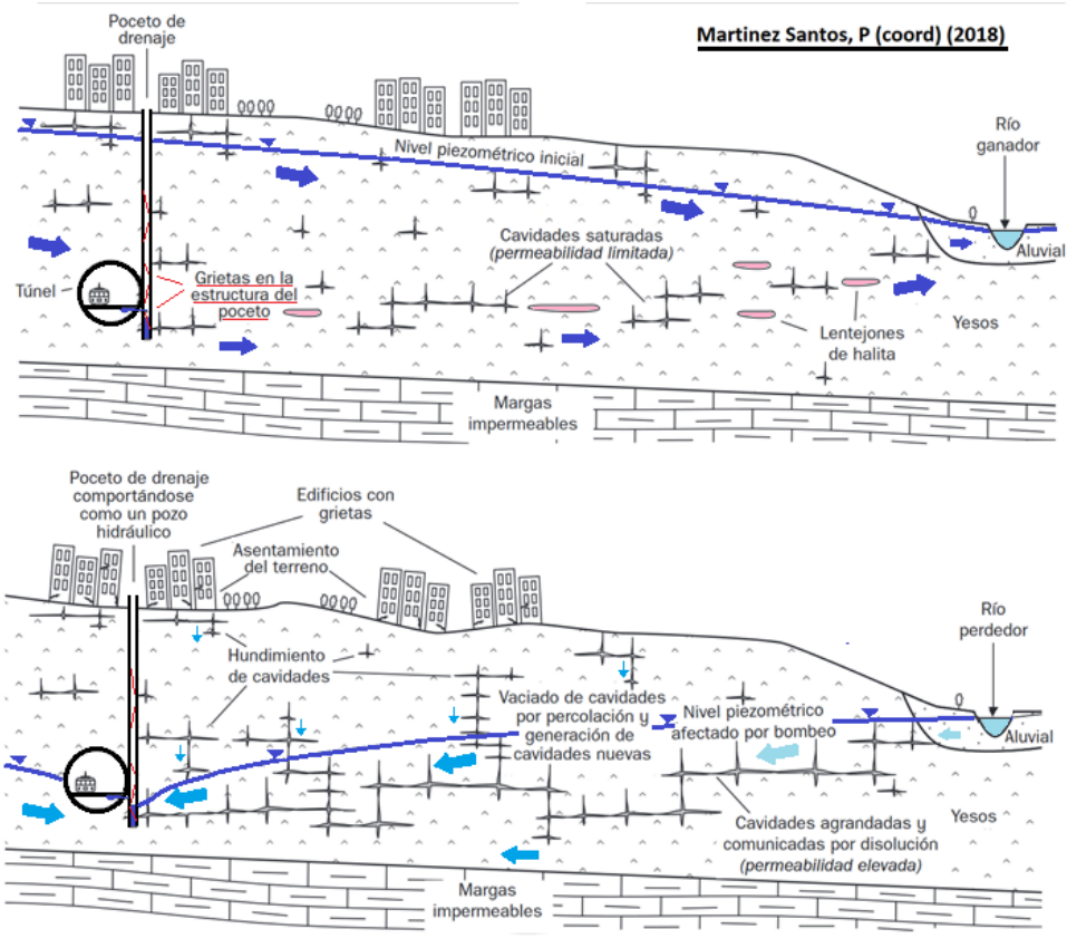
Los espacios subterráneos incluyen túneles, galerías, metros, aparcamientos, minas reutilizadas o almacenes. Todos ellos comparten una exigencia: el terreno debe mantenerse estable y seguro a lo largo del tiempo.

Estudiar un espacio subterráneo implica analizar roca, fracturas, agua, gases, ventilación y esfuerzos. Lo que está bajo tierra requiere tanto control como lo que se construye en superficie, o incluso más.

→ puntos Importantes:

- Bajo tierra, la estabilidad y el agua son factores críticos.
- Los espacios subterráneos exigen estudio continuo, no solo durante la construcción.
- La geología determina qué usos subterráneos son posibles.

⇒ DAÑOS GEOTÉCNICOS EN LA LÍNEA 7 DEL METRO EN COSLADA



Esquema del proceso geotécnico de daños en L-7 del Metro en Coslada

Esta diapositiva muestra que un problema geotécnico no es solo un problema de excavación: puede afectar a toda una infraestructura urbana. Asentamientos, agua, cambios en el terreno o errores en el sostenimiento pueden generar daños serios.

El caso del metro de Coslada sirve para entender que en obras urbanas el margen de error es pequeño: el subsuelo está ocupado por edificios, calles y servicios, y cualquier deformación puede tener consecuencias importantes.

→ puntos Importantes:

- Los daños geotécnicos son una cadena de causas y efectos.
- En ciudad, una pequeña deformación del terreno puede generar grandes problemas.
- La geología urbana exige especial cuidado y vigilancia.

⇒ HUNDIMIENTOS EN TÚNEL

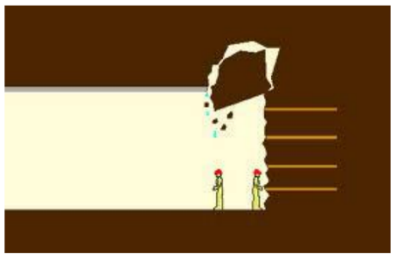
Los hundimientos en túneles suelen estar relacionados con agua, fracturas, terrenos blandos o sostenimiento insuficiente. El frente de avance es la zona más delicada, porque es donde el terreno acaba de quedar libre y todavía no está estabilizado del todo.

Por eso las excavaciones subterráneas se controlan paso a paso, colocando sostenimientos y midiendo deformaciones. Un túnel no se excava solo "abriendo hueco"; se excava controlando continuamente el comportamiento del terreno.

Hundimientos en túnel



Frente de avance del túnel



→ puntos Importantes:

- El frente de avance es el punto crítico de una excavación subterránea.
- El sostenimiento sirve para estabilizar el terreno recién excavado.
- Un hundimiento suele ser el resultado de varios factores combinados.

⇒ HUNDIMIENTOS Y DESLIZAMIENTO EN OBRAS DEL AVE

Las líneas de alta velocidad necesitan gran estabilidad. Un hundimiento o un deslizamiento puede alterar la geometría de la vía y comprometer la seguridad ferroviaria.

Los deslizamientos ocurren cuando una masa de terreno pierde estabilidad y se mueve ladera abajo. Pueden estar favorecidos por lluvias, excavaciones, vibraciones o debilidad natural del terreno.

Hundimiento en obras del AVE



Deslizamiento sobre la vía



→ puntos Importantes:

- La seguridad ferroviaria depende de la estabilidad del terreno a lo largo de kilómetros.
- Un deslizamiento puede afectar rápidamente a una infraestructura lineal.
- La geología ayuda a prever y corregir zonas inestables.

⇒ CONDUCCIONES: OLEODUCTOS Y CANALES

Las conducciones atraviesan terrenos muy distintos y deben evitar zonas inestables. Un oleoducto o un canal pueden romperse si una ladera se mueve o si el terreno se hunde.

La geología aplicada ayuda a decidir el trazado más seguro. A veces no se trata de reforzar, sino de evitar directamente las zonas con mayor riesgo.

Oleoducto evitando laderas inestables (Colombia)



Deslizamiento en un canal de riego



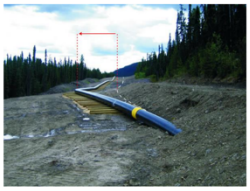
→ puntos Importantes:

- Una conducción es tan segura como el terreno que atraviesa.
- Las laderas inestables son uno de los principales riesgos para tuberías y canales.
- Elegir bien el trazado es una decisión geológica.

⇒ GASEODUCTOS EN ZONAS INESTABLES

Un gaseoducto deformado por el movimiento de una ladera puede sufrir fugas o roturas con consecuencias graves.

Desplazamiento de un gaseoducto en ladera inestable



Gaseoducto salvando una zona inestable



La diapositiva muestra tanto el problema como una solución: salvar una zona inestable modificando el diseño.

Esto enseña algo importante: la geología aplicada no solo identifica peligros, también propone alternativas de trazado, apoyo o estabilización.

→ puntos Importantes:

• La inestabilidad de laderas puede afectar directamente a un gaseoducto.
• Las soluciones suelen combinar ingeniería y geología.
• Es mejor adaptar la obra al terreno que forzar el terreno a la obra.

⇒ NIVEL FREÁTICO EN SÓTANOS Y BODEGAS

Si el nivel freático sube, el agua puede entrar en sótanos y espacios subterráneos, generando humedades, filtraciones y problemas estructurales.

La bodega subterránea es un ejemplo contrario: aprovecha condiciones favorables del subsuelo, como temperatura estable y humedad adecuada. El mismo medio subterráneo puede ser problema o ventaja, según se conozca y se controle.

Ascenso del nivel freático en un sótano



Bodega subterránea



→ puntos Importantes:

• El agua subterránea puede dañar construcciones enterradas.
• Algunos usos subterráneos se benefician de condiciones geológicas estables.
• Todo depende de estudiar bien el comportamiento del terreno y del agua.

⇒ USOS ESPECIALES DE ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

Las minas de sal, polvorines y otras cavidades pueden reutilizarse para fines muy distintos. Bajo tierra hay ventajas como temperatura constante, protección física y aislamiento.

Pero esos usos solo son posibles si la estabilidad del terreno, la ventilación y el control del agua están garantizados. Un espacio subterráneo no puede reutilizarse sin un estudio geológico previo.

Hospital de enfermos bronquiales (mina de sal de Solotyno, Ucrania)



Polvorín militar Hontoria de la Cantera (Burgos)



→ puntos Importantes:

• Los espacios subterráneos pueden tener usos sanitarios, militares o industriales.
• La estabilidad y la ventilación son esenciales para su reutilización.
• La geología no solo previene riesgos: también abre oportunidades.

⇒ DIAPOSITIVA 47. GEOTECNIA PARA AEROPUERTOS





Las pistas de un aeropuerto deben soportar cargas repetidas y muy importantes. Además, necesitan superficies muy regulares y buen drenaje, porque cualquier deformación puede afectar a la seguridad de aterrizaje y despegue.

La geotecnia estudia el terreno de apoyo, la compactación de materiales y el comportamiento a largo plazo. Un aeropuerto mal apoyado sobre el terreno es una infraestructura insegura y costosa de mantener.

→ puntos Importantes:

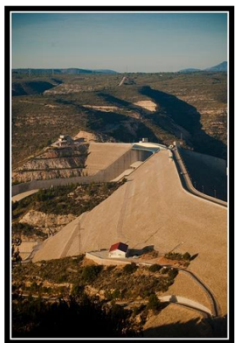
• Los aeropuertos exigen una geotecnia muy rigurosa.
• Las deformaciones pequeñas pueden tener consecuencias importantes.
• El drenaje y la compactación del terreno son factores clave.

⇒ MATERIALES GEOLÓGICOS PARA PRESAS

Las presas necesitan distintos tipos de materiales según la parte de la obra: rocas resistentes, materiales impermeables o elementos drenantes. La geología ayuda a elegirlos y a saber si son adecuados.

No se trata solo de construir la presa, sino de asegurar que el terreno y los materiales soportarán agua, presión y tiempo. Una mala elección puede comprometer toda la obra.





→ puntos Importantes:

- Las presas dependen de la calidad geológica del terreno y de los materiales usados.
- Cada parte de la obra requiere propiedades distintas.
- La geología influye en seguridad, coste y durabilidad.

⇒ FILTRACIONES Y ESTRIBOS DE PRESA

Una filtración es una pérdida de agua a través del terreno. Puede deberse a fracturas, karst, fallas o materiales permeables, y convertirse en un problema serio de seguridad.

Los estribos son los apoyos laterales de la presa. Si el estribo no resiste o deja pasar demasiada agua, la presa puede presentar fallos graves. Por eso el estudio geológico del entorno es imprescindible.

Filtraciones en el embalse (Montejaque)



Resistencia del estribo de la presa (Presa del Atazar)



→ puntos Importantes:

- Las filtraciones son uno de los problemas clásicos de presas y embalses.
- Los estribos deben ser resistentes y estables.
- El agua y la roca deben estudiarse como un sistema conjunto.

⇒ ESCOLLERA Y AMPLIACIÓN DE PUERTOS

La escollera es una protección de grandes bloques de roca frente al oleaje. Su eficacia depende del tamaño de los bloques, de su colocación y del comportamiento del mar.

En ampliaciones de puertos se realizan sondeos para conocer el fondo, la resistencia de los materiales y la profundidad de la roca. Sin ese estudio, el diseño portuario sería inseguro.

Escollera de piedra natural



Sondeo para ampliación de un puerto

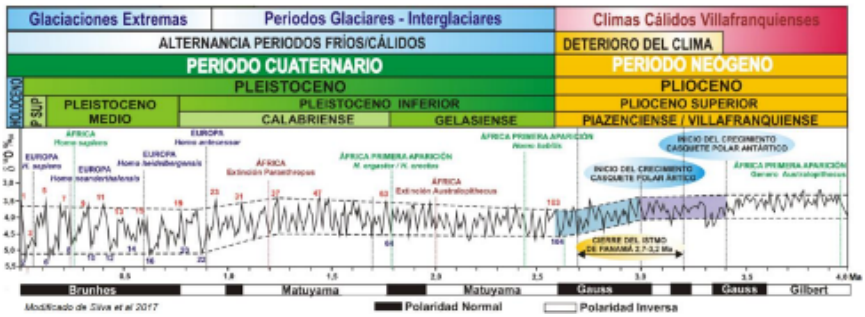


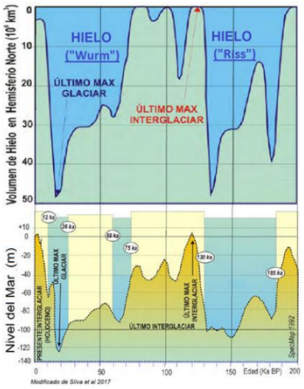
→ puntos Importantes:

- La escollera protege frente a oleaje y erosión marina.
- El terreno submarino también necesita investigación geológica.
- Las obras costeras dependen de la geología y de la dinámica litoral.

⇒ INVESTIGACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

La geología investiga el cambio climático a través del registro del pasado: sedimentos, fósiles, hielos, paleosuelos o cambios del nivel del mar. Gracias a ello se pueden comparar climas antiguos y actuales. Esto es muy importante porque da perspectiva temporal, y permite saber qué cambios son naturales, con qué ritmo han ocurrido antes y cómo se diferencian de los cambios actuales.





→ puntos Importantes:

- La geología aporta una escala temporal muy larga al estudio del clima.
- El pasado es una clave para entender el presente.
- El cambio climático también se investiga con rocas y sedimentos.

⇒ RIESGOS GEOLÓGICOS: INUNDACIONES Y DUNAS

Las inundaciones son riesgos geológicos cuando afectan a personas o bienes. Su gravedad depende no solo de la lluvia, sino también del terreno, del cauce y de cómo se ocupa el espacio inundable.

La dinámica de dunas también puede ser un riesgo si la arena avanza sobre carreteras, cultivos o viviendas. Un proceso natural se convierte en riesgo cuando entra en contacto con la actividad humana.

Inundaciones



Dinámica de dunas



→ puntos Importantes:

- Un riesgo geológico combina proceso natural y exposición humana.
- No basta con estudiar el fenómeno; hay que estudiar dónde y a quién afecta.
- La prevención depende de conocer bien el territorio.

⇒ DESLIZAMIENTO Y LICUEFACCIÓN EN SEÍSMOS

Los deslizamientos son movimientos de masa en laderas y pueden activarse por lluvias, terremotos o excavaciones. La licuefacción ocurre cuando sedimentos saturados pierden resistencia durante un seísmo y se comportan casi como un líquido.

Ambos procesos muestran que el terreno puede cambiar bruscamente de comportamiento. Una ladera aparentemente estable o un suelo aparentemente firme pueden volverse peligrosos en segundos.

Deslizamiento



Licuefacción en seísmos



→ puntos Importantes:

- Los terremotos pueden desencadenar problemas de terreno además de vibraciones.
- La licuefacción afecta especialmente a sedimentos sueltos y saturados.
- La estabilidad depende del material, del agua y del desencadenante.

⇒ VERTEDERO Y BALSA MINERA

Los vertederos de residuos peligrosos deben diseñarse para evitar que sustancias tóxicas lleguen al suelo o al agua. Las balsas mineras almacenan materiales finos y aguas de proceso, y requieren vigilancia constante.

El ejemplo de Aznalcóllar recuerda que un fallo en este tipo de instalaciones puede tener consecuencias ambientales gravísimas. La geología ayuda a escoger emplazamientos seguros y a controlar su comportamiento.

Vertedero de residuos peligrosos (Nerva, Huelva)



Reparación de balsa minera (Aznalcollar, Huelva)



→ puntos Importantes:

- Los residuos peligrosos exigen aislamiento y control geológico.
- Una balsa minera mal diseñada o mal mantenida puede fallar.
- La prevención ambiental depende mucho del conocimiento del terreno.

⇒ VERTEDEROS Y CONTROL DE LIXIVIADOS

Los lixiviados son líquidos contaminantes que se generan cuando el agua atraviesa residuos. Si no se recogen y controlan, pueden infiltrarse al suelo y contaminar acuíferos.

La diferencia entre un vertedero bien diseñado y uno deficiente está, en gran parte, en el control de esos lixiviados mediante impermeabilización, drenaje y vigilancia.

Vertedero sin control de los lixiviados



Vertedero con control de los lixiviados



→ puntos Importantes:

- El lixiviado es uno de los principales riesgos de un vertedero.
- La impermeabilización protege el subsuelo y el agua subterránea.
- Un vertedero seguro necesita control continuo, no solo construcción inicial.

⇒ SONDEO EN VERTEDERO

Los sondeos en vertedero sirven para conocer el espesor de residuos, la presencia de gases, la composición de los materiales y el estado del suelo subyacente.

También permiten instalar puntos de control para medir el nivel y la calidad del agua subterránea. Es decir, no solo se investiga el vertedero; también se vigila su influencia en el entorno.

Sondeo en vertedero





→ puntos Importantes:

- El control ambiental necesita mediciones directas del subsuelo.
- Los sondeos ayudan a detectar contaminación oculta.
- La vigilancia debe mantenerse incluso después del cierre del vertedero.

⇒ ALMACENAMIENTO PROFUNDO DE RESIDUOS RADIACTIVOS

Los residuos radiactivos requieren aislamiento durante periodos muy largos. Por eso se estudian almacenamientos profundos en formaciones geológicas muy estables y poco permeables.

La geología es aquí fundamental: debe garantizar que la roca actúe como barrera natural y que el lugar siga siendo seguro durante muchísimo tiempo. Es una de las aplicaciones más exigentes de la geología ambiental.

Almacenamiento profundo de residuos radiactivos (Japón)



Almacenamiento profundo de residuos radiactivos (USA)



→ puntos Importantes:

- No basta con guardar el residuo: hay que aislarlo a muy largo plazo.
- La roca funciona como barrera geológica natural.
- La elección del emplazamiento es una decisión geológica crítica.

⇒ REHABILITACIÓN MINERA Y PARQUE MINERO

La rehabilitación de una mina consiste en reducir impactos, estabilizar taludes, restaurar suelos y, cuando es posible, dar un nuevo uso al espacio.

El ejemplo del parque minero muestra que un área degradada puede transformarse en patrimonio cultural, turístico y educativo si se gestiona correctamente.

Mina de carbón de Puertollano rehabilitada



Parque minero de Almadén



→ puntos Importantes:

- La restauración minera es una parte esencial de la gestión ambiental.
- Un espacio degradado puede recuperarse y adquirir nuevo valor social.
- La geología también participa en conservación y divulgación.

⇒ CONTROL DE ACUÍFEROS

Controlar un acuífero significa medir cómo evoluciona el nivel del agua, cuánto se extrae y cómo cambia su calidad. Sin ese seguimiento es imposible saber si se está sobreexplotando.

La gráfica del nivel freático de un acuífero sobreexplotado muestra que el problema no se detecta a simple vista, sino mediante observaciones repetidas durante años.

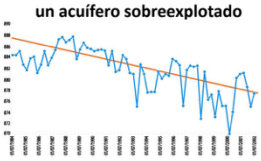


MEDIO AMBIENTE
(gestión ambiental)

Control de acuíferos



Evolución del nivel freático de un acuífero sobreexplotado



→ puntos Importantes:

- Un acuífero necesita seguimiento a largo plazo.
- El nivel freático es un indicador clave de su estado.
- La sobreexplotación puede detectarse antes de que los daños sean irreversibles.

⇒ TABLAS DE DAIMIEL Y TURBA ARDIENDO

Las Tablas de Daimiel dependen del agua subterránea. Si baja demasiado el nivel freático, el humedal se seca, pierde biodiversidad y deja de funcionar como ecosistema inundable.

La turba ardiendo es una señal extrema de degradación: al secarse, la materia orgánica acumulada puede combustionar. Es un ejemplo muy claro de cómo la alteración hidrogeológica afecta al medio natural.

Tablas de Daimiel inundadas



Turba de Daimiel ardiendo



→ puntos Importantes:

- Los humedales pueden depender directamente del agua subterránea.
- Secar un acuífero puede destruir ecosistemas superficiales.
- La turba ardiendo indica una alteración hidrológica grave.

⇒ ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Analizar la calidad del agua subterránea significa medir sales, nitratos, metales, pH y otros parámetros que determinan si el agua es apta o está contaminada.

La calidad no siempre se aprecia a simple vista. Un agua aparentemente limpia puede contener compuestos problemáticos, por lo que el análisis químico es imprescindible.

Análisis de calidad del agua subterránea





CAASA
CENTRO DE ANÁLISIS DE AGUAS S.A.

ENAC
ENSAYOS
Nº 486 / LE1065

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO Nº 000029696

Solicitado por: UNIVERSIDAD DE ALCALA. ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA C/ CIFUENTES, 28 19003 GUADALAJARA ()

Denominación de la muestra: SALINA DE ARRIBA (SAELICES DE LA SAL)

Tipo de muestra: **Agua continental** — Nº de muestra: **000027355**

Tomada por: **El cliente**

Fecha muestreo: **9/10/2009** — Fecha recepción: **23/10/2009** — Inicio análisis: **23/10/2009** — Fin análisis: **04/11/2009**

DETERMINACION	RESULTADO	INCERT.	METODOLOGIA
AMONIO	0,44 mg/l	±0,01	Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-AMON)
*ANHIDRIDO SILICICO	5,19 mg/l		Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-SILI)
*BICARBONATOS	192,78 mg/l		Acidimetría, con anaranjado de metilo (PIE-ALCA)
*BORO	4,78 mg/l		Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-BORO)
*CALCIO	1039,70 mg/l		Complexometría (PIE-CALC)
*CARBONATOS	< 5 mg/l		Acidimetría, con fenolftaleína (PIE-ALCA)
*CLORUROS	109774,37 mg/l		Cromatografía iónica. (PIE-CION)
CONDUCTIVIDAD 20 ºC	165100 µS/cm	±3302	Electrometría (PIE-COND)
FOSFATOS	< 0,05 mg P-PO4 3-/l		Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-FOSF)
*HIDROXIDOS	0,00 mg/l		Volumetría (PIE-ALCA)
*HIERRO	3,13 mg/l		Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-FeAA)
*MAGNESIO	1886,67 mg/l		Complexometría (PIE-DURE)
*MANGANESO	0,44 mg/l		Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-MnAA)
*NITRATOS	<10 mg/l		Cromatografía iónica. (PIE-CION)
*NITRITOS	<1 mg/l		Cromatografía iónica. (PIE-CION)
pH	6,86 ud. de pH	±0,34	Electrometría (PIE-PH)
*POTASIO	611,27 mg/l		Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-NaKA)
*SODIO	69186,76 mg/l		Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-NaKA)
*SULFATOS	4367,27 mg/l		Cromatografía iónica. (PIE-CION)

6 de noviembre de 2009

Fdo.: Susana Avilés Espiñeiro
Lcda. en Ciencias Químicas
Directora Técnica del Laboratorio de CAASA

Página 1/1

61

→ puntos Importantes:

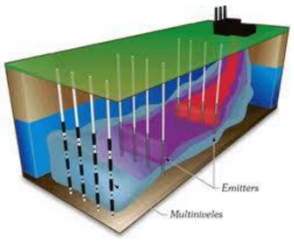
- Cantidad de agua y calidad de agua son cuestiones distintas.
- El análisis químico permite detectar contaminación invisible.
- La calidad condiciona el uso posible del agua.

⇒ CONTROL DE CONTAMINACIÓN HIDROGEOLÓGICA

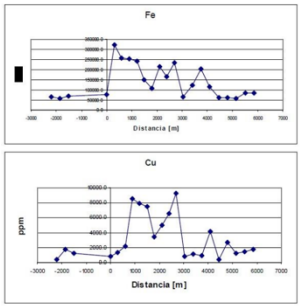
Los sondeos de control hidrogeológico se usan para seguir una contaminación en el subsuelo. Permiten conocer hacia dónde se mueve el agua y cómo cambia la concentración de contaminantes.

Esto es esencial porque la contaminación subterránea no suele quedarse quieta. Puede desplazarse lentamente y afectar a pozos o manantiales lejanos si no se controla a tiempo.

Sondeos para el control de la contaminación hidrogeológica



Control de calidad de agua



→ puntos Importantes:

- El subsuelo también puede transportar contaminación.
- Los sondeos de control permiten seguir la evolución del problema.
- La prevención y el seguimiento son claves en hidrogeología ambiental.

⇒ DIAPLAGOS DE COVADONGA Y GUÍAS GEOLÓGICAS

La geología no solo se aplica a recursos y riesgos; también tiene una dimensión educativa. Los Lagos de Covadonga son un paisaje cuyo origen geológico puede explicarse al visitante mediante guías y materiales divulgativos.

Comprender un paisaje geológico ayuda a valorarlo y protegerlo. La divulgación es, por tanto, una forma de gestión del patrimonio natural.

Lagos de Covadonda



→ puntos Importantes:

• La geología también se enseña en el paisaje.
• Las guías geológicas ayudan a interpretar lo que se ve.
• Conocer un lugar aumenta su valor cultural y científico.

⇒ TIMANFAYA Y EXPOSICIONES DE GEOLOGÍA

Timanfaya es un paisaje volcánico excepcional. Sus coladas, conos y materiales permiten explicar procesos eruptivos recientes de manera muy visual.

Las exposiciones de geología cumplen una función semejante: acercan al público procesos que, sin explicación, pueden pasar desapercibidos. La geología aplicada incluye también esta labor educativa.

Parque Nacional Timanfaya



Exposiciones de geología



→ puntos Importantes:

• El patrimonio volcánico es una herramienta didáctica de gran valor.
• La divulgación geológica hace comprensible el paisaje.
• Proteger también significa explicar.

⇒ PUNTO DE INTERÉS GEOLÓGICO Y PARQUE DE CABÁRCENO

Un punto de interés geológico es un lugar con valor científico, didáctico o paisajístico especial. Puede ser una formación, una mina antigua, una estructura tectónica o un paisaje singular.

Cabárceno es un buen ejemplo de espacio donde geología, uso humano y valor educativo se combinan. La gestión del territorio puede aprovechar ese valor sin destruirlo si se hace con criterio.

Punto de interés geológico



Parque de Cabarceno



→ puntos Importantes:

• El patrimonio geológico también necesita protección y planificación.
• No todo valor geológico está en un laboratorio o una mina activa; también está en el paisaje.
• La geología aplicada puede servir para conservar y divulgar.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

La geología aplicada utiliza técnicas de investigación para conocer el terreno y después emplea ese conocimiento en recursos, ingeniería civil y medio ambiente. El mensaje general del tema es que el terreno debe estudiarse antes de explotarlo, construir sobre él o protegerlo.

→ puntos Importantes:

• Las técnicas de campo, laboratorio y gabinete se complementan y no se sustituyen.
• Los recursos geológicos solo pueden aprovecharse bien si se conoce su origen, volumen y estructura.
• Las obras civiles necesitan adaptarse a la realidad geológica del subsuelo.
• La gestión ambiental usa la geología para prevenir riesgos, controlar contaminación y conservar patrimonio natural.

Tema 16: LA HIDROSFERA: EL CICLO GEOLÓGICO DEL AGUA

◈ La hidrosfera es el conjunto de todas las aguas de la Tierra: océanos, mares, ríos, lagos, hielos, vapor de agua atmosférico y aguas subterráneas. Este tema se centra en su movimiento continuo, es decir, en el ciclo geológico del agua.

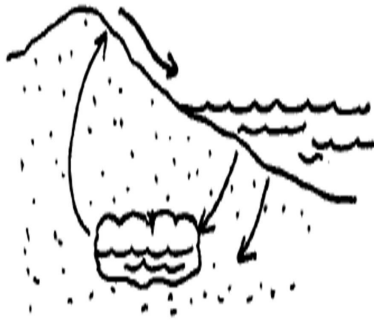
La idea principal es que el agua no está quieta, sino que circula constantemente entre atmósfera, superficie, suelo y subsuelo. Ese movimiento explica lluvias, escorrentía, infiltración, recarga de acuíferos, caudales de ríos y composición química del agua.

→ puntos Importantes:

- La hidrosfera incluye toda el agua del planeta, en estado líquido, sólido y gaseoso.
- El ciclo del agua conecta atmósfera, superficie, suelo y subsuelo.
- Comprender este ciclo es fundamental para hidrología, hidrogeología y gestión del agua.

⇒ ARISTÓTELES Y LAS PRIMERAS IDEAS SOBRE EL ORIGEN DE LOS RÍOS

Aquí se recuerda una explicación antigua del origen del agua de los ríos. Aristóteles pensaba que el agua marina se introducía en el subsuelo, se desalinizaba y después se condensaba como vapor de agua subterránea, alimentando de esta manera manantiales y ríos.



Hoy sabemos que esa explicación no es correcta, pero históricamente es importante porque muestra que durante siglos no se entendió bien el origen del ciclo del agua. La hidrología moderna tardó mucho en demostrar que la precipitación atmosférica era la fuente principal de alimentación de los ríos.

→ puntos Importantes:

- Las primeras teorías sobre el agua eran más filosóficas que cuantitativas.
- Aristóteles no conocía todavía el balance entre precipitación, escorrentía e infiltración.
- La hidrología moderna nace cuando se empieza a medir y comparar cantidades reales de agua.

⇒ ORIGEN DE LA HIDROLOGÍA MODERNA

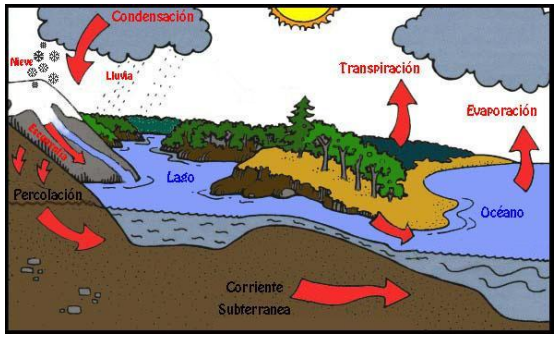
El origen, circulación y ciclo del agua no quedaron claros hasta finales del siglo XVII. ***Pierre Perrault***, considerado uno de los fundadores de la hidrología, demostró mediante balances hidrológicos que la lluvia caída sobre una cuenca era suficiente para explicar el caudal del río.

Esto fue una revolución científica porque introdujo la idea clave de medir. A partir de entonces otros científicos empezaron a cuantificar evaporación, infiltración profunda y caudales de manantiales. Es decir, la hidrología pasó de las hipótesis a los datos.

→ puntos Importantes:

- Pierre Perrault mostró que las precipitaciones podían explicar las aportaciones de los ríos.
- El balance hidrológico compara entradas, salidas y variaciones de almacenamiento.
- La hidrología moderna nace cuando se empieza a cuantificar el agua.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO



Aquí entramos en el esquema general del ciclo hidrológico. El agua se evapora desde océanos, suelos y vegetación, se incorpora a la atmósfera, se condensa, precipita y vuelve a circular por la superficie o por el subsuelo.

El esquema permite ver que el ciclo es continuo y que intervienen varios procesos enlazados: evaporación,

condensación, precipitación, escorrentía e infiltración. La hidrología estudia precisamente esas transferencias entre reservorios.

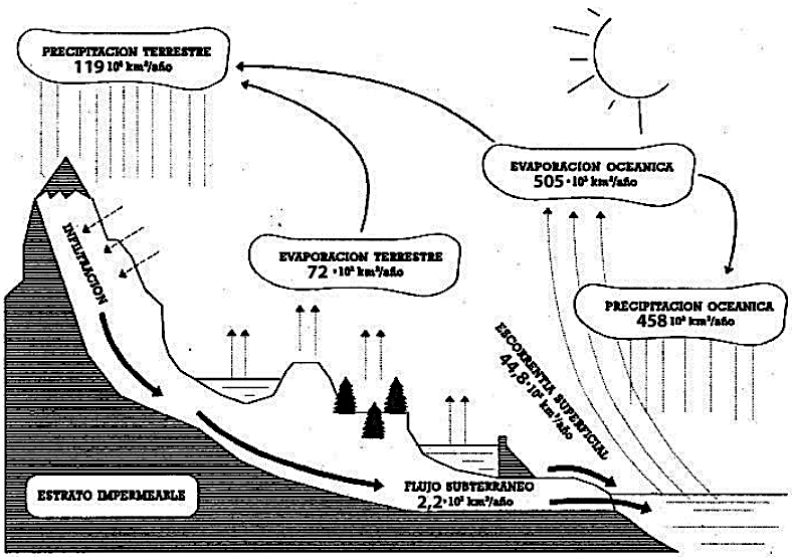
→ puntos Importantes:

- El ciclo hidrológico es un circuito continuo, no una secuencia aislada de fenómenos.
- Cada flecha del esquema representa un proceso de transferencia de agua.
- La atmósfera, la superficie y el subsuelo están conectados.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO: RESERVORIOS Y FLUJOS

Esta imagen amplía el esquema del ciclo hidrológico y ayuda a visualizar los grandes reservorios de agua y los movimientos entre ellos. Los océanos son el principal almacén, pero también intervienen nubes, ríos, lagos, nieves, glaciares, suelos y acuíferos.

La utilidad de este esquema es que muestra que el agua puede permanecer tiempos muy distintos en cada lugar: poco tiempo en la atmósfera, más en los ríos, mucho más en el hielo o en algunos acuíferos.



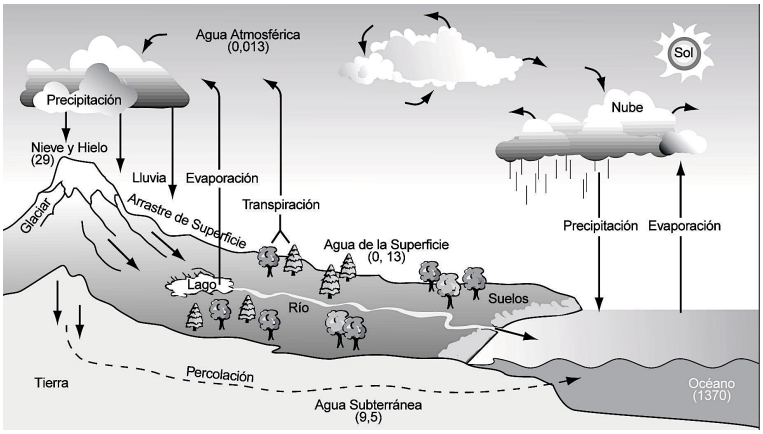
→ puntos Importantes:

- No toda el agua del ciclo se mueve con la misma rapidez.
- Los océanos son el gran almacén principal del planeta.
- Ríos, hielo, suelo y acuíferos forman parte del mismo sistema general.

⇒ EL CICLO HIDROLÓGICO: VISIÓN INTEGRADA

Esta otra diapositiva continúa desarrollando la visión global del ciclo del agua. Su función es reforzar que no se debe estudiar solo la lluvia o solo los ríos, sino todo el sistema de forma integrada.

En geología e hidrología esto es esencial, porque una alteración en una parte del ciclo afecta a las demás. Por ejemplo, menos infiltración implica menos recarga, menos agua subterránea y a menudo menos caudal base en los ríos.



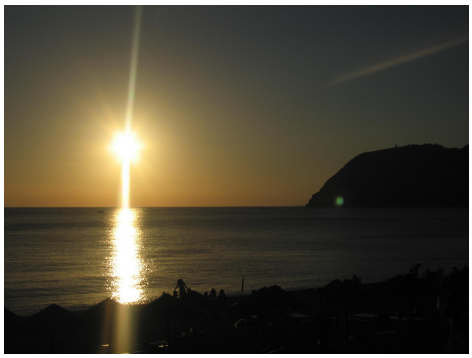
→ puntos Importantes:

- El ciclo del agua debe entenderse como un sistema completo.
- Los distintos procesos del ciclo están interrelacionados.
- Cambios en una parte del sistema repercuten en otras.

⇒ MOTORES DEL CICLO HIDROLÓGICO

Esta pregunta es clave: ¿**qué mueve el ciclo del agua**? El agua no circula sola; necesita motores físicos que impulsen los cambios de estado y los desplazamientos.

Los dos grandes motores del ciclo son la energía solar y la gravedad. El Sol proporciona la energía necesaria para evaporar agua. La gravedad hace caer la precipitación y mueve el agua ladera abajo, hacia ríos, acuíferos y océanos.



→ puntos Importantes:

• Sin energía solar no habría evaporación suficiente.

• Sin gravedad no habría caída de lluvia ni escorrentía hacia zonas bajas.

• El ciclo del agua depende de la combinación de ambos motores.

⇒ EL SOL COMO MOTOR DEL CICLO

El Sol es el motor energético del ciclo hidrológico porque calienta océanos, continentes y vegetación, favoreciendo la evaporación y la transpiración.

Es importante entender que el Sol no mueve el agua directamente como una bomba, sino que aporta energía para que el agua cambie de estado y pase a la atmósfera en forma de vapor.

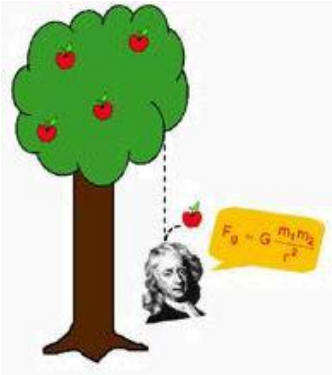
→ puntos Importantes:

• La energía solar impulsa evaporación y evapotranspiración.

• El paso del agua a vapor necesita calor.

• El Sol es el motor energético del ciclo.

⇒ LA GRAVEDAD COMO MOTOR DEL CICLO



La gravedad es el otro gran motor del ciclo hidrológico. Hace caer la lluvia y la nieve, impulsa la escorrentía hacia zonas más bajas y favorece la infiltración vertical del agua hacia el subsuelo.

Esto también explica que el agua subterránea se mueva desde zonas de mayor energía hidráulica hacia manantiales, ríos o el mar. Sin gravedad el agua no drenaría ni circularía de la forma en que lo hace en la Tierra.

→ puntos Importantes:

• La gravedad controla la caída de la precipitación.

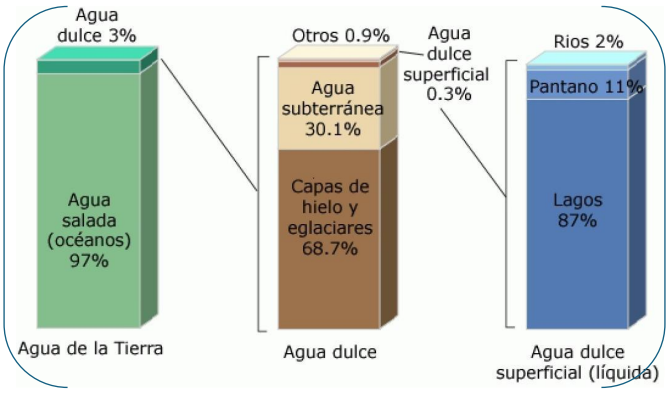
• La escorrentía superficial y parte del flujo subterráneo dependen de ella.

• Es el gran motor mecánico del ciclo hidrológico.

⇒ DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA HIDROSFERA

Aquí vemos como se reparte el agua del planeta. Aunque solemos pensar que hay muchísima agua, la mayor parte es salada y está en océanos y mares.

La fracción de agua dulce es pequeña, y dentro de ella no toda está fácilmente disponible: mucha se encuentra en glaciares, nieves permanentes o aguas subterráneas profundas. Por eso la disponibilidad real de agua dulce accesible es mucho menor de lo que parece.



→ puntos Importantes:

• La mayor parte del agua terrestre es salada.
• El agua dulce es una fracción pequeña del total.
• El agua fácilmente disponible para uso humano representa solo una parte mínima.

⇒ APOYO VISUAL

En este cuadro se complementa la distribución del agua en la hidrosfera. Lo importante aquí es distinguir entre agua total, agua dulce y agua realmente accesible.

Los esquemas o gráficos de distribución ayudan a comparar proporciones y a ver que el agua útil para consumo, riego o ecosistemas superficiales es solo una pequeña parte del total planetario.

	(1) Área ($km^2 \times 10^3$)	(2) Volumen ($km^3 \times 10^3$)	(3) Altura equivalente (m)	(4) % del agua total	(5) Tiempo de residencia medio
Océanos	362 000	1 350 000	2700	97,6	3000 años
Tierras emergidas					
Ríos (volumen instantáneo)	—	1,7	0,003	0,0001	15-20 días
Lagos de agua dulce	825	125	0,25	0,009	10 años
Lagos agua salada	700	105	0,20	0,008	150 años
Humedad del suelo en la zona no saturada	131 000	150	0,30	0,01	semanas a años
Casquete de hielo y glaciares	17 000	26 000	50	1,9	miles de años
Agua subterránea	131 000	7000	14	0,5	decenas a miles de años
Total en las tierras emergidas	148 000	33 900	65	2,4	—
Atmósfera (vapor de agua)	510 000	13	0,025	0,001	8-10 días
Total	510 000	1 384 000	2750	100	—

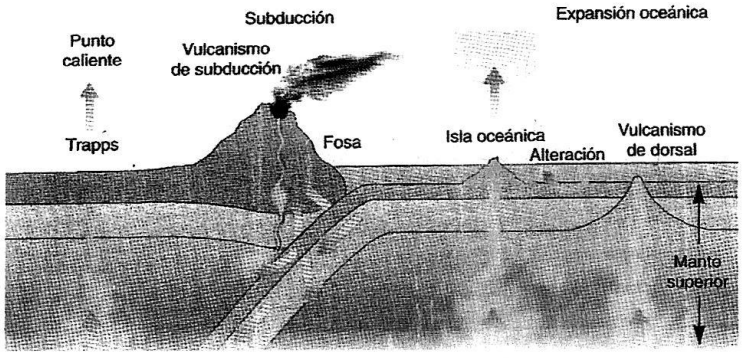
→ puntos Importantes:

• No toda el agua del planeta está disponible para uso humano.
• Las representaciones gráficas ayudan a comparar cantidades muy desiguales.
• La gestión del agua debe hacerse teniendo presente esa distribución real.

⇒ DEL CICLO HIDROLÓGICO INTERNO

Aquí se presenta el ciclo hidrológico interno, es decir, la parte del ciclo que ocurre dentro del suelo y del subsuelo. Una vez que el agua llega al terreno, una parte se infiltra, otra queda retenida y otra recarga acuíferos.

Este ciclo interno es fundamental porque conecta precipitación, humedad del suelo, aguas subterráneas y caudal de base de los ríos. Sin él no se entendería ni la recarga de acuíferos ni la persistencia del agua en épocas secas.

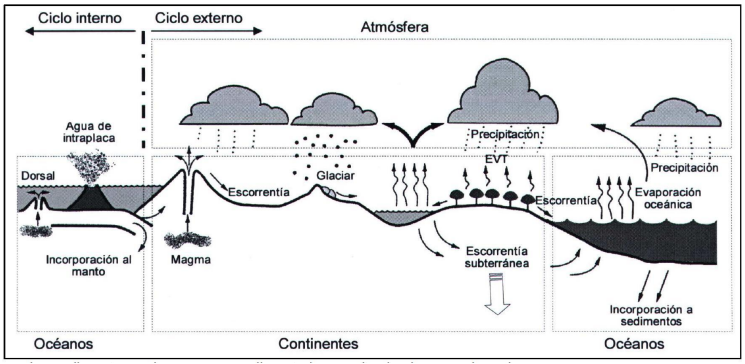


→ puntos Importantes:

• El ciclo interno se desarrolla en suelo y subsuelo.
• Relaciona infiltración, retención en el suelo y recarga de acuíferos.
• Es clave para comprender aguas subterráneas y disponibilidad de agua en estiaje.

⇒ APOYO VISUAL

En esta diapositiva queda de manera clara el ciclo hidrológico. Su función es ayudar a reconocer de forma gráfica cómo el agua pasa de la atmósfera a la superficie, al suelo y de nuevo a la atmósfera.



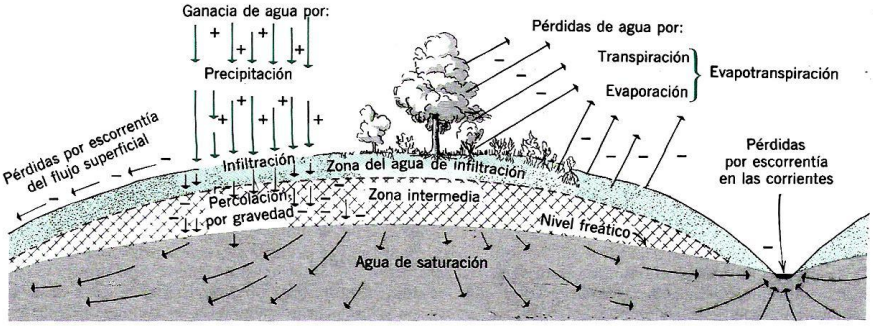
Cuando una diapositiva del ciclo es sobre todo imagen o esquema, lo importante es leer las flechas y entender qué proceso representa cada una: evaporación, condensación, precipitación, escorrentía o infiltración.

→ puntos Importantes:

- Las flechas del esquema representan movimientos o cambios de estado del agua.
- La imagen debe leerse como un sistema conectado, no como elementos aislados.
- El objetivo es visualizar mejor el funcionamiento general del ciclo.

⇒ BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

Aquí se resume el balance hídrico del suelo. El principio es sencillo: el agua que entra debe igualar al agua que sale, salvo la parte que se almacena o se pierde de las reservas. Por eso se expresa como entradas, salidas y variación de reservas.



La precipitación es la entrada principal. Las salidas incluyen escorrentía superficial, escorrentía subterránea y evapotranspiración. Este balance permite saber si un suelo gana agua, la pierde o mantiene un estado aproximadamente estable.

→ puntos Importantes:

- El balance del agua es una aplicación directa del principio de conservación.
- La precipitación es la entrada principal al sistema suelo.
- Las reservas del suelo cambian según clima, vegetación y drenaje.

⇒ LAS PRECIPITACIONES: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

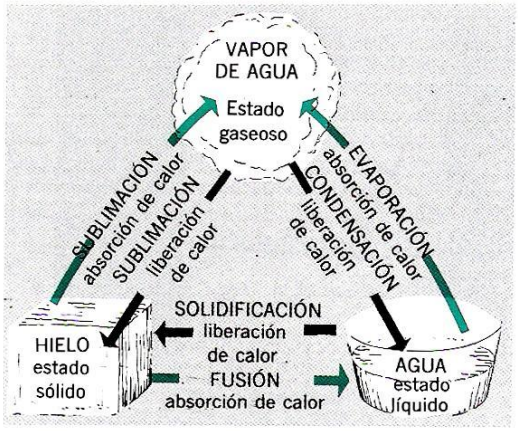
La precipitación se define como cualquier forma en la que el agua cae o llega desde la atmósfera a la superficie terrestre. La diapositiva distingue precipitaciones verticales y horizontales.

Las verticales incluyen lluvia, llovizna, aguacero, nevada y granizo. Las horizontales incluyen rocío, escarcha y niebla. Esta clasificación es importante porque no todas aportan agua de la misma forma ni en la misma cantidad.

→ puntos Importantes:

- La precipitación no es solo lluvia.
- Las formas verticales caen desde la atmósfera; las horizontales se forman cerca de la superficie.
- Cada tipo de precipitación tiene condiciones físicas propias.

⇒ CAMBIOS DE ESTADO



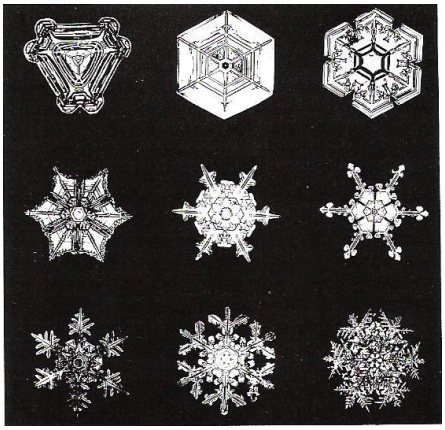
La diapositiva trata los cambios de estado del agua, que son esenciales en el ciclo hidrológico. El agua puede pasar de líquido a vapor, de vapor a líquido, de líquido a sólido o directamente entre vapor y sólido.

Esos cambios explican evaporación, condensación, congelación, fusión, sublimación y deposición. Entenderlos es básico porque gran parte del ciclo del agua depende más de estos cambios de estado que del simple movimiento físico del agua líquida.

→ puntos Importantes:

- Los cambios de estado conectan atmósfera, nieve, hielo y agua líquida.
- Sin evaporación y condensación no habría nubes ni lluvia.
- El ciclo hidrológico es también un ciclo térmico.

⇒ PRECIPITACIONES VERTICALES



Aquí se describen varias precipitaciones verticales. La lluvia está formada por gotas líquidas con determinado tamaño y velocidad de caída. La nevada se forma por cristales de hielo, y el granizo por capas de hielo que crecen en nubes muy inestables.

La diferencia entre ellas no es solo visual: cada una se forma bajo condiciones atmosféricas diferentes y tiene efectos distintos sobre el terreno, la infiltración, la escorrentía y la disponibilidad posterior de agua.

→ puntos Importantes:

- La lluvia, la nieve y el granizo tienen orígenes físicos distintos.
- La forma de precipitación condiciona cómo se almacena y circula el agua después.
- La nieve actúa además como reserva temporal de agua.

⇒ PRECIPITACIONES HORIZONTALES

Las precipitaciones horizontales no caen desde una nube en el sentido habitual, sino que se producen por condensación o solidificación del vapor de agua sobre superficies frías o muy cerca de ellas. El rocío se condensa; la escarcha se forma por solidificación; la niebla es un conjunto de gotitas suspendidas en el aire.

Aunque suelen parecer menos importantes que la lluvia, en algunos climas y ecosistemas pueden aportar una cantidad apreciable de agua, especialmente en zonas áridas, montañosas o costeras con nieblas frecuentes.

→ puntos Importantes:

- El rocío y la escarcha se forman sobre superficies frías.
- La niebla está compuesta por gotitas muy pequeñas suspendidas en el aire.
- Las precipitaciones horizontales pueden tener importancia ecológica local.

⇒ ORIGEN DE LAS PRECIPITACIONES

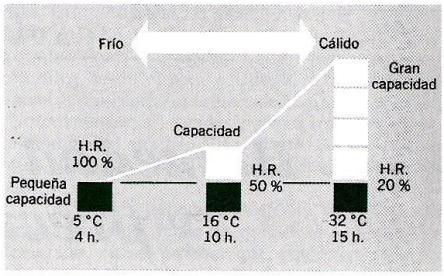
La diapositiva introduce conceptos fundamentales: punto de rocío, humedad relativa y humedad absoluta. El punto de rocío es la temperatura a la que una masa de aire se satura y empieza a condensar.

La humedad relativa compara el vapor que contiene el aire con el máximo que podría contener a esa temperatura. La humedad absoluta mide la masa real de vapor en un volumen de aire. Estos conceptos permiten entender cuándo y por qué se forman nubes, rocío o lluvia.

→ puntos Importantes:

• El punto de rocío indica cuándo empieza la condensación.
• La humedad relativa depende de la temperatura y del contenido de vapor.
• La formación de precipitaciones depende del estado higrométrico del aire.

⇒ APOYO VISUAL



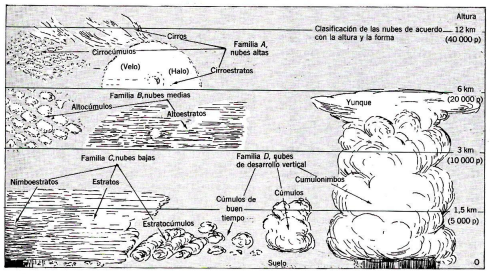
Esta diapositiva es un apoyo visual del bloque de precipitaciones. Puede mostrar tipos, mecanismos de formación, ejemplos o instrumentos de medida.

El objetivo es que no te quedes solo con la definición, sino que sepas reconocer cada tipo de precipitación, cómo se forma y qué significado tiene dentro del balance hídrico.

→ puntos Importantes:

• La precipitación puede representarse con esquemas, fotografías o aparatos de medida.
• Ver la imagen ayuda a identificar mejor tipos y procesos.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del ciclo del agua hacia la superficie.

⇒ APOYO VISUAL



Esta diapositiva es un apoyo visual del bloque de precipitaciones. Puede mostrar tipos, mecanismos de formación, ejemplos o instrumentos de medida.

El objetivo es que no te quedes solo con la definición, sino que sepas reconocer cada tipo de precipitación, cómo se forma y qué significado tiene dentro del balance hídrico.

→ puntos Importantes:

• La precipitación puede representarse con esquemas, fotografías o aparatos de medida.
• Ver la imagen ayuda a identificar mejor tipos y procesos.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del ciclo del agua hacia la superficie.

⇒ MEDIDA DE LAS PRECIPITACIONES

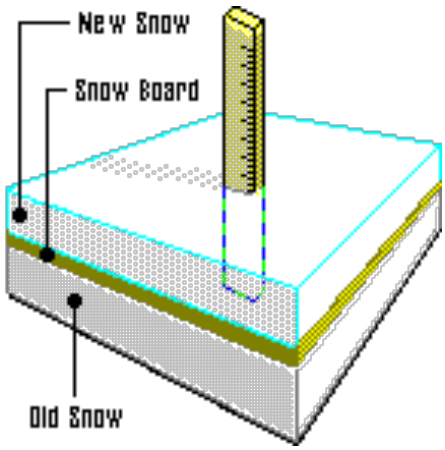
La precipitación se mide en milímetros, que equivalen a la altura que alcanzaría el agua si quedara uniformemente repartida sobre una superficie horizontal. Un milímetro equivale a un litro por metro cuadrado.

La diapositiva distingue pluviómetros, que miden la cantidad total caída, y pluviógrafos, que además registran su distribución en el tiempo. Esa diferencia es importante, porque no es lo mismo que caigan 20 mm en todo un día que en diez minutos.

→ puntos Importantes:

• Un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado.
• El pluviómetro mide cantidad; el pluviógrafo registra también cómo se reparte en el tiempo.
• La intensidad de lluvia es tan importante como la cantidad total.

⇒ EQUIVALENCIA ENTRE NIEVE Y LLUVIA



Esto es una equivalencia simple entre altura de nieve y altura de lluvia. Se trata de una regla aproximada para transformar una acumulación sólida en un equivalente de agua líquida.

Es importante porque la nieve es una reserva temporal. Aunque no circule inmediatamente como lluvia o escorrentía, representa agua almacenada que podrá fundirse después y alimentar ríos o infiltrarse.

→ puntos Importantes:

• La nieve puede expresarse como equivalente en agua.

• La nieve actúa como almacén temporal del ciclo hidrológico.

• No toda precipitación entra inmediatamente como escorrentía o infiltración.

⇒ EVAPORACIÓN, TRANSPIRACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación es el paso del agua líquida a vapor desde superficies libres, suelos húmedos o agua interceptada. La transpiración es la liberación de vapor por las plantas a través de sus estomas.

La evapotranspiración suma ambos procesos. Es una salida fundamental del balance hidrológico porque devuelve mucha agua a la atmósfera antes de que esa agua llegue a ríos o acuíferos.

→ puntos Importantes:

• Evaporación y transpiración son procesos diferentes, pero relacionados.

• La evapotranspiración representa una gran pérdida de agua del suelo hacia la atmósfera.

• La vegetación juega un papel activo en el ciclo del agua.

⇒ EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL

La evapotranspiración potencial, ETP, es la cantidad de agua que podría volver a la atmósfera si no faltara humedad en el suelo y la vegetación cubriera completamente la superficie. Es una demanda climática de agua.

La evapotranspiración real, ETR, es la que realmente ocurre y depende de las precipitaciones, del agua disponible y de las condiciones del suelo. Por eso la ETR siempre es igual o menor que la ETP.

→ puntos Importantes:

• La ETP indica cuánta agua pediría la atmósfera en condiciones ideales de humedad.

• La ETR depende de cuánta agua hay realmente disponible.

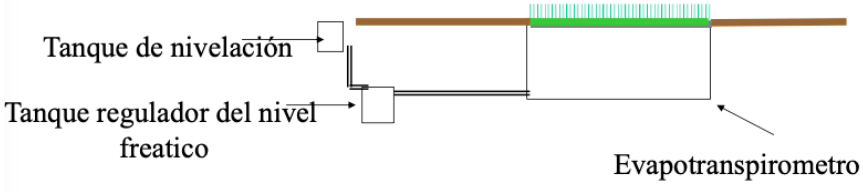
• Cuando falta agua en el suelo, la ETR baja, aunque la ETP sea alta.

⇒ EVAPOTRANSPIRÓMETROS



Aquí se muestra aparatos y montajes para medir evapotranspiración potencial. Estos dispositivos mantienen el suelo a capacidad de campo y con cubierta vegetal completa para aproximarse a las condiciones ideales de ETP.

Su objetivo es medir cuánta agua pierde el sistema suelo-planta-atmósfera bajo condiciones controladas. Es una información muy útil en agronomía, hidrología y gestión del riego.



⇒ CARACTERÍSTICAS DEL SUELO: HUMEDAD, CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ

La humedad del suelo expresa cuánta agua contiene respecto a su masa seca. La capacidad de campo es el grado de humedad que queda después de perder el agua gravitacional, es decir, cuando el suelo ya ha drenado lo que no puede retener con facilidad.

El punto de marchitez es el contenido de agua por debajo del cual las plantas ya no pueden absorber suficiente agua. La diferencia entre ambos valores define el agua utilizable por las plantas.

→ puntos Importantes:

• La capacidad de campo marca el agua retenida útil después del drenaje inicial.
• El punto de marchitez señala cuándo la planta ya no puede aprovechar el agua.
• El agua disponible para las plantas está entre ambos valores.

⇒ INFILTRACIÓN

La infiltración es la entrada del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por acción de la gravedad y de fuerzas capilares. Es un movimiento inicialmente vertical, aunque después el agua puede cambiar de trayectoria en profundidad.

La diapositiva explica que una parte del agua infiltrada queda retenida en el suelo y puede ser evapotranspirada, mientras otra parte profundiza y llega a recargar acuíferos o a sostener caudales de ríos. Es decir, infiltrar no significa perder agua, sino redistribuirla dentro del ciclo.

→ puntos Importantes:

• La infiltración conecta precipitación, suelo y aguas subterráneas.
• Parte del agua infiltrada se retiene en el suelo; otra parte recarga acuíferos.
• La infiltración reduce escorrentía superficial y aumenta almacenamiento subterráneo.

⇒ ESCORRENTÍA

La escorrentía es la fracción de la precipitación que termina alimentando los cursos de agua de una cuenca. Puede ser superficial, cuando el agua circula por encima del terreno, o subterránea, cuando se infiltra y luego llega a la red de drenaje a través de acuíferos.

Esta distinción es muy importante porque dos cuencas con la misma lluvia pueden responder de manera muy distinta según infiltración, pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo.

→ puntos Importantes:

• La escorrentía superficial circula por encima del terreno.
• La escorrentía subterránea alimenta ríos a través de acuíferos.
• La respuesta hidrológica de una cuenca depende de cómo se reparte la lluvia entre infiltración y escorrentía.

⇒ APOYO VISUAL



La diapositiva ayuda a entender la escorrentía y sus recorridos posibles. El agua puede desplazarse por la superficie del terreno o circular más lentamente a través del subsuelo antes de llegar al cauce.

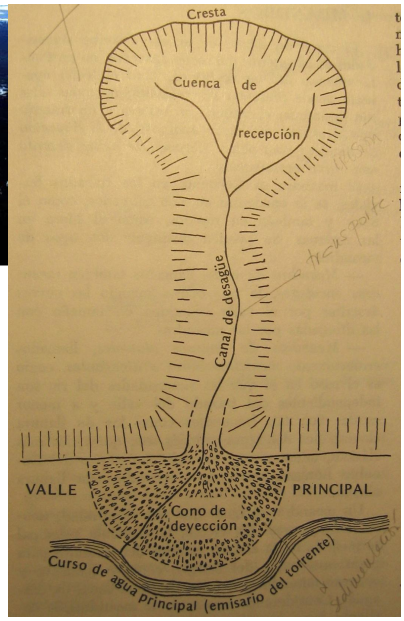
Las imágenes de este bloque suelen ser útiles para ver que la escorrentía no es un proceso único. En una misma cuenca pueden coexistir escorrentía rápida, lenta, superficial y subterránea.

→ puntos Importantes:

• La escorrentía puede seguir caminos distintos hacia la red de drenaje.
• El tiempo de respuesta de una cuenca depende de esos caminos.
• La imagen ayuda a visualizar la conexión entre ladera, subsuelo y cauce.







⇒ IMPORTANCIA DE LA ESCORRENTÍA

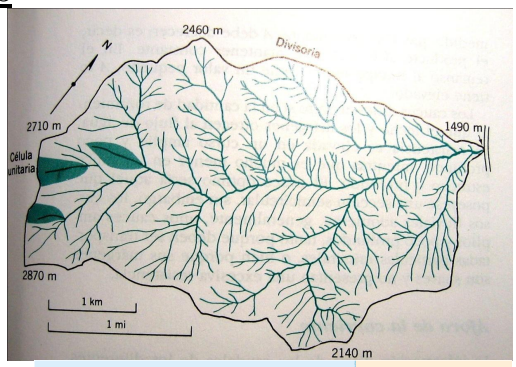
La escorrentía es importante porque alimenta ríos y arroyos, permite almacenar agua en azudes y presas, aporta energía potencial para producir electricidad y participa en la composición química de las aguas.

Al mismo tiempo, puede ser un problema: es responsable de avenidas e inundaciones y está asociada a muchos procesos erosivos. Por eso la escorrentía es un fenómeno útil y peligroso a la vez, según su intensidad y control.

→ puntos Importantes:

- La escorrentía sostiene cursos de agua y recursos aprovechables.
- También puede generar erosión, avenidas e inundaciones.
- Su estudio es básico en gestión del agua y prevención de riesgos.

⇒ ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS



La cuenca hidrográfica es el área topográficamente delimitada en la que toda el agua drena hacia una salida común. Es la unidad básica de estudio en hidrología, porque dentro de ella se relacionan precipitación, infiltración, escorrentía y caudal.

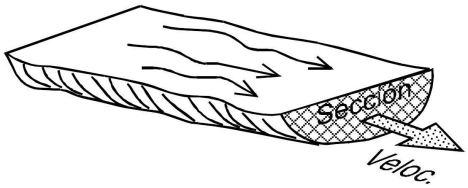
Entender una cuenca significa saber cómo recoge la lluvia, cómo la transforma en caudal y cómo influyen el relieve, los suelos, la vegetación y la geología. Sin enfoque de cuenca, el análisis hidrológico queda incompleto.

→ puntos Importantes:

- La cuenca es la unidad natural del estudio hidrológico.
- Todo lo que ocurre dentro de ella influye en su respuesta en caudal.
- El límite de la cuenca viene dado por la topografía.



⇒ AFOROS: MEDIDA DE CAUDALES



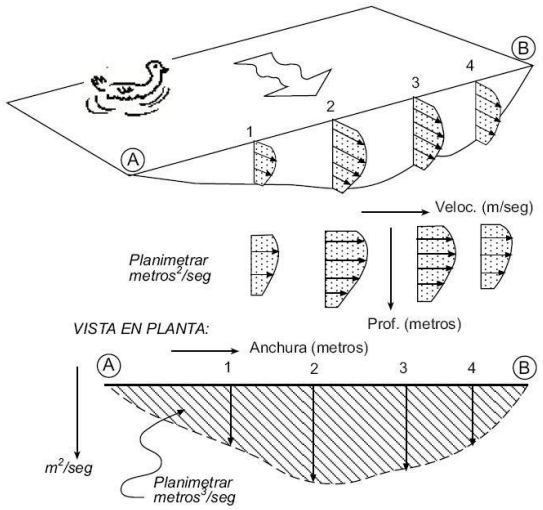
Aforar un río significa medir su caudal. La expresión básica es sencilla: caudal igual a sección por velocidad. Si se conoce el área de la sección mojada del cauce y la velocidad media del agua, puede calcularse el volumen que pasa por segundo.

El caudal se expresa habitualmente en metros cúbicos por segundo. Esta medida es fundamental para estudiar ríos, gestionar embalses, prever avenidas y conocer recursos hídricos.

→ puntos Importantes:

- El caudal es el volumen de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo.
- Se obtiene combinando tamaño de la sección y velocidad del agua.
- Medir caudales es básico en hidrología fluvial.

⇒ AFOROS DIRECTOS: MOLINETE



En un aforo directo con molinete se mide la velocidad del agua en distintos puntos de la sección del río. El molinete gira impulsado por la corriente y su velocidad de giro se relaciona con la velocidad del agua.

Después se calcula una velocidad media y se multiplica por la sección. Es un método clásico y bastante preciso, aunque requiere acceso directo al cauce y condiciones adecuadas de medida.

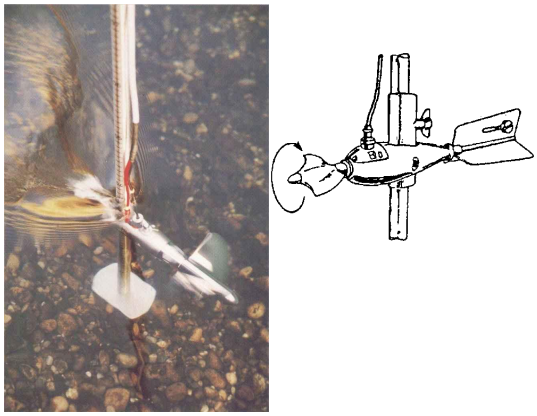
→ puntos Importantes:

• El molinete mide directamente la velocidad de la corriente.

• La sección del río también debe conocerse para obtener el caudal.

• Es un aforo directo porque se mide en el propio cauce.

⇒ APOYO VISUAL



La diapositiva completa el bloque de aforos. Puede mostrar aparatos, procedimientos o ejemplos de medición de caudal en el cauce.

En este bloque es importante diferenciar entre medir directamente velocidad y sección, usar trazadores químicos o registrar niveles para estimar después el caudal.

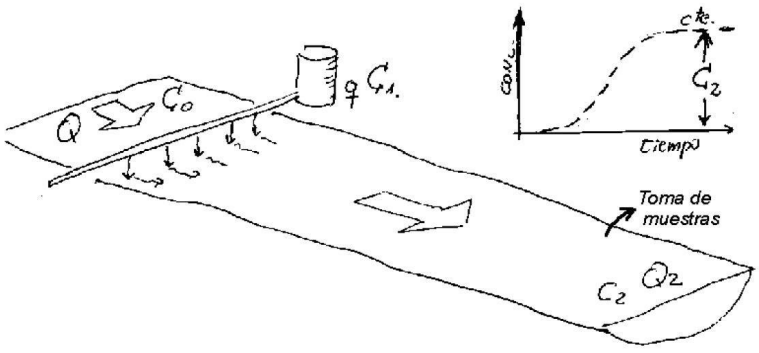
→ puntos Importantes:

• Aforar es medir caudal.

• Existen métodos directos, químicos e indirectos.

• La imagen ayuda a comprender cómo se realiza la medida en la práctica.

⇒ AFOROS QUÍMICOS



Los aforos químicos se basan en introducir o aprovechar una sustancia trazadora y observar cómo se diluye en el agua del cauce. Con esa dilución puede calcularse el caudal.

Son útiles cuando es difícil medir velocidad y sección por métodos clásicos. Muestran que en hidrología no solo se usan instrumentos mecánicos, sino también procedimientos químicos de cálculo.

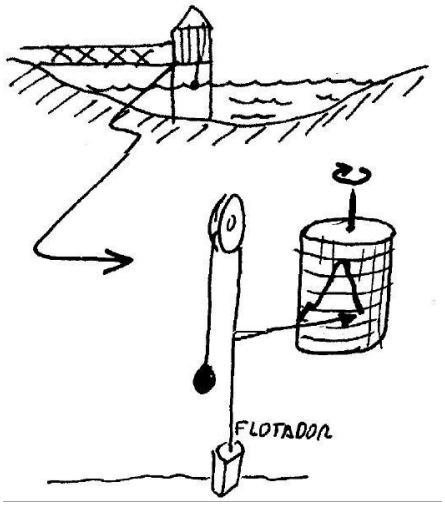
→ puntos Importantes:

• El principio básico es la dilución de una sustancia conocida.

• Permiten medir caudal cuando el aforo directo es difícil.

• Son una alternativa útil en cauces complicados.

⇒ AFOROS INDIRECTOS: LIMNÍGRAFOS



Los aforos indirectos no miden continuamente el caudal, sino una variable relacionada con él, normalmente la altura del agua en el cauce. El limnígrafo registra esa altura a lo largo del tiempo.

Después, mediante una curva de gasto, se transforma el nivel en caudal estimado. Esto permite seguimiento continuo sin necesidad de medir manualmente cada momento.

→ puntos Importantes:

• El limnígrafo registra nivel de agua, no caudal directamente.

• La relación entre nivel y caudal se establece mediante calibración previa.

• Es muy útil para series temporales continuas.

⇒ APOYO VISUAL





La diapositiva completa el bloque de aforos. Puede mostrar aparatos, procedimientos o ejemplos de medición de caudal en el cauce.

En este bloque es importante diferenciar entre medir directamente velocidad y sección, usar trazadores químicos o registrar niveles para estimar después el caudal.

→ puntos Importantes:

• Aforar es medir caudal.

• Existen métodos directos, químicos e indirectos.

• La imagen ayuda a comprender cómo se realiza la medida en la práctica.

⇒ ESCALAS LIMNIMÉTRICAS



Las escalas limnimétricas son reglas graduadas colocadas en el cauce para leer visualmente la altura del agua. Son un instrumento simple, pero muy útil para controlar niveles de manera rápida.

Aunque por sí solas no dan el caudal, son la base de muchos aforos indirectos, especialmente cuando se relacionan los niveles observados con medidas de caudal previas.

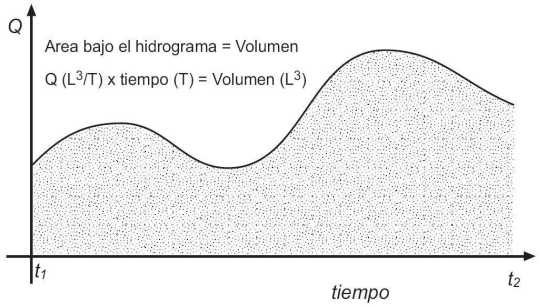
→ puntos Importantes:

• La escala limnimétrica mide altura de agua en el cauce.

• Es un instrumento sencillo pero muy valioso para seguimiento hidrológico.

• Con una curva nivel-caudal puede convertirse en estimación de caudal.

⇒ HIDROGRAMA



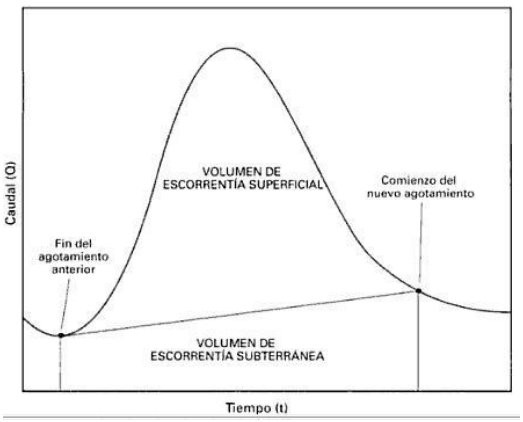
Un hidrograma es la representación gráfica del caudal en función del tiempo. Permite ver cómo responde un río ante una lluvia: cuándo empieza a subir, cuándo alcanza el máximo y cómo desciende después.

Es una herramienta central de la hidrología porque resume el comportamiento de una cuenca. Dos cuencas con la misma precipitación pueden generar hidrogramas muy distintos según infiltración, pendiente, tamaño y uso del suelo.

→ puntos Importantes:

• El hidrograma muestra la evolución temporal del caudal.
• Permite analizar respuesta de una cuenca a una lluvia.
• Es una herramienta clave para estudiar crecidas y funcionamiento hidrológico.

⇒ SEPARACIÓN DE COMPONENTES EN UN HIDROGRAMA



La separación de componentes intenta distinguir dentro del hidrograma qué parte del caudal procede de escorrentía rápida y qué parte procede de aportaciones más lentas, como el flujo subterráneo.

Aunque se presenta un método simple, la idea es muy importante: el caudal total de un río no tiene un solo origen. Una parte responde casi inmediatamente a la lluvia y otra refleja aportes almacenados en el sistema.

→ puntos Importantes:

• El hidrograma combina aportes rápidos y lentos.
• Separar componentes ayuda a interpretar la respuesta de la cuenca.
• El flujo subterráneo suele sostener el caudal en fases de descenso.

⇒ ACUÍFERO E HIDROGRAMA

Existe una relación en el comportamiento del hidrograma con la presencia de acuíferos. Cuando una cuenca tiene un buen almacenamiento subterráneo, el río puede mantener un caudal base más estable.

Esto significa que el agua infiltrada no desaparece, sino que vuelve después gradualmente a la red de drenaje. La conexión entre acuíferos y ríos es una de las claves de la hidrología y la hidrogeología.

→ puntos Importantes:

• Los acuíferos amortiguan la respuesta del río.
• El agua subterránea puede sostener caudales en épocas sin lluvia.
• Río y acuífero suelen formar parte de un mismo sistema hídrico.

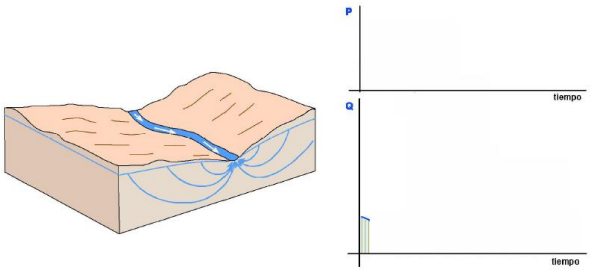
⇒ APOYO VISUAL

Con estas imágenes se complementa el estudio del hidrograma. Se muestra la curva de caudal, sus componentes o la influencia del acuífero en la forma del gráfico.

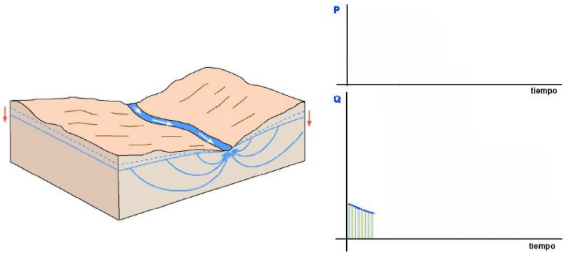
Hay que fijarse en cómo sube y baja el caudal y en qué parte representa respuesta rápida de lluvia y qué parte respuesta más lenta del sistema subterráneo.

→ puntos Importantes:

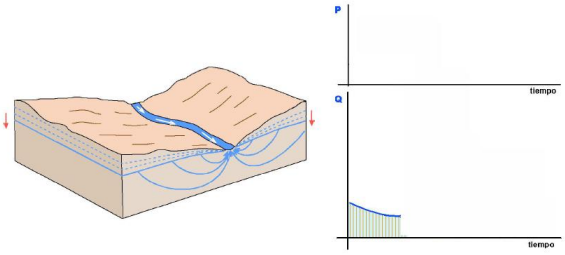
• El hidrograma resume el comportamiento temporal del río.
• La forma de la curva aporta información sobre la cuenca.
• La imagen ayuda a separar respuesta rápida y lenta.



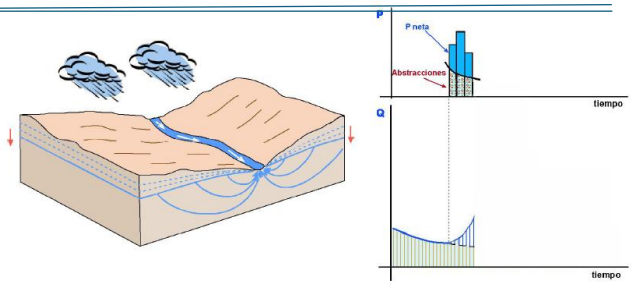
No está lloviendo, el caudal del río se genera exclusivamente por la escorrentía subterránea (río efluente o ganador)



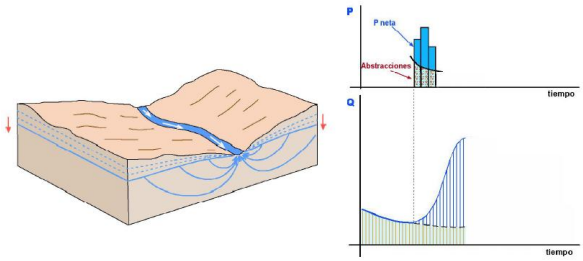
Sigue sin llover, la superficie freática desciende poco a poco: eso hace que el caudal vaya disminuyendo



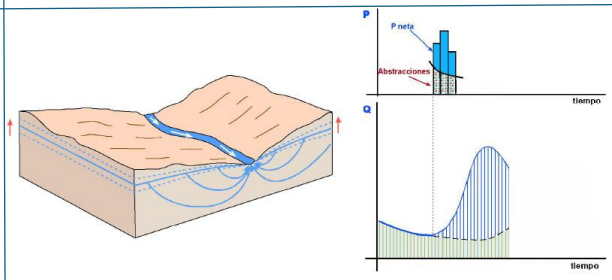
Sigue sin llover, la superficie freática sigue bajando, el caudal sigue disminuyendo



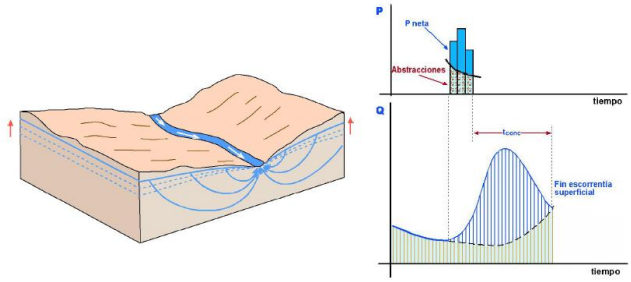
Comienzan las precipitaciones. El caudal comienza a subir, pero la parte aportada por la escorrentía subterránea sigue descendiendo



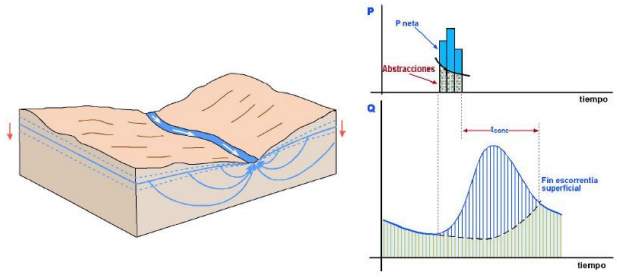
Cesa la precipitación, el caudal alcanza el máximo (llegan las precipitaciones caídas en las partes más alejadas de la cuenca) pero la aportación subterránea sigue disminuyendo



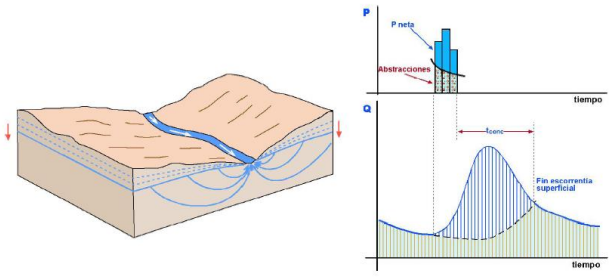
La escorrentía superficial comienza a disminuir.
La superficie freática comienza a recuperarse (por infiltración de parte de la lluvia anterior): la aportación subterránea aumenta



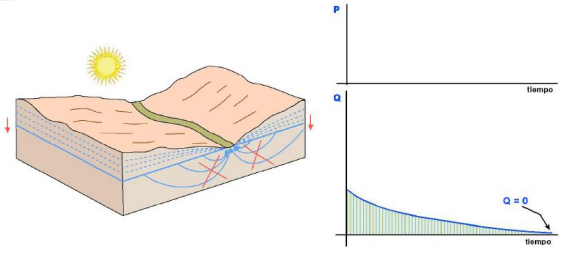
La escorrentía superficial se agota (tiempo concentración), pero la escorrentía subterránea sigue aumentando



Como en las primeras imágenes, todo el caudal es debido a la escorrentía subterránea, que comienza a disminuir



La superficie freática sigue descendiendo, el flujo base disminuye



Si la superficie freática llega a la horizontal (no hay gradiente que genere el flujo), la aportación subterránea se hace cero, el río se seca

⇒ COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA EN EL CICLO

Aquí se abre el bloque final: la química del agua. El agua no conserva siempre la misma composición durante el ciclo, sino que va cambiando al entrar en contacto con gases atmosféricos, suelos, rocas y aguas preexistentes.

Por eso la hidrología no estudia solo cantidades y movimientos, sino también calidad y evolución química. La química del agua permite reconstruir por dónde ha circulado y con qué materiales ha interactuado.

→ puntos Importantes:

- La composición química del agua cambia a lo largo del ciclo.
- El agua se modifica al contactar con atmósfera, suelo y roca.
- La química del agua ayuda a interpretar procesos hidrológicos e hidrogeológicos.

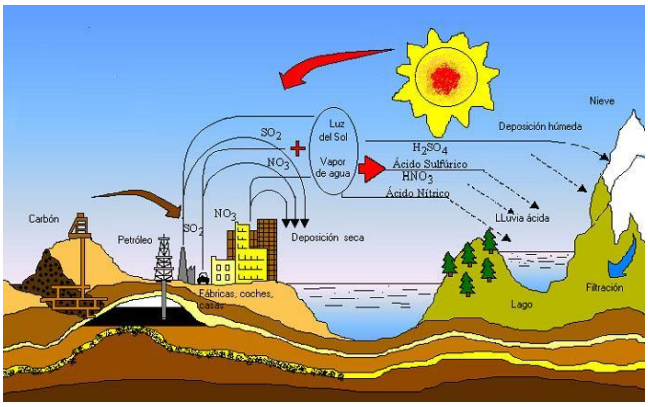
⇒ APOYO VISUAL

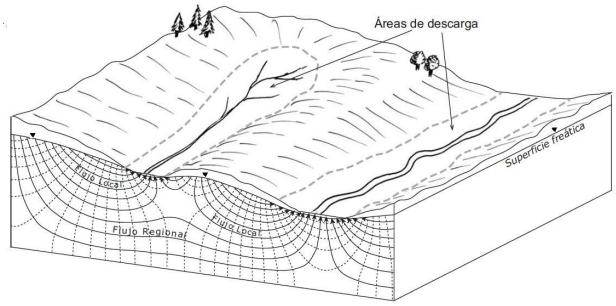
Estas diapositivas son un apoyo visual del bloque de química del agua. Su función es mostrar cómo el agua cambia de composición al atravesar diferentes medios.

En este bloque conviene relacionar siempre el agua con el material que toca: gases atmosféricos, suelo, roca, sales y aguas preexistentes. Esa interacción es la que explica la evolución química.

→ puntos Importantes:

- La química del agua se modifica por contacto con el medio.
- Las imágenes ayudan a seguir esa evolución paso a paso.
- La composición química es una herramienta para interpretar el recorrido del agua.





⇒ EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA EN EL CICLO

Esta diapositiva resume cómo cambia el agua desde la atmósfera hasta el subsuelo y su salida a superficie. El agua de lluvia disuelve gases atmosféricos; al atravesar el suelo incorpora CO2 y ácidos húmicos; más abajo disuelve sales del terreno y modifica progresivamente su composición.

La evolución depende de la solubilidad de las rocas y del tiempo de

ΔΔ $[HCO_3^-]$ y $[Ca^{++}]$ Δ $[Cl^-]$, $[SO_4^=]$, $[NO_3^-]$ Δ $[Mg^{++}]$, $[Na^+]$ ≈ $[K^+]$	AGUA EN LA ATMÓSFERA: vapor de H_2O AGUA DE LLUVIA: disolución gases atmosféricos AGUA EDÁFICA:- disolución CO_2 y ácidos húmicos - ambiente árido: precipitación sales - ambiente húmedo: percolación AGUA EN Z.N.S: disolución de sales del terreno
Δ mineralización Evolución a Cl – Na Modificación por: - Rocas solubles	AGUA EN LA Z.S: disolución progresiva de sales. Evulución: - solubilidad de la roca (sal > yeso > caliza..) - permanencia y contacto agua-roca: $HCO_3^- \rightarrow SO_4^= \rightarrow Cl^-$ $Ca^{++} \rightarrow Mg^{++} \rightarrow Na^+$
Cambio composición	SALIDA A SUPERFICIE: - modificaciones químicas - dilución con agua superficial
Salinización	OCÉANOS Y MARES: - evaporación y Δ concentración

contacto agua-roca. Por eso aumentan ciertos iones, cambia la mineralización y en algunos casos el agua evoluciona hacia facies más salinas, como clorurada sódica. El mensaje clave es que el agua adquiere "historia química" a medida que circula.

→ puntos Importantes:

• La química del agua evoluciona según el medio que atraviesa.
• El tiempo de contacto con la roca influye mucho en la mineralización.
• La composición final del agua ayuda a saber por dónde ha circulado y qué ha disuelto.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

El tema muestra que el agua circula continuamente entre atmósfera, superficie, suelo y subsuelo gracias a la energía solar y a la gravedad. A lo largo de ese ciclo cambian su estado, su localización, su velocidad de circulación y también su composición química.

Además, explica cómo se mide la precipitación y el caudal, cómo se estudian infiltración y escorrentía, y cómo se interpreta la respuesta de una cuenca mediante hidrogramas. En conjunto, el tema une hidrología, hidrogeología y geoquímica del agua.

→ puntos Importantes:

• El Sol y la gravedad son los dos motores principales del ciclo hidrológico.
• La precipitación es la gran entrada atmosférica del agua al sistema terrestre.
• La infiltración conecta el agua superficial con acuíferos y humedad del suelo.
• La escorrentía explica el funcionamiento de ríos, avenidas e inundaciones.
• La composición química del agua cambia durante su recorrido por atmósfera, suelos y rocas.

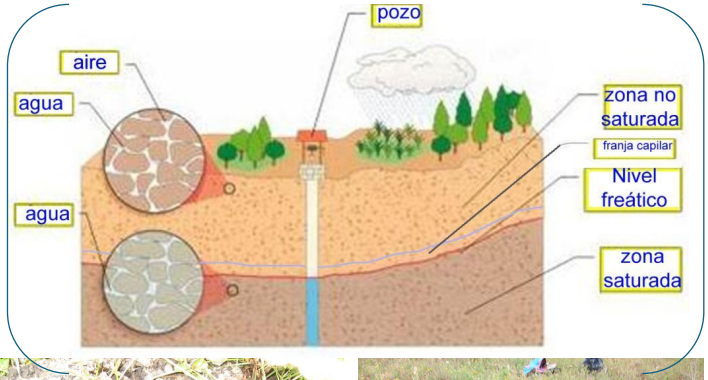
Tema 18: EL AGUA SUBTERRÁNEA

⇒ EL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es el agua que se encuentra bajo la superficie terrestre ocupando poros, grietas o cavidades de las rocas y de los suelos. Es una parte esencial de la hidrosfera y un recurso muy importante para abastecimiento, riego y ecosistemas.

El tema estudia dónde se almacena, cómo se mueve, cómo se extrae y cómo se controla su calidad. Aunque no la veamos en superficie, el agua subterránea está conectada con la lluvia, los ríos, los manantiales y los acuíferos.

⇒ DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL TERRENO



Cuando el agua penetra en el suelo, no toda ocupa el mismo tipo de huecos ni se encuentra en las mismas condiciones físicas. Parte queda retenida cerca de la superficie y parte desciende hacia zonas más profundas.

Para entender el agua subterránea hay que distinguir entre zona no saturada y zona saturada. En la no saturada los huecos contienen aire y agua; en la saturada los huecos están completamente llenos de agua. Esa diferencia es fundamental para interpretar acuíferos y nivel freático.

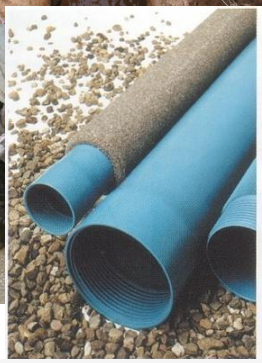




Aquí tenemos una visualización de la distribución del agua en el subsuelo. Normalmente este tipo de esquema muestra capas de suelo, zona de aireación, franja capilar y nivel freático. Todo ello nos permite ver cómo el agua no ocupa simplemente un gran hueco continuo, sino una red de poros y espacios en distintos estados de saturación.

⇒ TUBERÍA PIEZOMÉTRICA

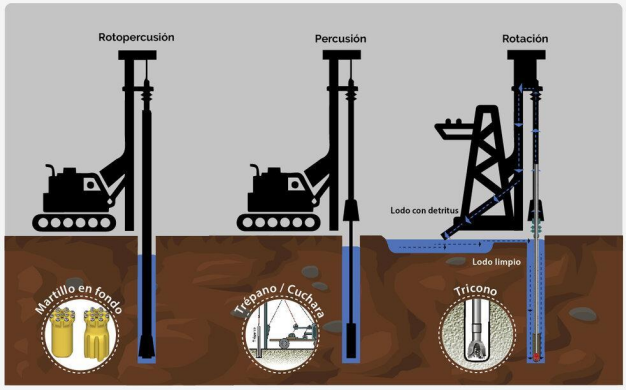




Una tubería piezométrica sirve para medir el nivel del agua en un punto del subsuelo. Se instala dentro de una perforación y permite observar a qué altura asciende el agua en equilibrio.

Esa medida es esencial para conocer la carga hidráulica y la posición del nivel freático o piezométrico. Gracias a estas tuberías se puede seguir la evolución del agua subterránea con el tiempo y detectar descensos, recuperaciones o diferencias entre niveles.

⇒ TIPOS DE PERFORACIÓN DE POZOS



Esta diapositiva nos indica que no todos los pozos se perforan del mismo modo. La elección del método depende del tipo de terreno, de la profundidad necesaria, del diámetro buscado y del objetivo del pozo.

Perforar bien un pozo es fundamental porque de ello dependen la estabilidad de la obra, la facilidad de extracción y la representatividad de las muestras del terreno o del agua obtenida.

⇒ PERFORACIÓN A PERCUSIÓN Y A ROTACIÓN

La perforación a percusión rompe el terreno mediante golpes repetidos de un trépano pesado. Después, una cuchara o herramienta similar extrae el material triturado. Es un método clásico, útil en ciertos terrenos, pero más lento que otros sistemas modernos.







Cuchara con clapeta para extraer el terreno triturado

Trepano de gran tonelaje para triturar el terreno

La perforación a rotación con circulación de lodos utiliza una herramienta giratoria que desagrega el terreno mientras el lodo extrae los detritos, estabiliza las paredes y facilita el avance. Es un método muy empleado porque permite profundidades mayores y mejor rendimiento.

En hidrogeología es importante no quedarse solo con el concepto teórico: la perforación es una obra técnica que necesita equipos específicos, control del terreno y supervisión constante.

Y también es importante entender que un pozo no es solo un agujero: es una estructura construida con elementos técnicos que deben responder al tipo de terreno y al uso previsto

Geoterra
Grupo Ingeveris
EXPERTOS
HALLAR AGUAS SUBTERRÁNEAS
LEGALIZACIÓN POZOS
(Pinchar para información)

Servicios - Sondeos y perforaciones

Sondeos a Rotopercusión

Los sondeos mediante el sistema de rotopercusción los realizamos en terrenos compactos. Ya sea para captación de aguas subterráneas, ya sea para geotermia.

Este sistema de perforación permite trabajar en espacios reducidos, siendo por tanto útil para la realización de sondeos en chalets, huertas, etc.

Los diámetros habituales de trabajo, varían entre 180 y 250 mm los de perforación y entre 140 a 180 mm los de entubación.

Los sondeos se pueden revistir tanto en acero como en P.V.C.

En la imagen, obra realizada en Burgos.





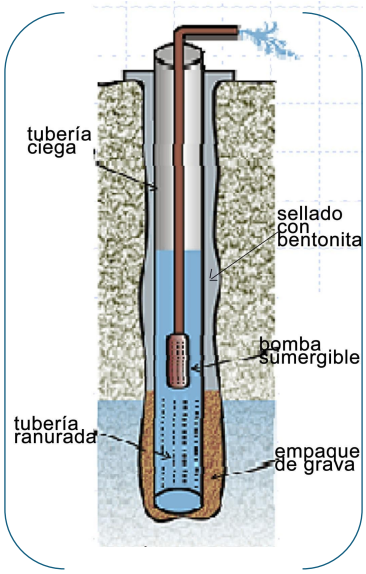
Aquí se ven equipos relacionados con la perforación. Se trata de accesorios, columnas de perforación, tuberías y elementos de extracción del material.

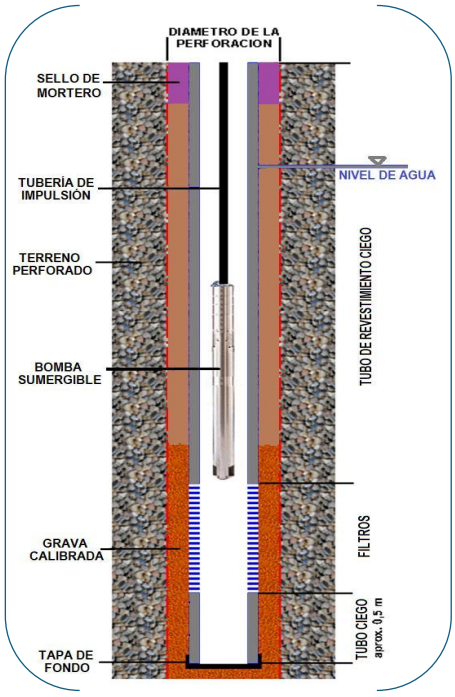




La diapositiva refuerza visualmente el bloque de perforación. Conviene fijarse en las diferencias de equipos, diámetros y entornos de trabajo.

La hidrogeología aplicada necesita comprender tanto la teoría del acuífero como la técnica del pozo. Un mal diseño de perforación puede inutilizar una captación, aunque el acuífero sea bueno.





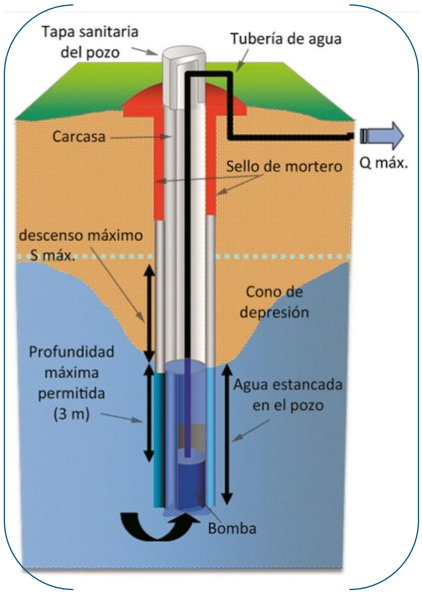
→ puntos Importantes:

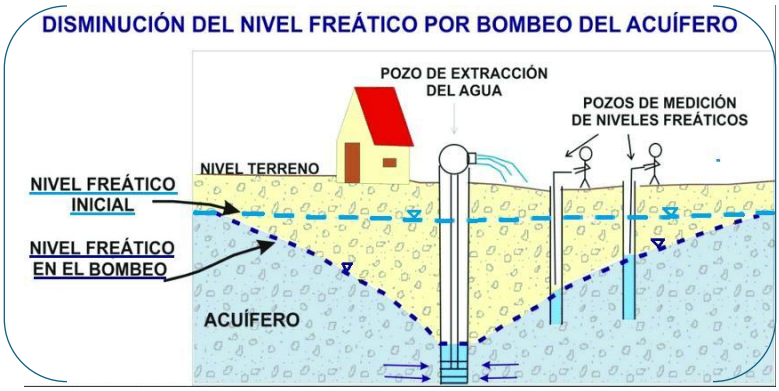
• La calidad del pozo depende de su construcción.

• El equipo de perforación debe adaptarse al terreno.

• Un buen acuífero puede desaprovecharse con una mala obra de captación.

⇒ BOMBEO DE POZOS





El bombeo de un pozo consiste en extraer agua del acuífero mediante una bomba. Al bombear, el nivel del agua desciende alrededor del pozo y se genera un cono de depresión.

Estudiar ese descenso permite conocer cómo responde el acuífero: si transmite bien el agua, si el pozo está bien diseñado y qué caudal puede mantenerse sin dañar el sistema.

Este es el apoyo visual del bombeo de pozos. Se muestra tipos de bomba, esquemas de descenso del nivel o ejemplos de instalación en campo.

Lo importante es entender que bombear no solo extrae agua: también altera temporalmente el equilibrio hidráulico del entorno del pozo.





→ puntos Importantes:

• El bombeo modifica el equilibrio natural del acuífero cercano.

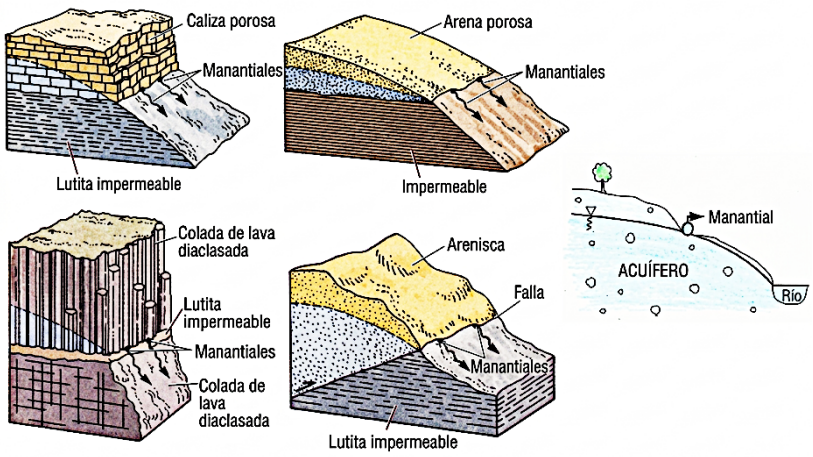
• Los equipos de bombeo deben adaptarse a profundidad y caudal.

• Las imágenes ayudan a entender el proceso real de extracción.

⇒ MANANTIALES

Un manantial es un punto donde el agua subterránea sale naturalmente a la superficie. Aparece cuando el nivel freático corta el terreno o cuando una estructura geológica obliga al agua a emerger.

Los manantiales son muy importantes porque indican la existencia de circulación subterránea y, muchas veces, la presencia de un acuífero activo. También pueden servir como recurso de abastecimiento o como indicador ambiental.



⇒ ACUÍFERO

El acuífero es un terreno saturado, poroso y permeable capaz de almacenar y transmitir agua. No basta con que una roca tenga huecos: esos huecos deben estar bien conectados para que el agua se mueva.

Por eso se distingue entre porosidad total, que representa la capacidad máxima de almacenamiento, y porosidad eficaz, que es la parte realmente útil para el movimiento del agua. La permeabilidad expresa la facilidad con la que el agua puede circular por esa porosidad eficaz.

⇒ NO ACUÍFERO: ACUITARDO, ACUICLUDO Y ACUÍFUGO

La diapositiva nos diferencia varios materiales que no son acuíferos en sentido estricto. Un **acuitardo** almacena agua, pero la transmite lentamente. Un **acuicludo** puede almacenarla, pero prácticamente no la transmite. Un **acuífugo** ni la almacena ni la transmite.

Esta clasificación es muy importante porque en hidrogeología no todos los terrenos se comportan igual. Un pozo en una arcilla o en un granito compacto no dará el mismo resultado que en una grava o una caliza karstificada.

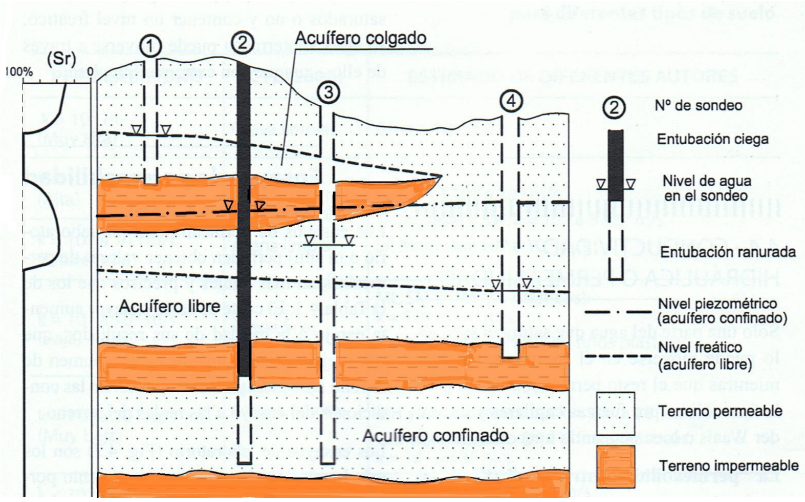
→ puntos Importantes:

- Un acuitardo transmite agua lentamente.
- Un acuicludo almacena agua, pero no la transmite de forma útil.
- Un acuífugo prácticamente no almacena ni transmite agua.

⇒ TIPOS DE ACUÍFEROS

Aquí se nos introduce en la clasificación de los acuíferos. Normalmente se distinguen acuíferos **libres**, **confinados**, **semiconfinados** y **colgados**, según la relación entre la zona saturada y las capas impermeables que la limitan.

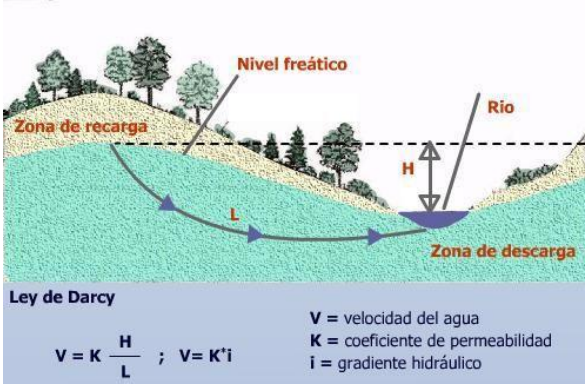
Conocer el tipo de acuífero es esencial porque condiciona la presión del agua, la respuesta al bombeo, la recarga y la vulnerabilidad a la contaminación.



⇒ MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA: LEY DE DARCY

La ley de Darcy es una de las bases de la hidrogeología. Expresa que el caudal o la velocidad aparente de circulación del agua subterránea dependen de la permeabilidad del medio y del gradiente hidráulico.

Dicho de forma sencilla: el agua se mueve mejor cuanto más permeable es el terreno y cuanto mayor es la diferencia de carga hidráulica entre dos puntos. Esta ley permite cuantificar el flujo subterráneo.



⇒ CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA O PERMEABILIDAD

La diapositiva aclara que solo una parte del agua puede moverse realmente por el subsuelo: la que circula por la porosidad eficaz. Otra parte queda retenida por capilaridad, fuerzas electrostáticas o poros aislados.

También explica que permeabilidad no es lo mismo que porosidad. Un material puede tener muchos poros y, sin embargo, estar mal conectado y dejar pasar muy mal el agua. La conductividad hidráulica expresa precisamente esa facilidad de movimiento.



⇒ PERMEABILIDAD DEL SUBSUELO

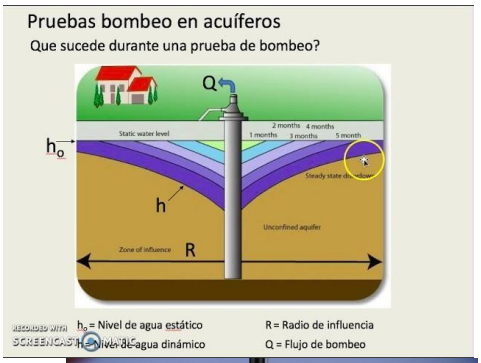
Esta diapositiva es un apoyo visual del concepto de permeabilidad. Se muestran comparaciones entre materiales, esquemas de circulación o ensayos relacionados con la manera cómo se mueve el agua a través del subsuelo.

La idea central es que la permeabilidad cambia muchísimo de un terreno a otro, y esa variación controla recarga, drenaje, velocidad del flujo y productividad de los pozos.

⇒ ENSAYO DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE

En un ensayo de bombeo a caudal constante se extrae agua de un pozo manteniendo fijo el caudal y se observa cómo desciende el nivel en el pozo y, si existen, en piezómetros cercanos.

Este ensayo permite estimar propiedades del acuífero, como transmisividad o coeficiente de almacenamiento, y comprobar el comportamiento hidráulico del sistema en condiciones reales.



→ puntos Importantes:

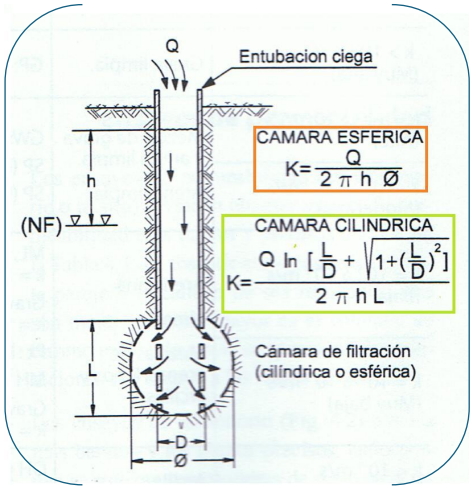
• El ensayo de bombeo estudia la respuesta del acuífero al extraer agua.

• Mantener un caudal constante permite interpretar mejor el descenso del nivel.

• Es una prueba fundamental de permeabilidad in situ.



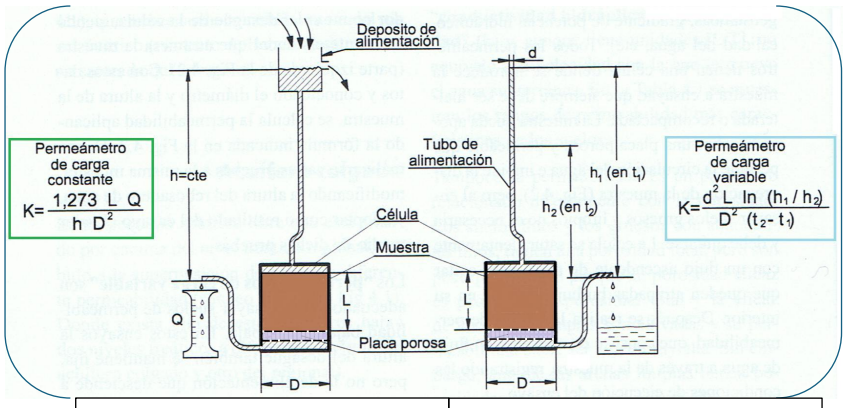
⇒ ENSAYO LEFRANC



El ensayo Lefranc es una prueba de permeabilidad in situ realizada normalmente en sondeos. Consiste en introducir o extraer agua en un tramo determinado y observar la respuesta del nivel o del caudal.

Se utiliza sobre todo en suelos y materiales relativamente poco profundos para estimar conductividad hidráulica directamente en el terreno, sin depender solo de ensayos de laboratorio.

⇒ PERMEÁMETROS



Adecuado para suelos de permeabilidad moderada a alta	Adecuado para suelos de permeabilidad baja o muy baja

Los permeámetros son aparatos de laboratorio que permiten medir la permeabilidad de una muestra. Hay distintos tipos según el terreno: algunos funcionan mejor en suelos de permeabilidad moderada o alta y otros en suelos de permeabilidad baja.

Su interés es que permiten comparar materiales en condiciones controladas. Sin embargo, siempre hay que recordar que el comportamiento real del terreno puede ser más complejo que el de una muestra aislada.

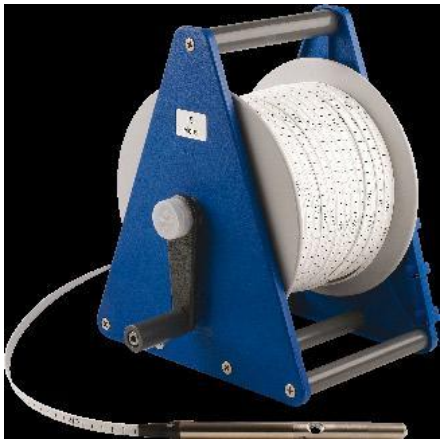
⇒ PERMEABILIDAD: APOYO VISUAL



Esta diapositiva es principalmente visual y refuerza el bloque de ensayos de permeabilidad. Puede mostrar aparatos, esquemas de flujo o ejemplos de resultados.

Su función es ayudar a relacionar el concepto de permeabilidad con la práctica de medición, tanto en campo como en laboratorio.

⇒ MEDIDA DE NIVEL DE AGUA



Medir el nivel del agua en un pozo o piezómetro es una operación básica en hidrogeología. Permite conocer la posición del nivel freático o piezométrico y seguir cómo cambia con el tiempo.

Estas medidas son esenciales para detectar sobreexplotación, recarga, respuesta a lluvias o influencia de bombeos. Una serie de niveles bien medida puede decir mucho sobre el estado del acuífero.

⇒ BOMBEO DE POZOS: ESQUEMA Y FUNCIONAMIENTO

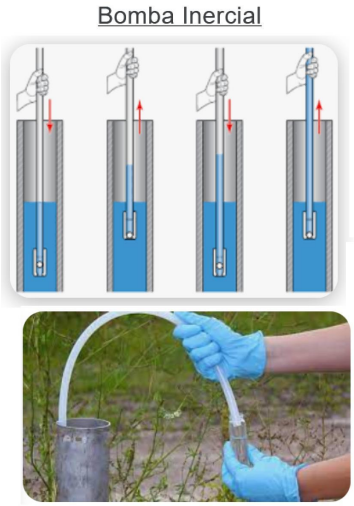




Aquí se vuelve al bombeo de pozos como apoyo visual. Se muestra el cono de depresión, la instalación de bombeo o el efecto del caudal extraído sobre el nivel del agua.

Es importante recordar que bombear un pozo significa perturbar temporal o permanentemente el acuífero. Por eso el bombeo debe planificarse según la capacidad de recarga del sistema.

⇒ TOMA DE MUESTRA DE AGUA





La toma de muestra de agua parece una operación sencilla, pero debe hacerse correctamente para que el análisis químico sea representativo. El **tomamuestras bailer** permite recoger agua de un sondeo o pozo a una profundidad determinada.

Si la muestra se toma mal, el análisis puede reflejar contaminación externa, mezcla de aguas o cambios químicos producidos durante la manipulación. Por eso la técnica de muestreo es tan importante como el análisis posterior.



→ Precauciones importantes al tomar muestras de agua:

Vaciar previamente el sondeo si hace falta, usar recipientes limpios, enjuagarlos con el agua de la propia captación y rellenarlos completamente.

También es importante mantener refrigerada la muestra hasta el análisis. Estas precauciones evitan alteraciones químicas o contaminaciones que falseen los resultados del laboratorio.

⇒ RESUMEN GENERAL DEL TEMA

El tema explica qué es el agua subterránea, cómo se distribuye en el terreno, qué tipos de materiales pueden almacenarla y transmitirla, cómo se mueve según la ley de Darcy y cómo se estudia mediante pozos, ensayos y medidas de nivel.

También muestra que la hidrogeología no se limita a extraer agua: hay que conocer la permeabilidad del subsuelo, el comportamiento de los acuíferos y la forma correcta de tomar muestras para interpretar su calidad química.

Tema 20: HÍSTORIA GEOLOGÍA DE LA PENINSULA IBÉRICA



Con esta imagen vamos a entrar en el estudio de la historia geológica de la Península Ibérica.

A partir de aquí el tema va a recorrer las grandes eras geológicas y explica cómo se formó el relieve peninsular en relación con la tectónica de placas, los ambientes sedimentarios y la evolución de la vida.

⇒ TIEMPO GEOLÓGICO



⇒ QUÉ REPRESENTA ESTA IMAGEN

La imagen representa toda la historia del universo como si durara solo un año, desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre. Es una comparación visual para entender la inmensidad del tiempo cósmico y lo reciente que es la historia humana.

- **Mensaje central:** si comprimimos los 13.800 millones de años del universo en un solo año, la Tierra aparece hacia septiembre, la vida compleja muy al final, los dinosaurios en Navidad y toda la civilización humana en los últimos segundos del 31 de diciembre.

Importante: la imagen es didáctica. No pretende fijar con precisión absoluta cada fecha, sino mostrar proporciones generales de una forma fácil de imaginar.

⇒ **CÓMO SE LEE LA IMAGEN**

La franja superior muestra los doce meses del año y simboliza toda la historia del universo.

Cada mes no es un mes real, sino una porción gigantesca del tiempo cósmico.

Después la imagen hace una ampliación del mes de diciembre, porque en ese último tramo se concentra gran parte de la historia visible de la vida compleja.

Finalmente se amplían los últimos 10 minutos del 31 de diciembre para colocar la aparición del ser humano.

⇒ **QUÉ ENSEÑANZA TRANSMITE ESTA IMAGEN**

- La inmensidad del tiempo cósmico y geológico.
- Lo reciente que es la Tierra dentro de la historia del universo.
- Lo tardía que es la vida compleja.
- Lo extremadamente reciente que es el ser humano.
- Lo brevísima que es la civilización respecto al conjunto de la historia natural.

⇒ **QUÉ SIGNIFICA TIEMPO GEOLÓGICO EN ESTE CONTEXTO**

El tiempo geológico se refiere a los periodos inmensos de la historia de la Tierra: eones, eras, periodos y épocas. Como esas magnitudes son difíciles de imaginar, la imagen las traduce a algo familiar: un año de calendario.

⇒ **OBSERVACIONES IMPORTANTES SOBRE LA IMAGEN**

- Es una imagen didáctica, no una tabla científica de precisión absoluta.
- Simplifica procesos muy largos, como la oxigenación de la atmósfera o la evolución de distintos grupos de seres vivos.
- Mezcla historia del universo e historia de la Tierra.
- Su gran valor no está en el detalle exacto de cada día, sino en la proporción general que transmite.

⇒ **LÍNEA DEL TIEMPO ESCRITA Y FÁCIL DE ENTENDER**

- **Escala general:** todo el universo condensado en un año.
  - **1 de enero**: origen del universo.
  - **Enero**: formación temprana de nuestra galaxia, la Vía Láctea.
  - **Hacia septiembre**: origen del sistema solar.
  - **Hacia septiembre**: formación de la Tierra y aparición de la vida.
  - **Hacia noviembre-diciembre**: gran oxigenación de la atmósfera.
  - **Hacia finales de noviembre o comienzos de diciembre**: aparición de la reproducción sexual.
- **Ampliación del mes de diciembre:**
  - **1 de diciembre: oxígeno en la atmósfera:** La imagen repite aquí este proceso para recalcar que la atmósfera oxigenada es tardía con respecto a toda la historia terrestre.
  - **19 de diciembre: primeras plantas:** La vida vegetal compleja en tierra aparece relativamente tarde dentro del año cósmico.
  - **23 de diciembre: primeros árboles y reptiles:** Los bosques y los reptiles surgen aún más tarde, ya en la parte final de diciembre.
  - **25 de diciembre: primeros dinosaurios:** Aunque a nosotros los dinosaurios nos parezcan antiquísimos, la imagen muestra que aparecen muy al final de la historia total.
  - **30 de diciembre: desaparición de dinosaurios y expansión de mamíferos:** La extinción de los dinosaurios no avianos y el desarrollo posterior de los mamíferos suceden casi al final del calendario.

- **30 o 31 de diciembre: primeros primates:** El linaje que acabará conduciendo a los seres humanos aparece muy cerca del cierre del año cósmico.

- **Ampliación del final del 31 de diciembre:**
  - **Últimos 10 minutos**: primeros Homo sapiens.
  - **Últimos minutos**: neandertales.
  - **Últimos 21 segundos**: toda la civilización humana.
- **Toda la historia de la civilización humana habría ocurrido en los últimos 21 segundos del año cósmico.**
  Esta frase es impactante, subraya que la civilización humana, con agricultura, ciudades, escritura, ciencia y mundo moderno, ocupa solamente un instante mínimo al final de todo el año.





EVENTOS GENERALES DEL AÑO CÓSMICO

EVENTO	FECHA REAL APROXIMADA	OBSERVACIÓN
Origen del universo	Hace 13.800 millones de años	Inicio del calendario cósmico.
Origen de nuestra galaxia, la Vía Láctea	Hace 13.200-13.600 millones de años	Formación temprana de nuestra galaxia.
Origen del sistema solar	Hace 4.570 millones de años	Se sitúa hacia septiembre en la imagen.
Formación de la Tierra	Hace 4.540 millones de años	Muy cercana al origen del sistema solar.
Vida en la Tierra	Hace 3.700-4.000 millones de años	Primeras evidencias de vida.
Oxígeno en la atmósfera	Hace 2.400 millones de años	Gran oxigenación; fue un proceso largo.
Origen de la reproducción sexual	Hace unos 1.200 millones de años	Innovación biológica aproximada, no una fecha exacta.

EVENTOS DEL MES DE DICIEMBRE

EVENTO EN LA IMAGEN	FECHA REAL APROXIMADA	COMENTARIO
Primeras plantas	Hace unos 470 millones de años	Si se refiere a plantas terrestres.
Primeros árboles	Hace unos 385 millones de años	Bosques primitivos.
Primeros reptiles	Hace unos 320 millones de años	Aparecen después de los árboles.
Primeros dinosaurios	Hace unos 230 millones de años	La imagen los coloca el 25 de diciembre.
Desaparición de los dinosaurios	Hace 66 millones de años	Extinción de los dinosaurios no avianos.
Expansión de los mamíferos	Desde hace 66 millones de años	Se acelera tras la extinción de los dinosaurios.
Primeros primates	Hace unos 55-65 millones de años	Muy cerca del final del año cósmico.

EVOLUCIÓN HUMANA EN EL TRAMO FINAL

EVENTO HUMANO	FECHA REAL APROXIMADA	EQUIVALENCIA EN LA IMAGEN
Primeros homínidos	Hace 6-7 millones de años	31 de diciembre, últimas horas.
Género Homo	Hace 2,5-2,8 millones de años	31 de diciembre, última hora.
Homo sapiens	Hace unos 300.000 años	31 de diciembre, últimos minutos.
Neandertales	Hace 400.000 a 40.000 años	31 de diciembre, últimos minutos.
Agricultura	Hace 10.000-12.000 años	Últimos segundos.
Historia escrita	Hace unos 5.000 años	Poquísimos segundos antes de medianoche.
Civilización humana histórica	Últimos 10.000-12.000 años	Aproximadamente últimos 21-25 segundos.

TABLA GENERAL CON TRES COLUMNAS FIJAS

EVENTO	FECHA REAL APROXIMADA	EQUIVALENCIA EN EL AÑO CÓSMICO
Origen del universo	Hace 13.800 millones de años	1 de enero, 00:00
Formación temprana de la Vía Láctea	Hace 13.200-13.600 millones de años	Enero
Formación del sistema solar	Hace 4.570 millones de años	Principios de septiembre
Formación de la Tierra	Hace 4.540 millones de años	Principios de septiembre
Primeras evidencias de vida	Hace 3.700-4.000 millones de años	Septiembre
Gran oxigenación de la atmósfera	Hace 2.400 millones de años	Finales de octubre o comienzos de noviembre
Primeros eucariotas complejos	Hace 1.800-2.100 millones de años	Noviembre
Aparición de la reproducción sexual	Hace unos 1.200 millones de años	Finales de noviembre
Primeros animales multicelulares	Hace 600-700 millones de años	Mediados de diciembre
Primeras plantas terrestres	Hace 470 millones de años	19 de diciembre
Primeros árboles	Hace 385 millones de años	21-23 de diciembre
Primeros reptiles	Hace 320 millones de años	23-24 de diciembre
Primeros dinosaurios	Hace 230 millones de años	25 de diciembre
Primeros mamíferos	Hace 200-220 millones de años	26 de diciembre
Extinción de los dinosaurios no avianos	Hace 66 millones de años	30 de diciembre
Expansión de los mamíferos	Desde hace 66 millones de años	30 de diciembre en adelante
Primeros primates	Hace 55-65 millones de años	30 de diciembre, casi al final
Primeros homininos	Hace 6-7 millones de años	31 de diciembre, últimas horas
Género Homo	Hace 2,5-2,8 millones de años	31 de diciembre, última hora
Homo sapiens	Hace 300.000 años	31 de diciembre, últimos minutos
Neandertales	Hace 400.000 a 40.000 años	31 de diciembre, últimos minutos
Agricultura	Hace 10.000-12.000 años	31 de diciembre, últimos segundos
Historia escrita	Hace unos 5.000 años	31 de diciembre, poquísimos segundos antes de medianoche
Civilización humana histórica	Últimos 10.000-12.000 años	Últimos 21-25 segundos

⇒ **ESCALA ORIENTATIVA DEL AÑO CÓSMICO**

- 1 mes equivale aproximadamente a 1.150 millones de años.
- 1 día equivale aproximadamente a 37,8 millones de años.
- 1 hora equivale aproximadamente a 1,58 millones de años.
- 1 minuto equivale aproximadamente a 26.000 años.
- 1 segundo equivale aproximadamente a 438 años.

Después de tiempo geológico, algo imprescindible para ordenar procesos muy largos y entender la evolución de la Península Ibérica a lo largo de miles de millones de años.

Sin esa escala temporal no se podrían situar correctamente **orogenias**, **extinciones**, **sedimentación ni aparición de nuevos grupos de seres vivos.**

→ puntos Importantes:

- El tiempo geológico divide la historia de la Tierra en grandes etapas.
- Estas divisiones permiten ordenar procesos, fósiles y cambios tectónicos.
- Sin escala temporal no se puede reconstruir la historia geológica.

⇒ TIEMPO GEOLÓGICO

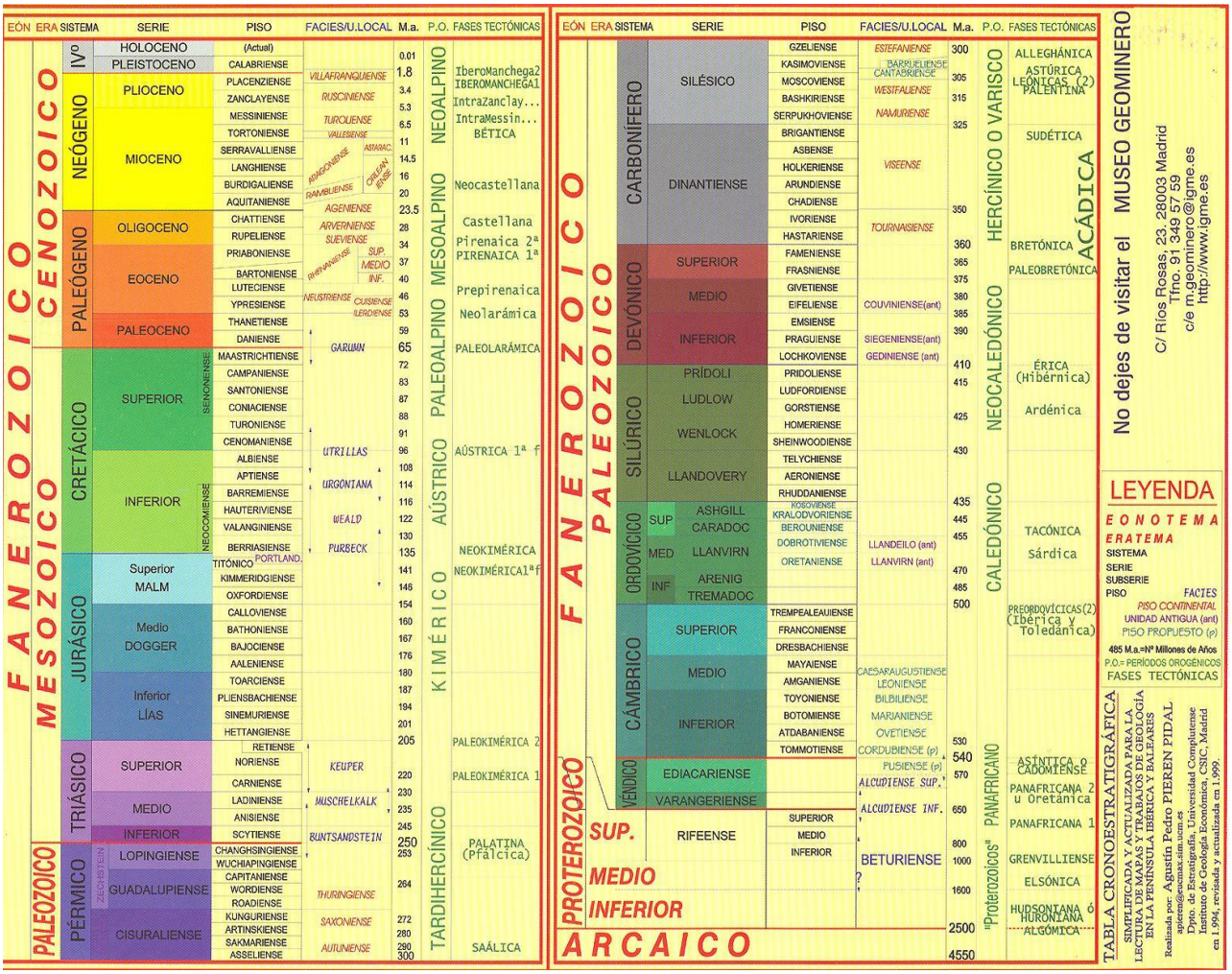
La diapositiva introduce la noción de tiempo geológico, imprescindible para ordenar procesos muy largos y entender la evolución de la Península Ibérica a lo largo de miles de millones de años.

Sin esa escala temporal no se podrían situar correctamente orogenias, extinciones, sedimentación ni aparición de nuevos grupos de seres vivos.

→ puntos Importantes:

- El tiempo geológico divide la historia de la Tierra en grandes etapas.
- Estas divisiones permiten ordenar procesos, fósiles y cambios tectónicos.
- Sin escala temporal no se puede reconstruir la historia geológica.

⇒ LA ESCALA Y LOS EVENTOS GEOLÓGICOS



Esta escala de tiempo es muy utilizada por los geólogos y otros científicos. Gracias a ella, **pueden asignar el tiempo y las fechas a los eventos más importantes de la Tierra.** Dentro de las rocas es donde se encuentra más información acerca de lo que ha ocurrido en nuestro planeta a lo largo de estos 4,5 mil millones de años.

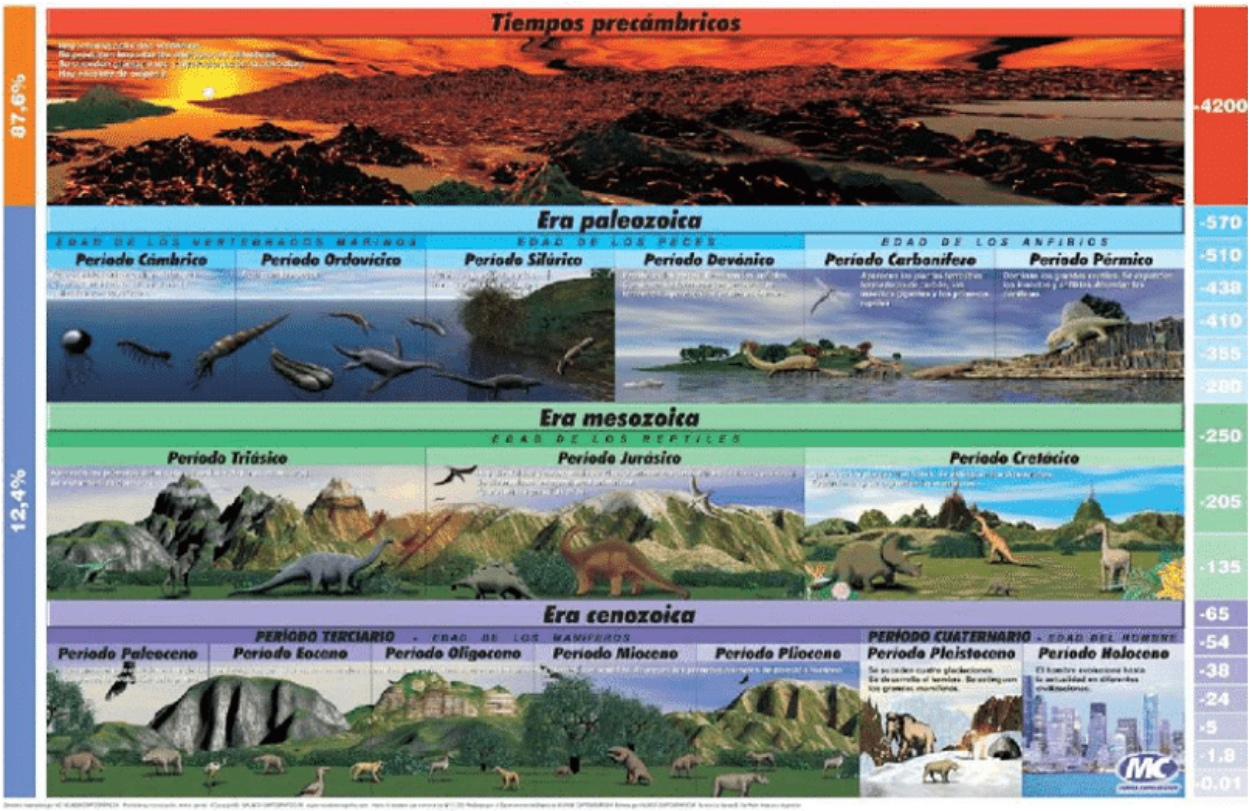
Hasta el siglo XVIII se pensaba que la Tierra tenía tan sólo unos pocos de miles de años. El verdadero conocimiento terrestre llegó con el descubrimiento de la radioactividad por Marie Curie en el siglo XX. Gracias a ello se ha podido fechar las rocas de la corteza terrestre y los meteoritos que caen.

Si queremos hablar de tiempo geológico, no podemos emplear unidades de tiempo como décadas o siglos. La forma más útil es la de dividir el tiempo por eventos principales geológicos. En definitiva, se trata de los grandes cambios sufridos por las rocas y seres vivos desde el origen de nuestro planeta.

En el tiempo geológico, la mayor unidad de tiempo utilizada es el eón. Este eón se divide en eras, periodos, épocas y etapas. Toda la historia de la Tierra se divide en dos grandes Eones de tiempo. El primero es el Precámbrico, donde se formó la Tierra hace unos 4,5 mil millones de años. **Terminó hace unos 570 millones de años**. Ahora estamos en el Eón Fanerozoico. Estos dos eones son demasiado grandes, por lo que necesitamos escalas de tiempo más pequeñas.

El **EON** es el mayor de todos en la escala del tiempo. **Se mide por cada 1.000 millones de años.** El paso del Precámbrico al Fanerozoico se da por la desintegración del supercontinente llamado **Pannotia**. Fanerozoico significa «vida visible». Ya había vida antes del comienzo de este eón, pero es este donde se forman más complejas y evolucionadas.

⇒ **ERA**



La era no es unidad exacta. Agrupa cambios geológicos o biológicos importantes sufridos por el planeta desde su formación. Cada era empieza con un evento importante. Por ejemplo, el Mesozoico comienza con la aparición de las primeras aves y mamíferos.

Las eras del tiempo geológico son: **Azoica, Arcaica, Proterozoica, Paleozoica (vida antigua), Mesozoica (vida intermedia) y Cenozoica (vida reciente).** Puesto que las eras son demasiado grandes en el tiempo, se necesita reducir las divisiones para tener más exactitud.

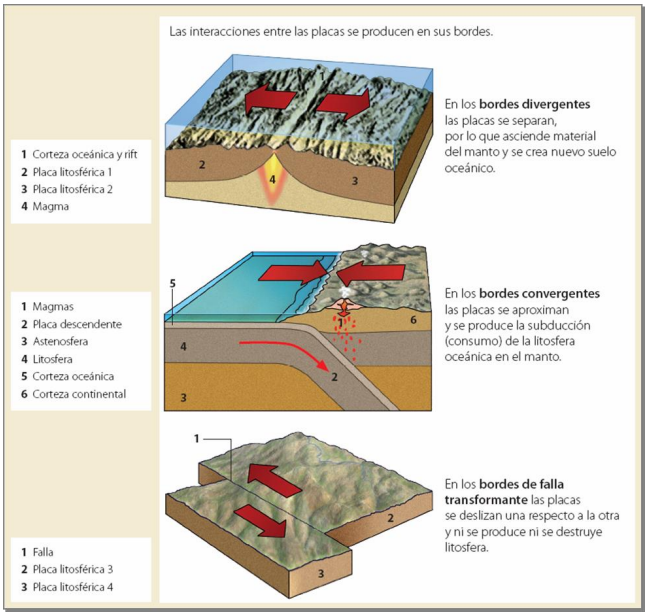
⇒ **PERIODO**

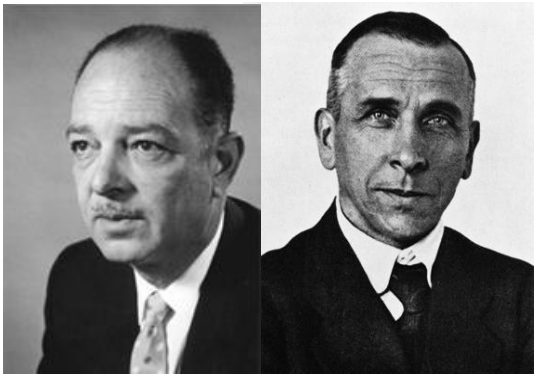
Se trata de la subdivisión de las eras. Cada periodo marca un evento geológico o la aparición de un ser viviente que sirve como marcado. Por ejemplo, en el periodo Cámbrico se rompe el supercontinente llamado Pangea. En este contexto, los cambios que han tenido lugar en cada periodo son relevantes para la comprensión de cómo se formaron los océanos.

ÉPOCA

La época es la división del periodo. En cada época se registran eventos geológicos a menor escala. Por ejemplo, en el Paleoceno se produce **la separación de Europa y Norteamérica**. Aunque en muchos mapas del tiempo geológico la última época que hay escrita es el Holoceno, la Tierra ya la ha superado. Ahora estamos situados en el Antropoceno. Se trata de la primera época definida por la acción del hombre.

⇒ TECTÓNICA DE PLACAS ALFRED WEGENER (DERIVA CONTINENTAL)





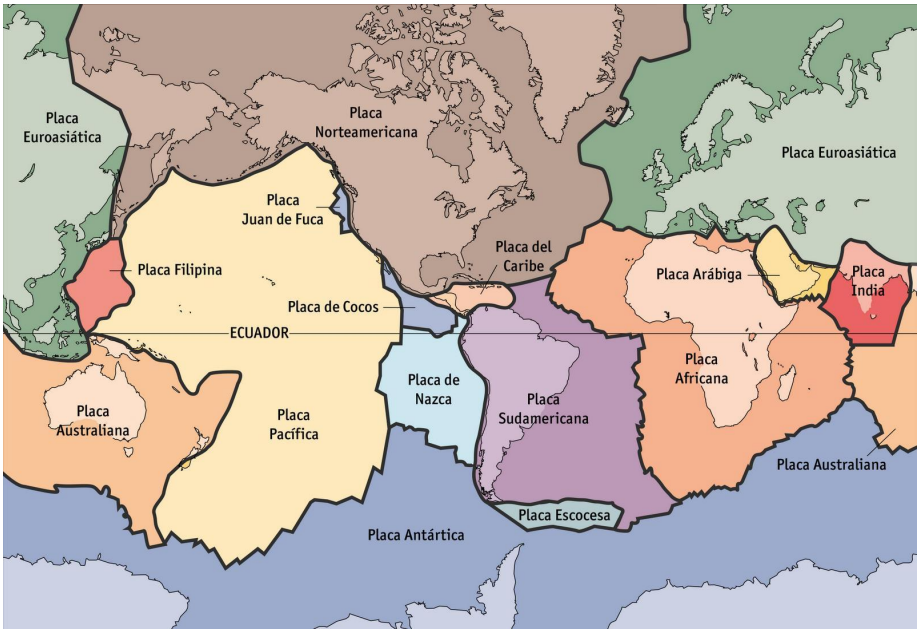
La diapositiva nos introduce en la tectónica de placas recordando dos aportaciones fundamentales. **Alfred Wegener** propuso la deriva continental y **Harry H. Hess** explicó la expansión del fondo oceánico. Ambas ideas acabaron integrándose en la teoría unificada de la tectónica de placas.

Esta teoría es esencial para el tema porque la historia de la Península Ibérica no puede entenderse aislada: depende de la posición y el movimiento relativo de placas como la africana y la euroasiática.

⇒ TECTÓNICA DE PLACAS

Esta diapositiva actúa como un apoyo visual del bloque temático. Su función es reforzar con ejemplos, mapas, fósiles o esquemas la explicación general de esa etapa geológica.

Conviene leerla siempre junto con las anteriores y posteriores, porque muchas de las siguientes explicaciones muestran ejemplos concretos de procesos, organismos o estructuras ya introducidos en el tema.

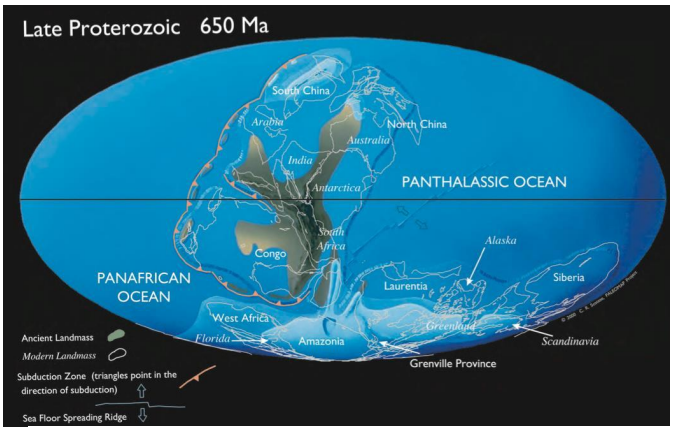


⇒ ERA ARCAICA (ARCAICO - PROTEROZOICO) (4.550 – 540 MA)

Hace 800 m.a.: existía un supercontinente (***pannotia***), el cual terminó por desintegrarse en cuatro.

Esta diapositiva corresponde al **Precámbrico**, una etapa muy antigua en la que se establecen materiales fundamentales del basamento y aparecen las primeras formas de vida conocidas. Los fósiles de este tiempo son escasos, pero muy significativos.

En el contexto de la Península Ibérica, este bloque ayuda a entender la base más antigua sobre la que después actuarán las grandes orogenias posteriores.

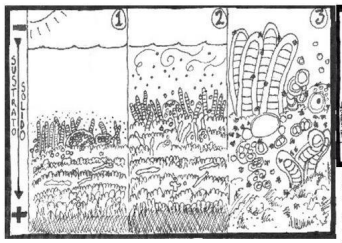


→ puntos Importantes:

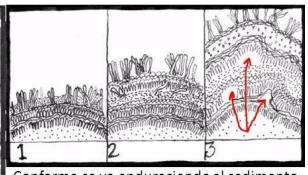
• En el Precámbrico se establecen los materiales más antiguos y las primeras formas de vida.

• Los acontecimientos de esta etapa condicionan la base estructural posterior.

• Es una era muy larga, con pocos fósiles y gran importancia tectónica.

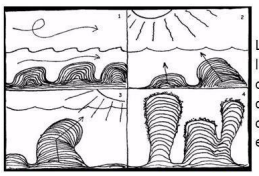


La precipitación, deposición y adherencia al mucílago de las algas va creando una trama mineral sólida.



Conforme se va endureciendo el sedimento las algas mueren y otros individuos colonizan la superficie, dándose lugar a una formación laminar.





Las corrientes y los tropismos condicionan la dirección del crecimiento del estromatolito.



Algunas rocas sedimentarias contienen restos de fósiles de vida marina primitiva uni y pluricelular, como algas, bacterias y los primeros restos de la fauna de Ediacara (Precámbrico).

En esta etapa es en la que se establecen materiales fundamentales del basamento y aparecen las primeras formas de vida conocidas. Los fósiles de este tiempo son escasos, pero muy significativos.



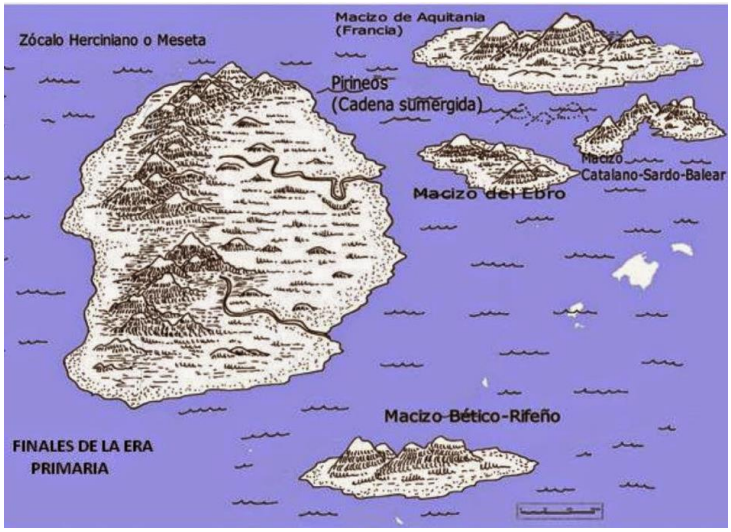
Esta diapositiva explica un episodio tectónico muy antiguo: el plegamiento huroniano. Según el tema, este evento generó una dorsal amplia con dirección NO-SE que sería el antecedente de estructuras como el Macizo Galaico y la Meseta Castellana.

Su interés es mostrar que la base más antigua de la Península comenzó a organizarse mucho antes de las orogenias más conocidas, y que algunos rasgos estructurales arrancan de tiempos precámbricos.



⇒ ERA PRIMARIA (PALEOZOICO) (540 – 250 MA)

Comienza la era con la erosión de esa dorsal precámbrica y la sedimentación de los materiales arrancados en depósitos de miles de metros de espesor colocados en las profundidades laterales del Mar de Tethys.



➢ Pero casi a finales del Paleozoico (durante el periodo Carbonífero, 360 millones de años) la **Orogénesis Herciniana** levantó todo el bloque del viejo macizo, a la vez que surgen y se adosan nuevos territorios a ambos lados del macizo precámbrico (Parte más occidental de la Cordillera Cantábrica, región Asturleonesa).

➢ En esta orogénesis afloran rocas formadas por enfriamiento del magma en el interior de la corteza (granito) y se metamorfizan los materiales preexistentes al verse sometidos a más calor y mayores presiones (las arcillas se transforman en pizarras y las areniscas en cuarcitas).

➢ Separados por fosas marinas se elevan y forman por el NE los macizos del Ebro, Aquitania y el Catalano-Balear. Por el Sur el macizo Bético-Rifeño.

→ puntos Importantes:

- La orogenia hercínica es una etapa clave en la formación del basamento peninsular.
- Produce levantamiento, metamorfismo y magmatismo.
- Muchos macizos antiguos españoles se relacionan con este episodio.

Por tanto, en la etapa del Carbonífero se produjo el movimiento orogénico herciniano, que hizo emerger nuevas tierras del mar y levantó nuevas cordilleras. Las nuevas tierras emergidas en el ámbito de lo que hoy es la Península Ibérica fueron:

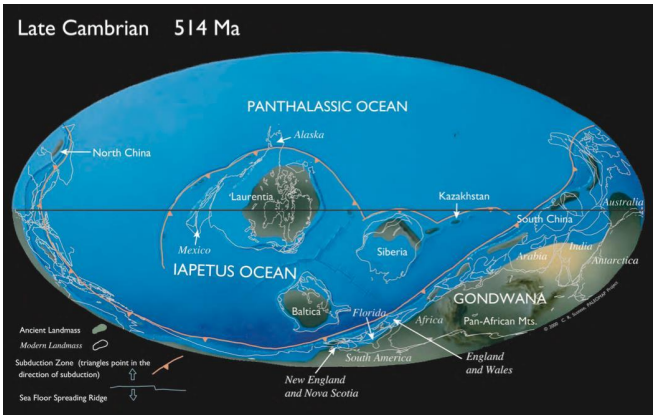
❖ **El macizo Hespérico**, que estaba basculado hacia el este (al contrario que hoy)

❖ **El macizo del Ebro**

❖ **El macizo de Aquitania**

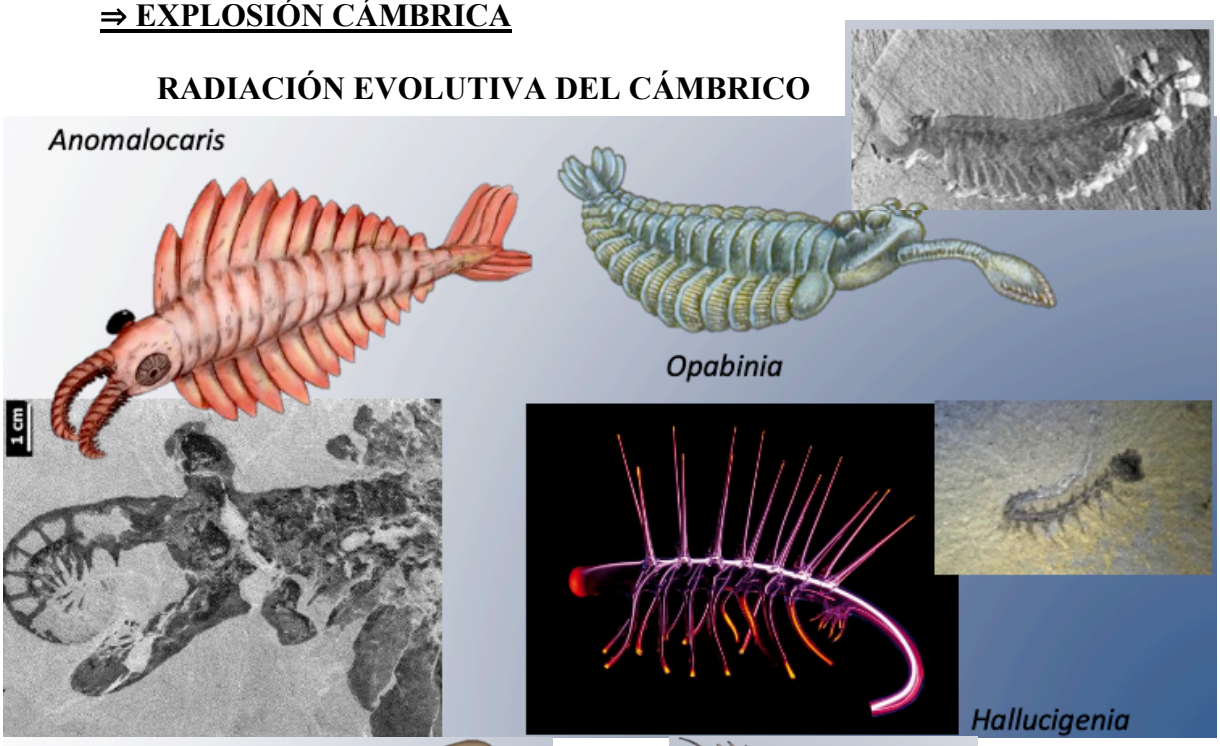
❖ **El macizo Catalano-balear**

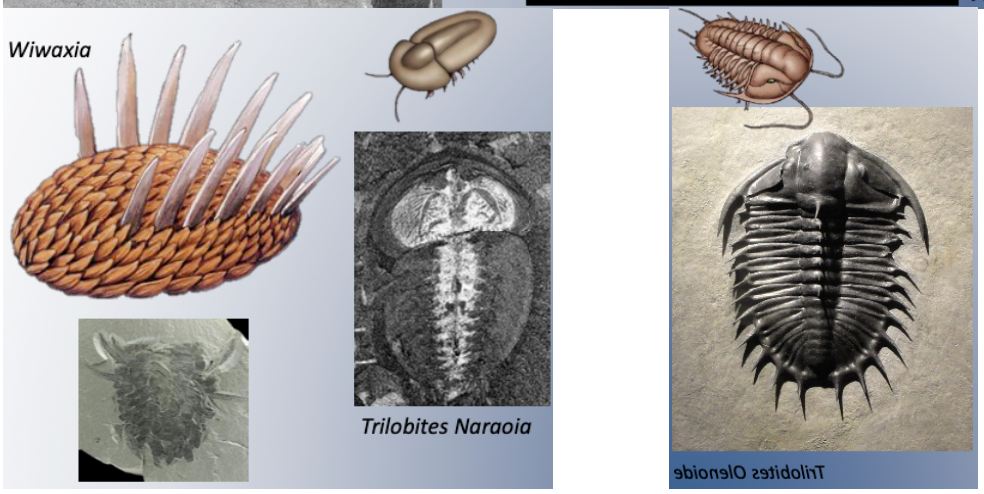
❖ **El macizo Bético-rifeño**



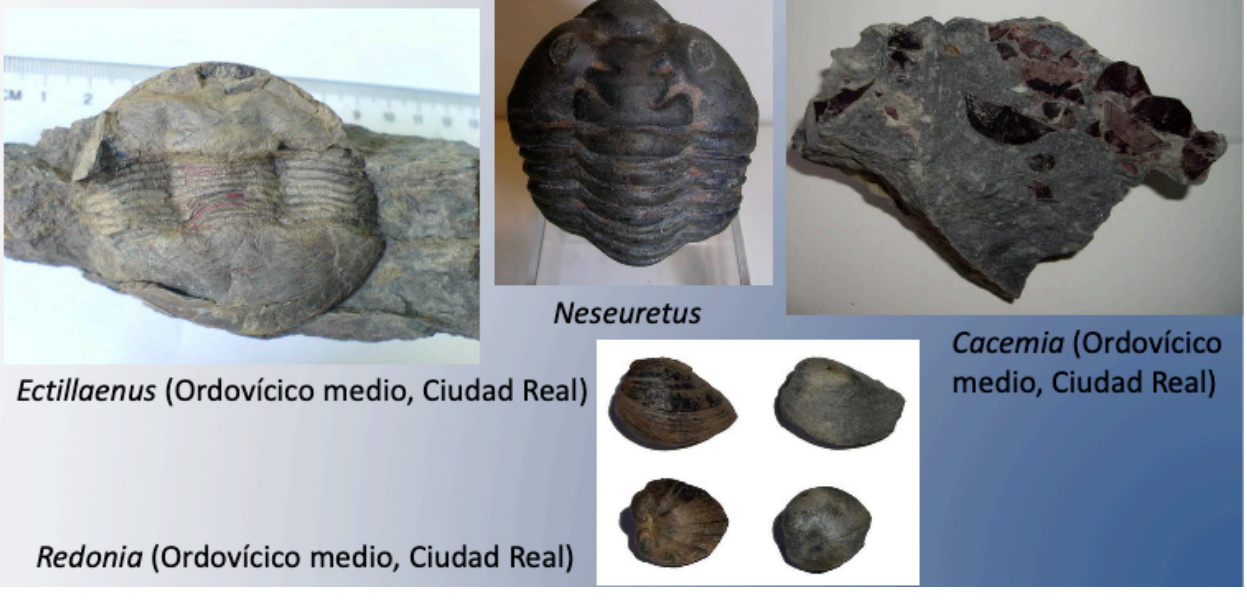
⇒ EXPLOSIÓN CÁMBRICA

RADIACIÓN EVOLUTIVA DEL CÁMBRICO





- **ORDOVÍCICO** (500-435 Ma)
  - Orogenia Caledónica (afecta la actual Europa)
  - Evolución de los Trilobites o otros grupos de invertebrados (braquiópodos, moluscos, briozoos,...)





⇒ ORDOVÍCICO (500-435 MA). CHECA (GUADALAJARA)

Checa, en Guadalajara, aparece como referencia local porque en esa zona afloran materiales paleozoicos valiosos para estudiar el Ordovícico. Estos ejemplos concretos acercan el tema general a lugares reales de la Península.

Cuando el temario cita una localidad concreta, la intención suele ser doble: mostrar un afloramiento significativo y recordar que los grandes procesos globales dejaron huellas visibles en el territorio español.



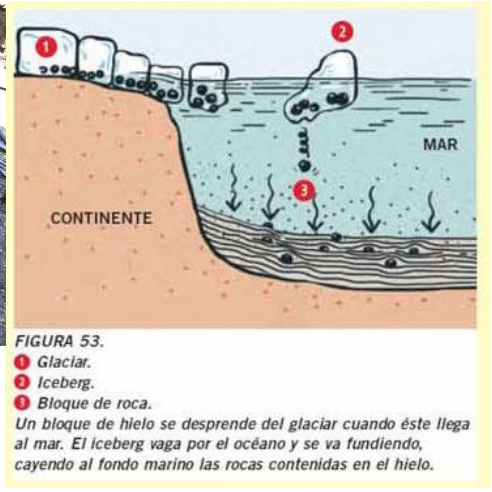
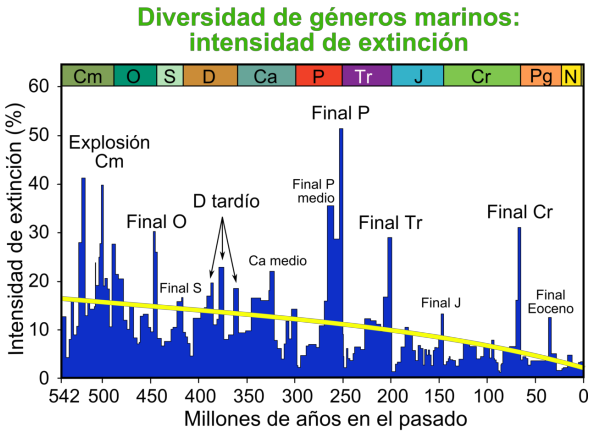


FIGURA 53.
1 *Glaciar.*
2 *Iceberg.*
3 *Bloque de roca.*
Un bloque de hielo se desprende del glaciar cuando éste llega al mar. El iceberg vaga por el océano y se va fundiendo, cayendo al fondo marino las rocas contenidas en el hielo.

⇒ ORDOVÍCICO (500-435 MA). EXTINCIÓN ORDOVÍCICO-SILÚRICO (450-440 MA)

La extinción **finiordovícica** fue una de las mayores crisis biológicas de la historia. Se asocia a una gran glaciación ligada al desplazamiento de Gondwana hacia latitudes polares, lo que provocó descenso del nivel del mar y una fuerte alteración de las condiciones oceánicas.

La bajada del mar no es un detalle menor: reduce plataformas someras, modifica corrientes y afecta a la oxigenación y al reparto de nutrientes. Por eso tantas especies marinas desaparecieron en un intervalo geológicamente corto.



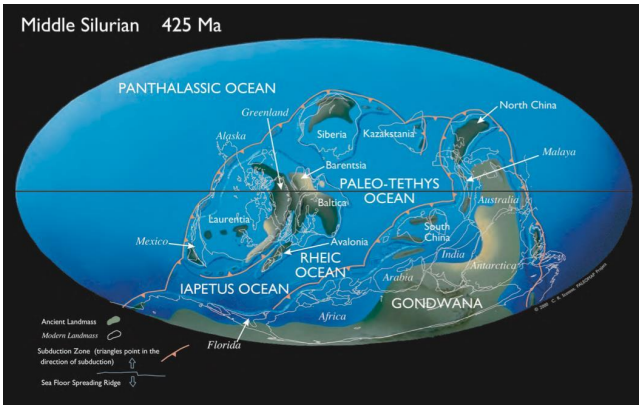
→ puntos Importantes:

• El Paleozoico combina mares extensos, gran diversidad biológica y fuertes movimientos orogénicos.

• En este tiempo se forman y transforman muchos de los materiales antiguos del territorio peninsular.

• Las extinciones y las colisiones continentales reordenan tanto la vida como el relieve.

⇒ SILÚRICO (435-410 MA)

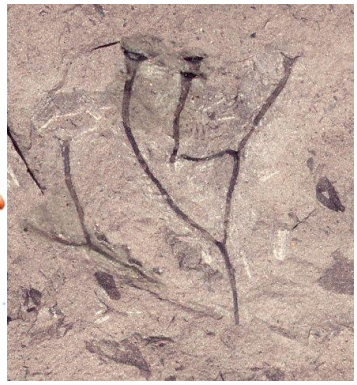


El Silúrico abre una fase de recuperación tras la gran crisis del final del Ordovícico. Muchos ecosistemas marinos se reorganizan y, al mismo tiempo, comienzan a producirse novedades clave que preparan la posterior conquista de la tierra firme.

En este período conviene fijarse en dos hilos paralelos: por una parte, prosiguen los procesos tectónicos y marinos; por otra, empiezan a aparecer organismos que anuncian cambios enormes en la historia de la vida.

⇒ PROSIGUE LA OROGENIA CALEDÓNICA

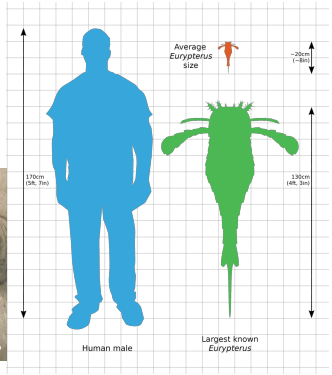




La **orogenia caledónica** afectó sobre todo a regiones de la actual Europa y refleja que el Paleozoico no fue un tiempo tranquilo, sino una época de deformaciones y colisiones. Al mismo tiempo, continúan evolucionando muchos invertebrados marinos.

Los trilobites y otros grupos que se citan aquí sirven como fósiles característicos del período y ayudan a fechar estratos y reconstruir ambientes marinos antiguos.

⇒ APARECEN LOS PRIMEROS ARTRÓPODOS EURYPTÉRIDOS





Los **euriptéridos** fueron grandes artrópodos, muchas veces depredadores, ligados sobre todo a ambientes acuáticos o de transición. Su aparición ayuda a imaginar un Silúrico donde los mares albergaban formas muy diferentes de las actuales y donde los artrópodos desempeñaban papeles ecológicos importantes.

También muestran que la diversificación no era solo una cuestión de especies nuevas, sino de estilos de vida, tamaños y estrategias biológicas cada vez más variados.

⇒ PRESENCIA DE GRAPTOLITOS

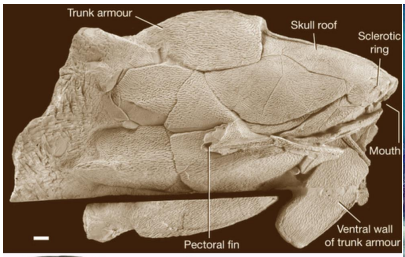


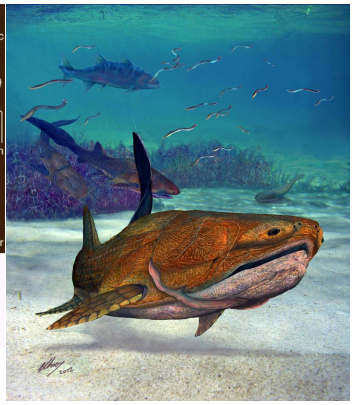


Los **graptolitos** son fósiles guía muy útiles para datar y correlacionar estratos paleozoicos, especialmente en ambientes marinos. Su importancia en geología histórica va más allá del organismo en sí: permiten ordenar el tiempo y relacionar afloramientos muy separados entre sí.

En un tema como este, su mención recuerda que la paleontología no solo habla de evolución, sino también de herramientas prácticas para reconstruir la historia geológica.

⇒ EVOLUCIONA EL GRUPO DE LOS PECES OSTRACODERMOS

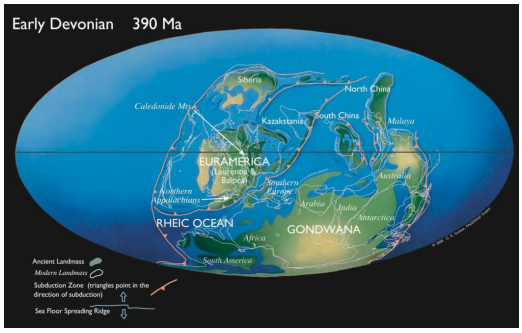




Los **ostracodermos** son algunos de los vertebrados más antiguos conocidos. Eran peces sin mandíbulas, generalmente acorazados en la región anterior del cuerpo, y constituyen un paso temprano en la historia evolutiva de los vertebrados.

Su aparición en el Ordovícico es importante porque muestra que la innovación biológica no se limitó a los invertebrados. También la línea vertebrada estaba dando ya pasos decisivos.

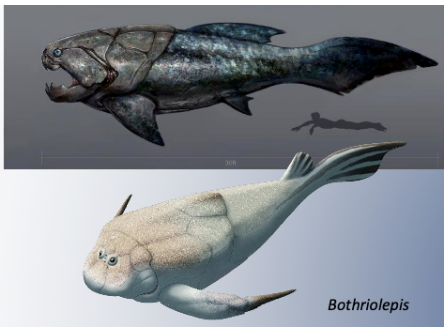
⇒ DEVÓNICO (410-360 MA)



El **Devónico** es conocido como una etapa clave para la evolución de los peces y para el desarrollo de los primeros grandes ecosistemas terrestres. Los mares continúan siendo muy ricos, pero la tierra firme ya empieza a transformarse de forma visible por la expansión vegetal.

A escala global y peninsular, es un período de cambios importantes tanto en la vida como en la organización continental y marina.

⇒ CONTINÚA LA OROGENIA CALEDÓNICA

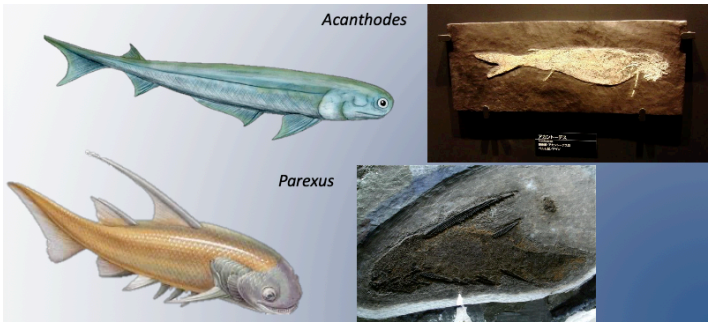




La **orogenia caledónica** afectó sobre todo a regiones de la actual Europa y refleja que el Paleozoico no fue un tiempo tranquilo, sino una época de deformaciones y colisiones. Al mismo tiempo, continúan evolucionando muchos invertebrados marinos.

Los trilobites y otros grupos que se citan aquí sirven como fósiles característicos del período y ayudan a fechar estratos y reconstruir ambientes marinos antiguos.

⇒ PROLIFERAN LOS PECES ACANTODIOS

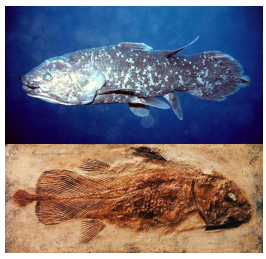


Los acantodios eran peces generalmente pequeños, con espinas óseas al inicio de las aletas y esqueleto cartilaginoso. Su estudio ayuda a entender las etapas intermedias y la diversidad de formas que existieron dentro de la evolución de los peces mandibulados.

No se trata solo de memorizar rasgos anatómicos. Esos rasgos muestran cómo la evolución ensaya diferentes soluciones de locomoción, protección y alimentación dentro del medio acuático.

⇒ CELACANTO (PEZ CON ALETAS LOBULADAS → SARCOPTERIGIO)

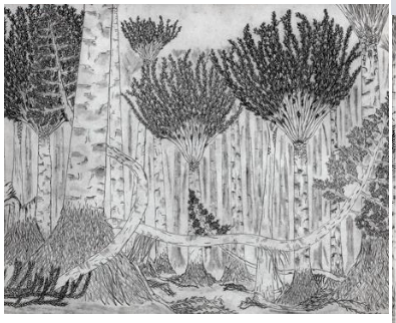




Los sarcopterigios, peces de aletas lobuladas como los celacantos, tienen un interés especial porque están próximos a la línea evolutiva que llevará a los tetrápodos. Sus aletas carnosas aportan un modelo anatómico más cercano al futuro esqueleto de extremidades terrestres.

ºLos ammonoideos que aparecen asociados recuerdan, además, que el Devónico combina importantes innovaciones vertebradas con una gran riqueza de invertebrados marinos.

⇒ BOSQUES → HELECHOS ARBORESCENTES

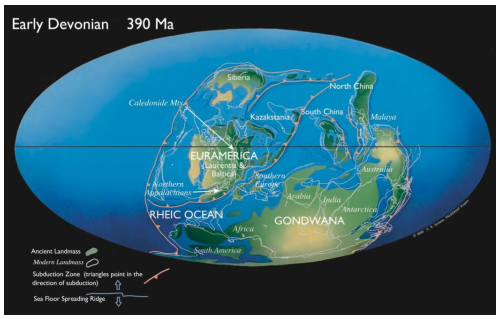




La aparición de los primeros bosques transforma profundamente el planeta. Árboles tempranos y helechos arborescentes modifican el paisaje, estabilizan suelos, retienen humedad y alteran los ciclos del carbono y del oxígeno.

No es solo una novedad botánica. La extensión de vegetación alta cambia la erosión, la sedimentación y las condiciones de vida de muchos otros organismos, tanto acuáticos como terrestres.

⇒ LAURENTIA Y BÁLTICA → EURAMÉRICA



La unión de **Laurentia** y **Báltica** para formar **Euramérica** muestra que la historia biológica va unida a la tectónica. Cuando cambian las posiciones de los continentes, cambian también mares, climas, rutas de dispersión y condiciones sedimentarias.

Para la geología histórica de Iberia es esencial entender estas agrupaciones continentales, porque condicionan el marco en que después se producirán colisiones mayores que producirán **Pangea**.

⇒ EXTINCIÓN MASIVA DE FINALES DEL DEVÓNICO

Al final del período Pérmico (hace unos 252 millones de años), la Tierra experimentó lo que los científicos llaman **"La Gran Mortandad"** (*The Great Dying*). Fue el evento de extinción más devastador en la historia del planeta.

Un vistazo a la catástrofe

Para hacerse una idea de la magnitud, la vida marina estuvo a punto de desaparecer por completo. Aquí se ve la distribución del "golpe" biológico:

GRUPO AFECTADO	PORCENTAJE DE EXTINCIÓN (APROX.)
Especies Marinas	**96%**
Vertebrados Terrestres	**70%**
Familias de Insectos	**57%** (única extinción masiva que los golpeó duro)

→ ¿Por qué fue tan letal en el océano?

La Tierra estuvo a un paso de colgar el cartel de "Cerrado por reformas". Las causas principales en el entorno marino fueron:

- **Anoxia:** Los océanos perdieron gran parte de su oxígeno, asfixiando con ello a las especies.

- **Acidificación:** Las erupciones masivas en las **Traps siberianos** (es una inmensa acumulación de rocas volcánicas) liberaron tanto CO_2 que el pH del agua bajó drásticamente, disolviendo las conchas y esqueletos de criaturas como los corales y los icónicos trilobites.
- **Calentamiento extremo:** El agua alcanzó temperaturas tan altas que el metabolismo de muchos organismos no pudo resistirlo.

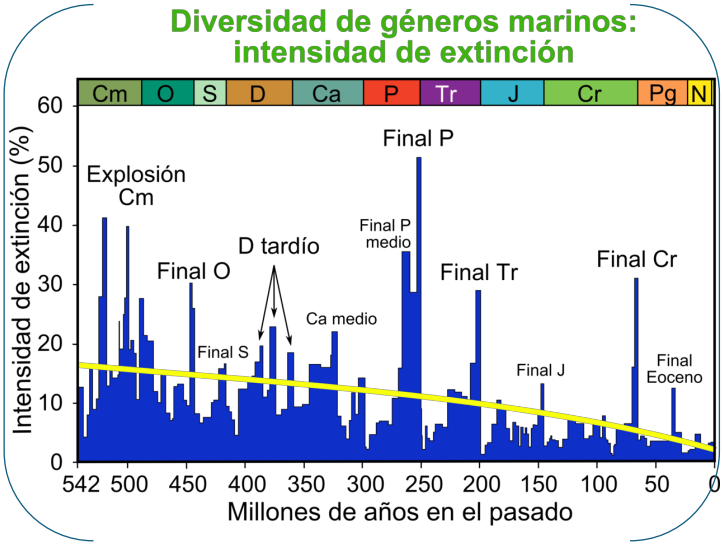
Fue un "borrón y cuenta nueva" biológico que tardó millones de años en recuperarse, permitiendo que, eventualmente, los dinosaurios tomaran el relevo en el Triásico.

1. ¿Qué representa esta gráfica?

- **Eje horizontal (abajo):** millones de años en el pasado (desde ~542 Ma hasta hoy).
- **Eje vertical:** porcentaje de géneros marinos que se extinguen en cada intervalo.

Las **barras azules** indican cuánto se extingue en cada momento.

- También hay muchas extinciones pequeñas, pero se destacan los **picos grandes**, que corresponden a **extinciones masivas**.



Las **siglas de la parte superior son periodos geológicos**, ordenados de más antiguo a más reciente:

SIGLA	PERIODO GEOLÓGICO	APROXIMACIÓN TEMPORAL
Cm	Cámbrico	541–485 Ma
O	Ordovícico	485–444 Ma
S	Silúrico	444–419 Ma
D	Devónico	419–359 Ma
Ca	Carbonífero	359–299 Ma
P	Pérmico	299–252 Ma
Tr	Triásico	252–201 Ma
J	Jurásico	201–145 Ma
Cr	Cretácico	145–66 Ma
Pg	Paleógeno	66–23 Ma
N	Neógeno	23–2,6 Ma (hasta la actualidad reciente)

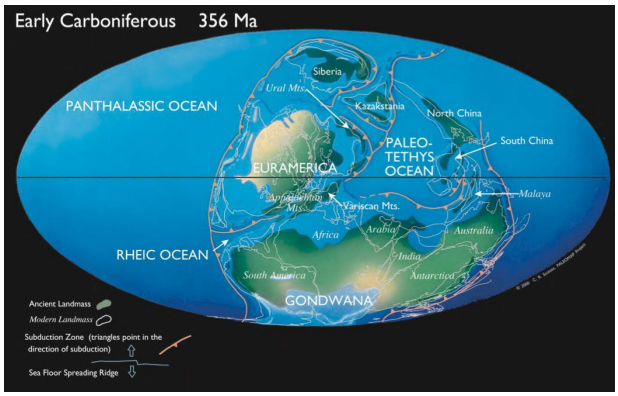
2. Los grandes picos

- **Explosión Cm (Cámbrico)** → no es una extinción, sino aumento de diversidad inicial.
- **Final O** → final del Ordovícico (~445 Ma)
- **Final D tardío** → Devónico tardío (~370 Ma)
- **Final P (Pérmico)** → la mayor extinción de la historia (~252 Ma)
- **Final Tr** → Triásico (~201 Ma)
- **Final J** → Jurásico (~145 Ma, menor)
- **Final Cr** → Cretácico (~66 Ma, dinosaurios)
- **Final Eoceno** → evento menor

→ **Observación importante:**

la línea amarilla señala una **tendencia general descendente**, ya que, con el tiempo, **las extinciones fueron menos intensas en promedio**.

⇒ CARBONÍFERO (360-300 MA)



El Carbonífero inaugura una etapa muy importante para la Península y para la historia geológica mundial. Aumentan los grandes bosques pantanosos, se intensifica la actividad tectónica herciniana y se generan ambientes capaces de originar grandes acumulaciones de materia vegetal.

Ese contexto explica por qué el Carbonífero tiene tanta relevancia económica además de geológica: en él se encuentran las bases de numerosos depósitos carbonosos.

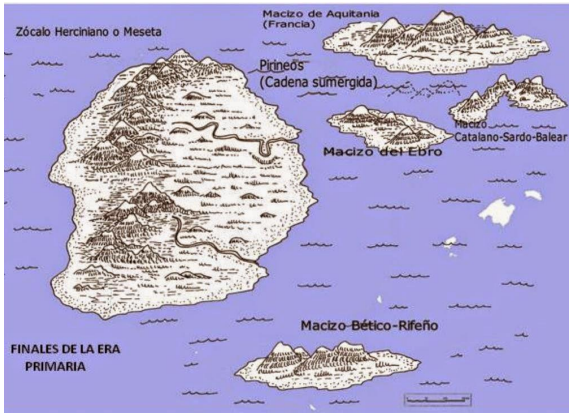
→ puntos Importantes:

• El Paleozoico combina mares extensos, gran diversidad biológica y fuertes movimientos orogénicos.

• En este tiempo se forman y transforman muchos de los materiales antiguos del territorio peninsular.

• Las extinciones y las colisiones continentales reordenan tanto la vida como el relieve.

⇒ COMIENZA LA OROGENIA HERCÍNICA → EMERGEN NUEVAS TIERRAS



El inicio de la **orogenia hercínica** marca el momento en que nuevas tierras emergen y se avanza hacia la futura Pangea. No es un episodio puntual, sino un proceso prolongado de colisión, deformación y levantamiento de grandes masas continentales.

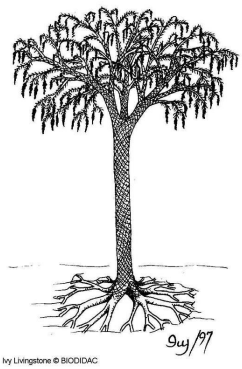
Desde la perspectiva peninsular, esta orogenia es básica porque organiza el basamento antiguo y deja estructuras que condicionarán toda la evolución posterior.

⇒ EURAMÉRICA Y GONDWANA COLISIONAN

La unión de Laurentia y Báltica para formar Euramérica muestra que la historia biológica va unida a la tectónica. Cuando cambian las posiciones de los continentes, cambian también mares, climas, rutas de dispersión y condiciones sedimentarias.

⇒ GRANDES BOSQUES



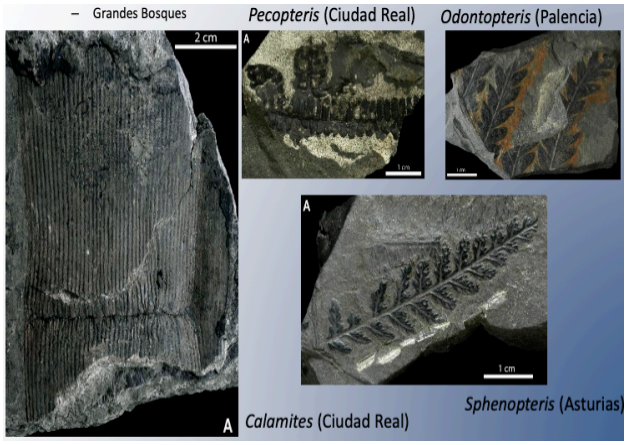


Los grandes bosques carboníferos estaban dominados por licófitas gigantes, equisetos arborescentes y otros vegetales propios de medios cálidos y húmedos. Su abundancia favoreció una producción enorme de materia orgánica.


Lepidodendron (Licófitas)

Cuando esa vegetación queda enterrada en ambientes apropiados y durante mucho tiempo, puede transformarse en carbón. Por eso el Carbonífero es inseparable del origen de importantes recursos energéticos fósiles.

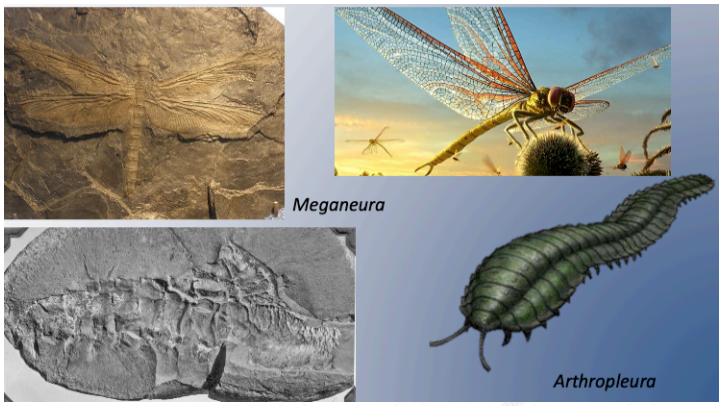




⇒ APARICIÓN DE INSECTOS DE GRAN ENVERGADURA

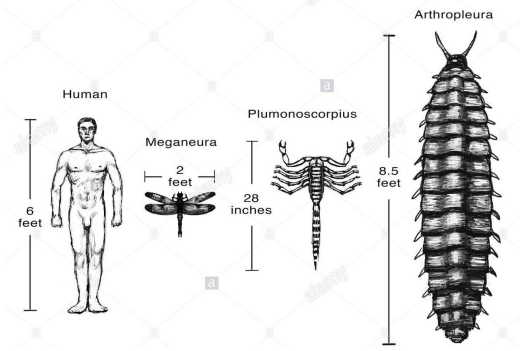
La presencia de insectos de gran tamaño, como *Meganeura*, y de artrópodos terrestres gigantes, como *Arthropleura*, refleja condiciones atmosféricas y ecológicas muy diferentes de las actuales. Se suele relacionar este gigantismo con altos niveles de oxígeno y con ecosistemas pantanosos muy productivos.

Estas formas llaman la atención, pero además son útiles para visualizar que el Carbonífero fue un mundo biológico singular, muy alejado del paisaje moderno.

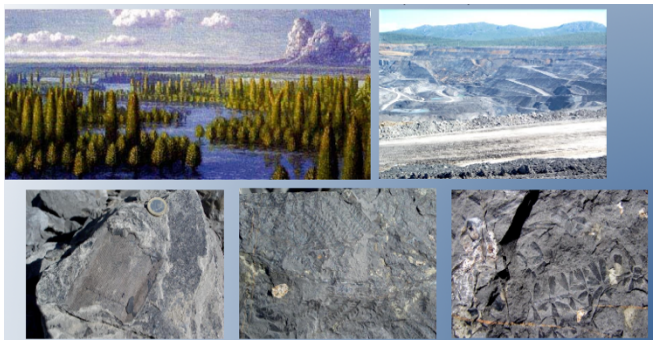


Estas imágenes refuerzan la idea del Carbonífero como una época de exuberancia vegetal y de artrópodos impresionantes. Funcionan como apoyo visual para imaginar la escala de aquellos organismos y el ambiente en el que vivían.

Conviene interpretarlas como reconstrucciones de un ecosistema dominado por humedales, vegetación densa y abundante acumulación de materia orgánica.



⇒ PUERTOLLANO – MINA EMMA (CARBÓN)



La mención de Puertollano y de la mina Emma conecta el Carbonífero con un ejemplo concreto de aprovechamiento posterior de los materiales generados entonces. Los carbones no son solo un dato del pasado: se han convertido en recursos explotados históricamente.

Estos ejemplos locales ayudan a ver cómo la geología histórica repercute en la economía y en la ocupación humana del territorio muchos millones de años después.

⇒ EFECTOS OROGENIA HERCÍNICA

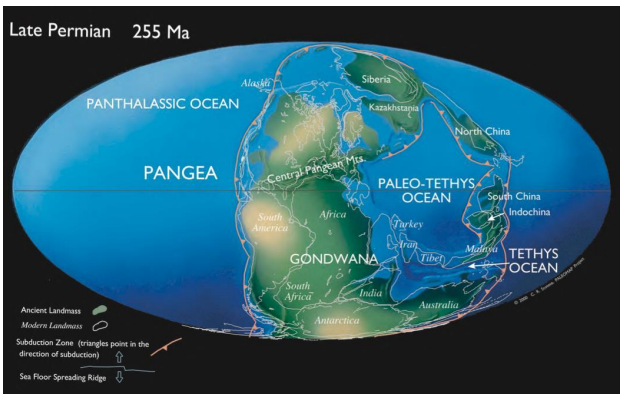
La orogenia hercínica dejó huellas estructurales visibles en muchos paisajes peninsulares. Deformación, fracturación, intrusiones graníticas y



metamorfismo contribuyeron a crear un relieve que luego sería muy erosionado, pero cuya base sigue siendo fundamental.

El ejemplo de campo recuerda que las orogenias no son ideas abstractas: pueden leerse en afloramientos concretos, carreteras, sierras y cortes geológicos reales.

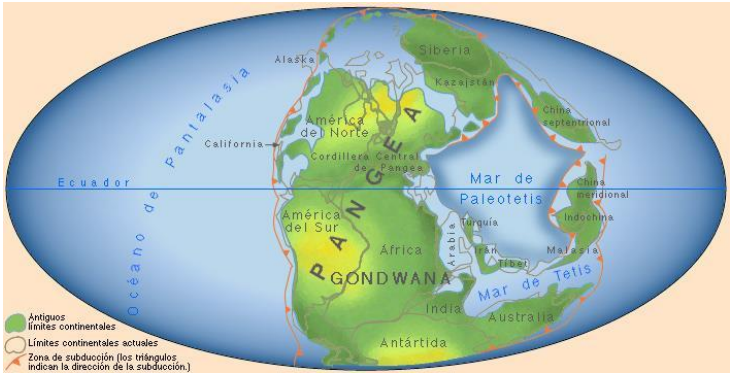
⇒ PÉRMICO (300-250 MA)



El Pérmico cierra el Paleozoico y hereda todavía parte de la dinámica herciniana (conocida como **orogenia varisca o hercínica)**. Al mismo tiempo, es una etapa de fuerte continentalidad y de consolidación de la gran masa de Pangea.

Biológicamente, prepara el escenario previo a la mayor extinción masiva conocida. Geológicamente, representa un momento de transición muy importante hacia el mundo mesozoico.

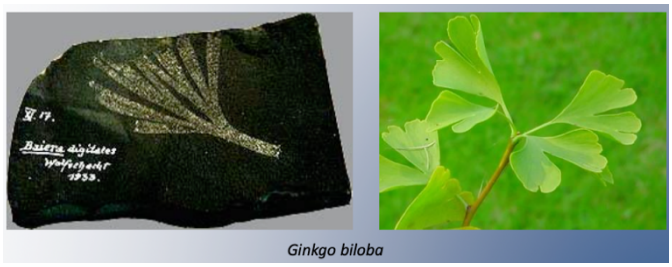
⇒ LA OROGENIA HERCÍNICA



La formación de Pangea supone la culminación de grandes colisiones continentales. Un único supercontinente cambia profundamente el reparto de mares, la circulación atmosférica, la humedad y los ambientes sedimentarios.

Para la futura Península, este encaje continental es esencial porque determina la disposición de bloques y cuencas que luego participarán en la ruptura posterior.

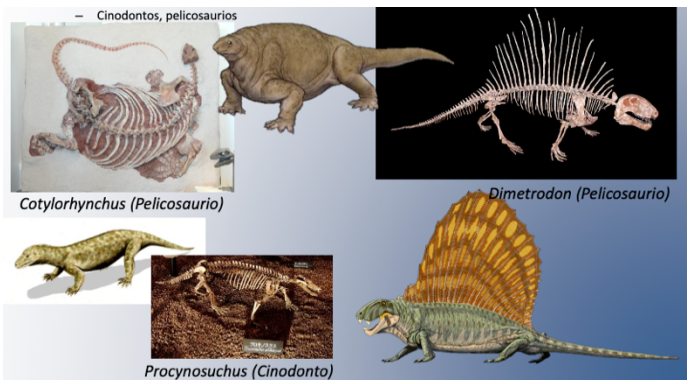
⇒ APARICIÓN DE LAS GINMOSPERMAS, (CONÍFERAS, GINKGOS, CICADÁCEAS)



La expansión de las gimnospermas durante el Pérmico muestra un cambio vegetal importante. Frente a floras anteriores más ligadas a grandes humedales, estas plantas se adaptan mejor a condiciones más secas y continentales.

Coníferas, ginkgos y cicadáceas anticipan paisajes que serán característicos también en gran parte del Mesozoico, de modo que aquí se ve ya un cambio de tendencia ecológica.

⇒ CINODONTOS, PELICOSAURIOS



Cinodontos y *pelicosaurios* representan grupos muy relevantes en la evolución de los vertebrados terrestres. No eran dinosaurios, sino formas anteriores que muestran cómo se estaba diversificando la vida continental antes del gran dominio mesozoico.

Su estudio ayuda a comprender que la transición hacia mamíferos y reptiles más modernos es larga y está llena de grupos intermedios y experimentales.

⇒ GRAN EXTINCIÓN A FINALES DEL PERÍODO

La extinción del final del Pérmico fue la mayor crisis biológica conocida. Desapareció la mayor parte de las especies marinas y una fracción enorme de los vertebrados terrestres, lo que reconfiguró completamente la vida posterior.

El vulcanismo masivo de las Trampas Siberianas se considera una de las hipótesis más potentes porque pudo alterar clima, océanos y composición atmosférica de forma extrema. Sea cual sea la combinación exacta de causas, el efecto fue devastador.

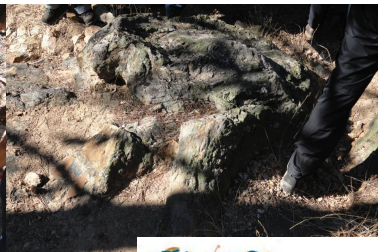
Esta tabla de datos nos sirve para reforzar la magnitud de la crisis. En un tema como este de historia geológica, los datos visuales ayudan a fijar que ciertas transiciones no son suaves, sino auténticos puntos de ruptura.

Después de una extinción de este tamaño, la recuperación biológica no consiste en volver a lo anterior, sino en abrir un escenario completamente nuevo para los supervivientes.

EXTINCIONES MARINAS	GÉNEROS EXTINTOS	NOTAS
Invertebrados marinos		
Foraminíferos	97%	Los fusulínidos se extinguieron, pero estaban casi extintos antes de la catástrofe.
Radiolarios (plancton)	99%	
Anthozoa (anémonas de mar, corales, etc.)	96%	Los corales tabulados y rugosos se extinguieron.
Briozoos	79%	Los fenestrados, trepóstomos y criptóstomos se extinguieron.
Braquiópodos	96%	Los órtidos y prodúctidos se extinguieron.
Bivalvos	59%	
Gasterópodos (caracoles)	98%	
Amonitas (cefalópodos)	97%	
Crinoideos (equinodermos)	98%	Los inadunados y camerados se extinguieron.
Blastoides (equinodermos)	100%	Pueden haberse extinguido poco antes del límite P-Tr.
Trilobites	100%	En declive desde el Devónico; solo 2 géneros vivían antes de la extinción.
Euripteridos ("escorpiones marinos")	100%	Pueden haberse extinguido poco antes del límite P-Tr.
Ostrácodos (pequeños crustáceos)	59%	
Peces		
Acantodios	100%	En declive desde el Devónico, con solo una familia viva.

⇒ PÉRMICO (300-250 MA) - RILLO DE GALLO (GUADALAJARA)







Rillo de Gallo, en Guadalajara, aparece como localidad de interés geológico porque conserva materiales útiles para interpretar el Paleozoico superior. Este tipo de referencias localiza en el mapa español procesos que a menudo se explican de forma muy global.

Ver nombres concretos de lugares ayuda a entender que la historia de la Península no es solo teoría: está escrita en afloramientos que todavía pueden estudiarse sobre el terreno.

⇒ TRANSICIÓN DEL PALEOZOICO AL MESOZOICO

Esta transición marca el cierre del Paleozoico y el paso a un mundo muy distinto. Tras las grandes colisiones hercinianas y la formación de Pangea, el siguiente gran escenario estará dominado por erosión, sedimentación y posteriores aperturas de cuencas.

Leer bien esta transición es importante porque explica por qué el relieve herciniano antiguo pasa a ser rebajado y cubierto por sedimentos durante buena parte del Mesozoico.

La **Era Mesozoica**, conocida también como la **Era Secundaria** o la "Era de los Reptiles", es el periodo de la historia de la Tierra que se extiende aproximadamente desde hace **252 hasta hace 66 millones de años**.

Tras el vacío biológico dejado por la "Gran Mortandad" al final del Pérmico, el Mesozoico se convirtió en un laboratorio evolutivo donde surgieron los grupos que dominan el mundo actual.

La era se divide en tres periodos principales, cada uno con una identidad biológica y geológica única:

PERIODO	DURACIÓN (APROX.)	HITO PRINCIPAL
Triásico	252 - 201 Ma	La recuperación de la vida y la aparición de los primeros dinosaurios y mamíferos.
Jurásico	201 - 145 Ma	El apogeo de los grandes dinosaurios y la ruptura definitiva de Pangea.
Cretácico	145 - 66 Ma	Aparición de las flores (angiospermas) y el fin de la era con el impacto de un asteroide.

→ La Vida en el Mesozoico: Del Colapso a la Gloria

El Mesozoico comenzó con un océano y una tierra casi vacíos. La fauna marina tuvo que reconstruirse a partir de los escasos supervivientes de la extinción masiva:

- **El resurgir de los Cefalópodos:** Aunque las Amonitas perdieron el **97%** de sus géneros al final del Paleozoico, lograron una recuperación asombrosa, convirtiéndose en el fósil guía más importante del Mesozoico.
- **Dominio de los Moluscos:** Los **Bivalvos** (que solo perdieron el **59%** de sus géneros) y los **Gasterópodos** (que sobrevivieron a pesar de una pérdida del **98%**) se expandieron rápidamente para ocupar los nichos que antes pertenecían a los Braquiópodos (96% de extinción).
- **Reptiles Gigantes:** Mientras los dinosaurios dominaban la tierra, el mar fue colonizado por reptiles adaptados al agua como los **Ictiosaurios** y **Plesiosaurios**.
- **Nuevos Bosques:** La vegetación pasó de los helechos gigantes del Paleozoico a las **Gimnospermas** (coníferas) y, avanzado el Cretácico, a las primeras plantas con flores.

→ Geodinámica: La ruptura de Pangea

Al inicio del Mesozoico, todas las tierras estaban unidas en el supercontinente **Pangea**. A lo largo de estos 180 millones de años, las fuerzas tectónicas fragmentaron esta masa de tierra:

1. Se formaron dos grandes masas: **Laurasia** al norte y **Gondwana** al sur.
2. La apertura del Océano Atlántico comenzó a separar América de África y Europa.
3. Este movimiento continental aisló poblaciones de animales, acelerando la evolución y la diversificación de las especies.

→ El Final de una Era (Extinción K-Pg)

Hace 66 millones de años, el Mesozoico terminó de forma abrupta. Posiblemente causado por el impacto de un asteroide en la península de Yucatán (México), sumado a una intensa actividad volcánica en la India, provocó la extinción de aproximadamente el **75% de las especies**, incluyendo:

- Todos los dinosaurios no avianos.
- Los reptiles marinos gigantes.
- Las amonitas (que esta vez no lograron sobrevivir como lo hicieron en el Pérmico).

- **Dato Curioso:** Sin la extinción masiva del final del Mesozoico, los mamíferos (que durante toda esta era fueron pequeños animales nocturnos similares a musarañas) probablemente nunca habrían tenido la oportunidad de ocupar el trono ecológico que hoy ostentamos los humanos.

⇒ FUE UNA ETAPA DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN

- Erosión en las zonas elevadas por el por el movimiento herciniano, dando lugar a penillanuras y a que algunas partes, especialmente las orientales del macizo Hespérico, fuesen cubiertas por el mar.
- Depósitos: continentales, en el interior de las tierras emergidas, y marinos, en las zonas cubiertas por el mar. Estos últimos eran más importantes, conforme más distantes estaban de las zonas emergidas.



- Durante este periodo emergieron nuevas tierras debido al movimiento herciniano. El macizo Hespérico, el del Ebro, Aquitania, el Catalano-balear y el Bético-rifeño forman parte de esa reorganización tectónica y explican por qué, desde muy pronto, el área peninsular quedó compartimentada en bloques con historias diferentes. Lo esencial aquí es entender que muchos de esos macizos no son cordilleras jóvenes como las actuales, sino núcleos antiguos que después serían erosionados, fracturados o reutilizados por movimientos más recientes.

- En esta etapa comenzó la separación de Europa de Norteamérica, abriéndose el océano atlántico; con su apertura y la formación de grandes fosas marinas cambiaron por completo el marco geodinámico. Las cuencas pirenaica y bética acumulaban espesores enormes de sedimentos marinos que más tarde serían comprimidos y elevados.
  Aquí se ve muy bien cómo primero se crean espacios de sedimentación y solo después, con otra orogenia, esos materiales pasan a formar montañas.

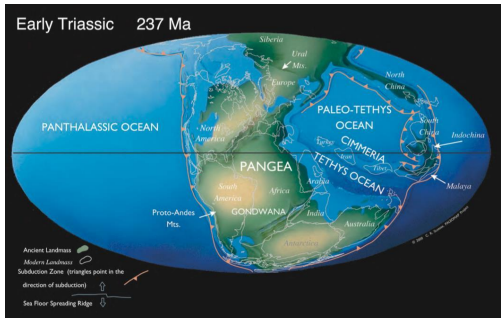
- Los macizos paleozoicos van siendo progresivamente. erosionados, depositándose los materiales en los bordes de los fondos oceánicos. Las transgresiones y regresiones marinas del borde oriental del macizo Hespérico explican la alternancia entre zonas emergidas y zonas cubiertas por el mar.

- Cada avance o retroceso del mar deja nuevos sedimentos y modifica la línea de costa.

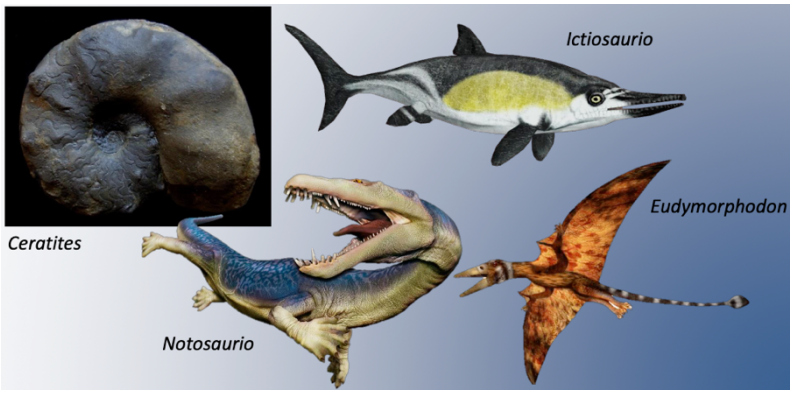
- Las grandes acumulaciones de calizas y arcillas en fosas profundas serán fundamentales para los relieves jurásicos y kársticos posteriores. Es un buen ejemplo de cómo un paisaje moderno nace de un proceso sedimentario mucho más antiguo.

⇒ SE INICIA LA RUPTURA DE PANGEA A FINALES DEL TRIÁSICO

El Triásico abre el Mesozoico y coincide con el inicio de la ruptura de Pangea. Comienza así un proceso de fragmentación continental que acabará dando lugar a nuevos océanos y a una reorganización profunda de mares y masas terrestres. Este contexto tectónico es esencial para entender la evolución posterior de las cuencas ligadas a la futura Península Ibérica.



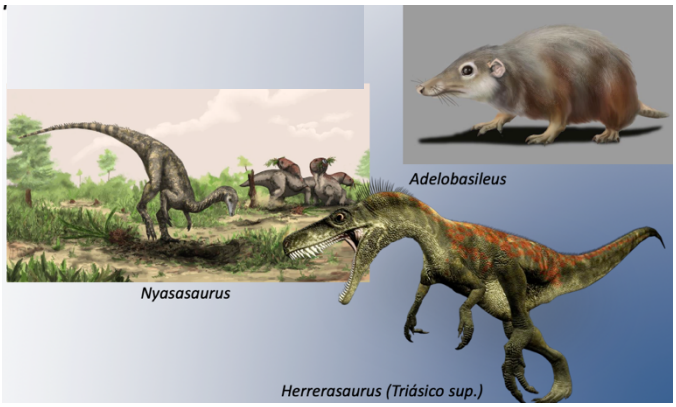
⇒ TRIÁSICO (250-205 MA) – PROLIFERACIÓN DE LOS AMMONOIDEOS



La proliferación de *ammonoideos* y de grandes reptiles marinos o voladores indica que los ecosistemas triásicos estaban ya muy diversificados tras la recuperación posterior a la crisis pérmica. Cada uno de estos grupos ocupa nichos distintos en mar, costa o aire.

El Mesozoico no fue solo la era de los dinosaurios terrestres. También fue un tiempo de gran éxito para faunas marinas y voladoras muy especializadas.

⇒ PRIMEROS DINOSAURIOS



Cinodontos y *pelicosaurios* representan grupos muy relevantes en la evolución de los vertebrados terrestres. No eran dinosaurios, sino formas anteriores que muestran cómo se estaba diversificando la vida continental antes del gran dominio mesozoico.

Su estudio ayuda a comprender que la transición hacia mamíferos y reptiles más modernos es larga y está llena de grupos intermedios y experimentales.

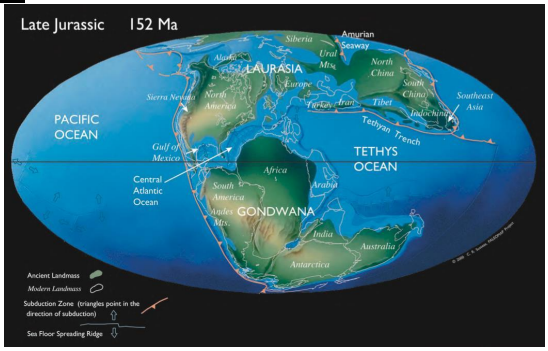
⇒ BUNTSANSTEIN, MUSCHELKALK Y KEUPER (FACIES GERMÁNICAS)



Buntsandstein, *Muschelkalk* y *Keuper* son facies triásicas clásicas que reflejan ambientes muy distintos: continentales rojizos, marinos someros carbonatados y evaporíticos o arcillosos. Estudiarlas permite reconstruir alternancias de clima, mar y sedimentación.

En la Península estas facies son fundamentales para interpretar varias cuencas mesozoicas y para reconocer la evolución ambiental del Triásico.

⇒ JURÁSICO (205-135 MA) - PANGEA SE DIVIDE GENERANDO LOS CONTINENTES DE LAURASIA Y GONDWANA

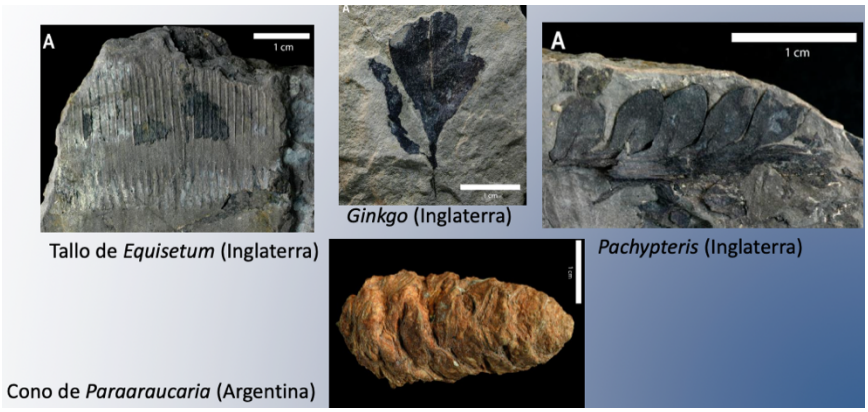


El Jurásico se desarrolla en un mundo donde Pangea sigue fragmentándose y se definen mejor Laurasia y Gondwana. Esa reorganización continental influye en mares, climas y rutas biogeográficas.

A nivel peninsular, continúa la acumulación de sedimentos marinos muy importantes y se consolida el marco que después aprovechará la orogenia alpina.

⇒ LAS CONÍFERAS PRESENTAN UN GRAN DESARROLLO. PRESENCIA DE SECUOYAS, CIPRESES, PINOS, HELECHOS, EQUISETOS Y GIMNOSPERMA

La expansión de las **gimnospermas** durante el Pérmico muestra un cambio vegetal importante. Frente a floras anteriores más ligadas a grandes humedales, estas plantas se adaptan mejor a condiciones más secas y continentales.

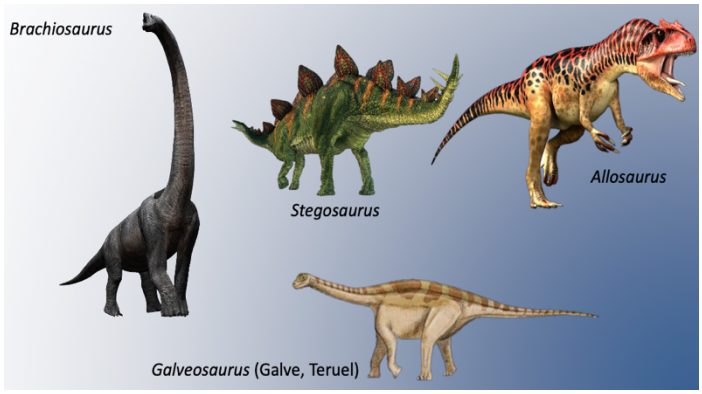


Coníferas, ginkgos y cicadáceas anticipan paisajes que serán característicos también en gran parte del Mesozoico, de modo que aquí se ve ya un cambio de tendencia ecológica.

⇒ GRAN EVOLUCIÓN DE LOS DINOSAURIOS

El Jurásico es uno de los momentos de gran expansión y especialización de los dinosaurios. La variedad de formas gigantes, herbívoras o depredadoras, indica ecosistemas terrestres muy estructurados y ricos.

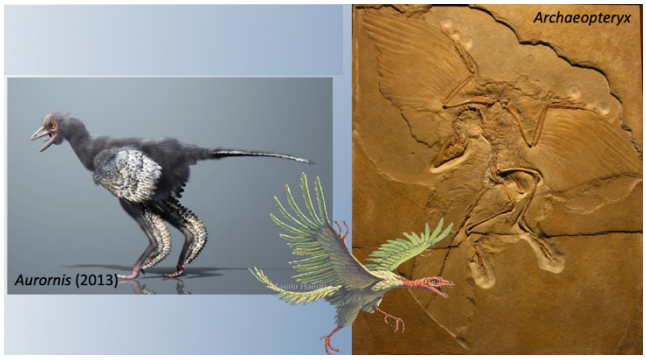
La referencia a Galveosaurus en Teruel conecta esa historia global con la paleontología peninsular. No se estudian solo dinosaurios famosos de otras regiones, sino también hallazgos relevantes de España.



⇒ APARICIÓN DE LAS PRIMERAS AVES

La aparición de las primeras aves es una innovación evolutiva de enorme importancia. Formas como *Archaeopteryx* muestran caracteres de transición entre dinosaurios terópodos y aves, lo que ayuda a comprender cómo surgen grandes novedades biológicas a partir de estructuras previas.

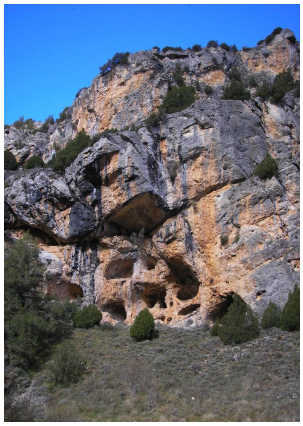
Este punto es valioso porque relaciona el tema geológico con uno de los ejemplos clásicos de evolución documentada por fósiles.



⇒ MARGAS Y CALIZAS

El estratotipo global de Cuevas Labradas subraya la importancia internacional de ciertos afloramientos españoles. Un estratotipo sirve como referencia mundial para fijar con precisión un límite cronoestratigráfico. En otras palabras, no solo usamos el registro fósil y sedimentario para estudiar la Península, sino que algunos puntos de la Península ayudan a definir la escala geológica utilizada en todo el mundo.

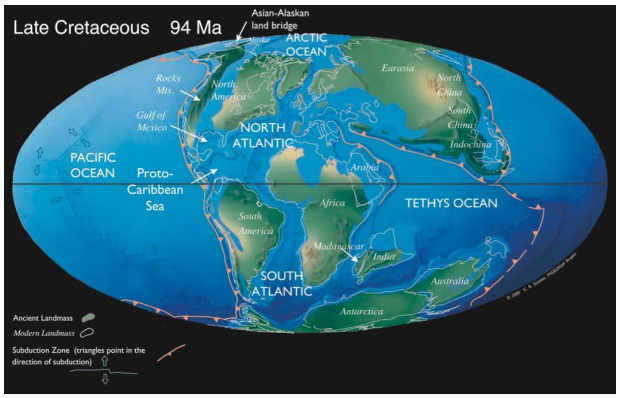




⇒ CRETÁCICO (135-65 MA)

El Cretácico comienza, en este esquema, con el arranque de la orogenia alpina provocando el empuje de África y la India sobre Eurasia y con una subida del nivel del mar. Esa combinación es muy importante porque significa a la vez deformación tectónica y amplias áreas de sedimentación marina.

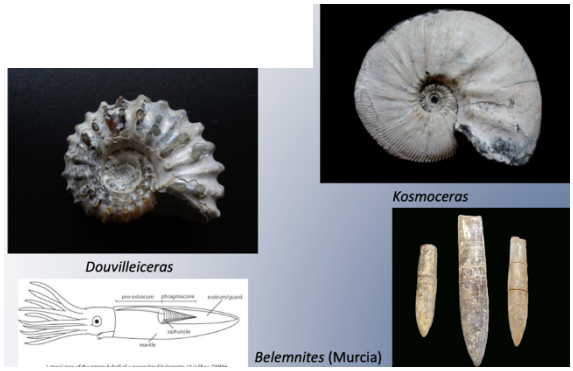
Se prepara así el escenario en el que muchas cuencas peninsulares acumulan materiales que luego participarán en la construcción del relieve alpino.



⇒ GRAN PRESENCIA DE AMMONITES Y BELEMNITES

Ammonites y *belemnites* son fósiles característicos del Cretácico marino y tienen enorme utilidad estratigráfica. Además de su interés biológico, ayudan a fechar rocas y a reconstruir antiguos mares.

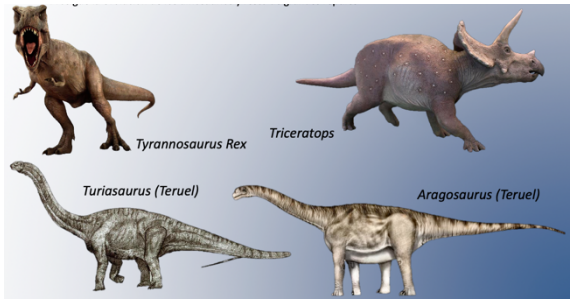
La fuerte presencia de estos organismos recuerda que gran parte del Cretácico peninsular está profundamente ligado a ambientes marinos y sedimentación carbonatada.



⇒ SIGUE LA EVOLUCIÓN DE LOS DINOSAURIOS Y DE GRANDES REPTILES

La evolución de los dinosaurios continúa durante el Cretácico con formas muy variadas y, en algunos casos, gigantescas. Las referencias a *Aragosaurus* y *Turiasaurus* muestran que la Península Ibérica aporta yacimientos y especies muy relevantes a esa historia.

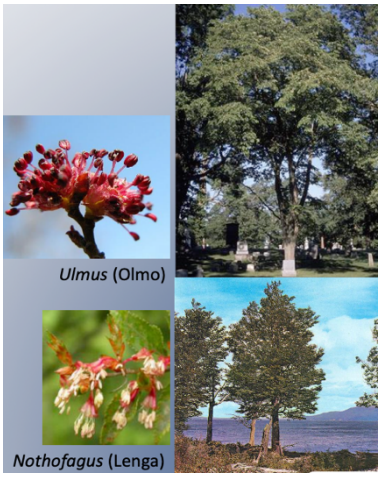
Estas imágenes ayudan a conectar la gran narrativa global de los dinosaurios con ejemplos concretos del registro fósil español.



⇒ APARICIÓN DE NUEVOS GRUPOS DE MAMÍFEROS

Durante el Cretácico aparecen nuevos grupos de mamíferos y se expanden las angiospermas, es decir, las plantas con flores. Esta novedad botánica altera profundamente los ecosistemas terrestres y acaba transformando la composición de los bosques.

La expansión de las angiospermas tendrá efectos enormes a largo plazo sobre insectos, herbívoros y cadenas tróficas completas, además de acercar progresivamente los paisajes al mundo actual.







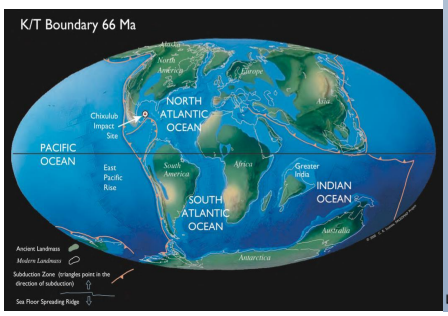
⇒ EXTINCIÓN A FINALES DEL CRETÁCICO (EXTINCIÓN K-T)

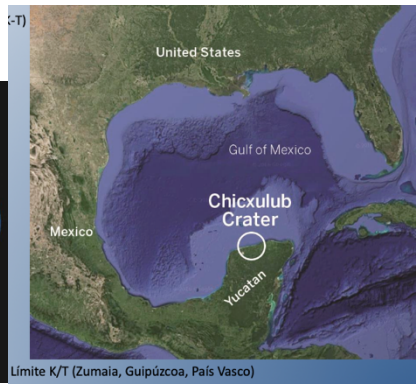
La extinción del final del Cretácico eliminó cerca del 75% de muchos grupos biológicos y puso fin al dominio de los dinosaurios no avianos, además de afectar a reptiles marinos, voladores y *ammonites*. Fue una ruptura decisiva entre el mundo mesozoico y el cenozoico.





Las hipótesis principales combinan vulcanismo intenso y gran impacto meteorítico. Lo esencial es entender que el relevo posterior de mamíferos y aves no se explica sin esta crisis.





Límite K/T (Zumaia, Guipúzcoa, País Vasco)

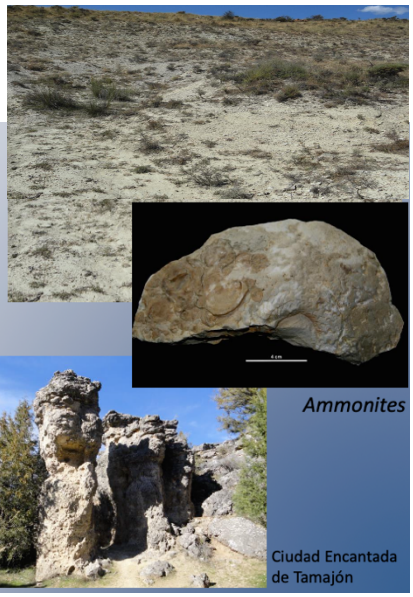


La página visual asociada al final del Cretácico ayuda a fijar el alcance de la crisis y a enlazar con la transición al Cenozoico. En este punto conviene tener clara la idea de relevo biológico y tectónico: cambian tanto los organismos dominantes como la construcción del relieve.

A partir de aquí, el protagonismo pasará a la orogenia alpina y al ascenso de mamíferos modernos en un contexto geológico distinto.

⇒ ARENAS DE UTRILLAS (CAOLÍN)

Arenas de Utrillas, ammonites, equinodermos y formas como la Ciudad Encantada de Tamajón relacionan sedimentación, fósiles y modelado del relieve. Los materiales cretácicos no solo cuentan un antiguo ambiente marino o continental, sino que después pueden dar lugar a paisajes erosionados característicos.

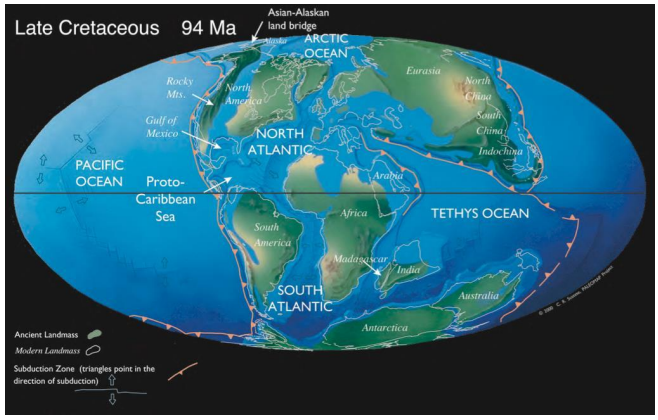


Es un buen ejemplo de cómo una misma roca tiene varias historias: la de su depósito, la de sus fósiles y la de su modelado posterior.

→ puntos Importantes:

- El Mesozoico fue una etapa dominada por erosión, sedimentación y mares poco profundos en amplias zonas.
- Se acumularon potentes series de calizas, margas y arcillas que luego se plegarían en la orogenia alpina.
- La evolución biológica y la apertura de nuevas cuencas cambiaron por completo el escenario peninsular.

⇒ TRANSICIÓN HACIA LA ERA TERCIARIA – EL CENOZOICO (65 - 1,8 MA)



La transición al Cenozoico marca el paso desde una Península rodeada de cuencas sedimentarias mesozoicas a otra donde la orogenia alpina va a reactivar, fracturar y a elevar muchos materiales antiguos y recientes.

En términos de relieve, aquí empieza la etapa decisiva para explicar la forma actual del territorio español.

Esta es la etapa del último movimiento orogénico: el movimiento alpino, que se produjo por el acercamiento, entre otras, de las placas europea y africana, entre las que se encontraban los antiguos macizos hercinianos.

El movimiento alpino fue el gran episodio orogénico que dio lugar a la estructura general del relieve español actual. El acercamiento de placas, especialmente la africana y la euroasiática, comprimió materiales acumulados durante el Mesozoico y reactivó viejos macizos.

Sin esta orogenia no existirían tal como los conocemos los Pirineos, los Sistemas Béticos ni buena parte de las grandes depresiones y reorganizaciones internas de la Península.



ERA TERCIARIA: La orogenia alpina provocó el levantamiento de las cordilleras alpinas (Pirineos y Béticas) y la inclinación de la Meseta hacia el Atlántico.

→ puntos Importantes:

- El Terciario fue decisivo para la configuración del relieve actual de España.
- La orogenia alpina fracturó, elevó y hundió bloques, creando cordilleras y depresiones.
- También se consolidaron mamíferos modernos y se aproximó la geografía a la actual.

⇒ PROCESOS OROGÉNICOS – MOVIMIENTO ALPINO



En las tierras emergidas, de rocas antiguas, silíceas, y muy duras produjo fracturas, con elevaciones y hundimientos:

– Los macizos del Ebro, Catalano-balear y Bético-rifeño se hundieron. También las depresiones del Duero, Tajo y Guadiana.

– El macizo Hespérico se fracturó y dio lugar a bloques elevados: Sistema Central, Montes de Toledo y Sierras Cacereñas. En el extremo noroccidental se levantó el macizo Galaico-Leonés.

– Se produjo una gran actividad volcánica.

→ Lo esencial aquí es entender que muchos de esos macizos no son cordilleras jóvenes como las actuales, sino núcleos antiguos que después serían erosionados, fracturados o reutilizados por movimientos más recientes.

→ Los reajustes finales del Cenozoico y comienzos del Cuaternario completaron la estructura peninsular. El rebasculamiento de la Meseta hacia el oeste afectó a la dirección y encajamiento de los ríos, mientras que el hundimiento del área del Estrecho separó definitivamente Béticas y Rif.

También el aislamiento de Baleares muestra cómo antiguos conjuntos tectónicos pueden fragmentarse y quedar convertidos en archipiélagos por hundimientos y reajustes posteriores.

→ puntos Importantes:

• El Terciario fue decisivo para la configuración del relieve actual de España.
• La orogenia alpina fracturó, elevó y hundió bloques, creando cordilleras y depresiones.
• También se consolidaron mamíferos modernos y se aproximó la geografía a la actual.

⇒ ESQUEMA DE LOS CAMBIOS CENOZOICOS







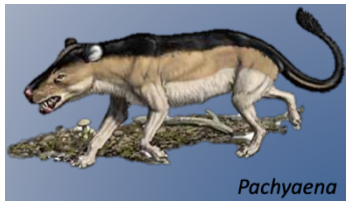
El esquema cenozoico debe leerse como una síntesis de levantamientos, hundimientos y nuevas oganizaciónes de cuencas. Sirve para fijar las grandes consecuencias de la orogenia alpina sobre el relieve peninsular.

Estas páginas de síntesis son especialmente útiles para estudiar porque reúnen en una sola imagen muchos procesos que en las diapositivas anteriores aparecen repartidos.

⇒ PALEOCENO (65-53 MA)







En el Paleoceno domina ya claramente el mundo de los mamíferos, en un escenario posterior a la gran extinción del final del Cretácico.

Los fósiles de ***nummulites*** (foraminíferos unicelulares gigantes y extintos) recuerdan que siguen existiendo registros marinos muy importantes en el Cenozoico.

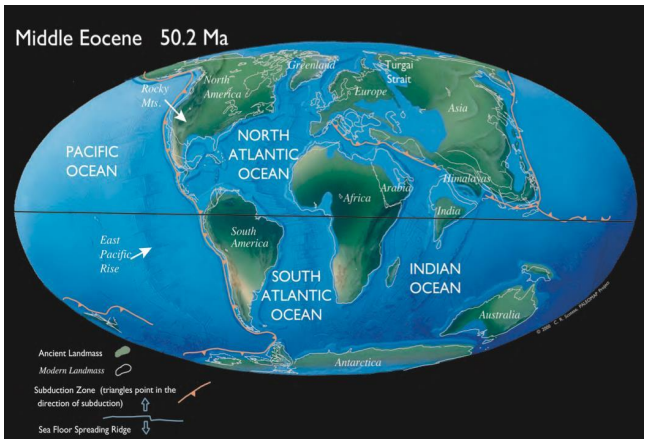


Los primeros primates indican que, aunque todavía muy lejos del ser humano, se están abriendo líneas evolutivas que tendrán gran trascendencia posterior.

⇒ EOCENO (53-34 MA)

El Eoceno representa un momento de expansión de muchos mamíferos y de consolidación de ecosistemas cada vez más modernos. En el contexto peninsular, sigue siendo una etapa importante para sedimentación y evolución del relieve en formación.

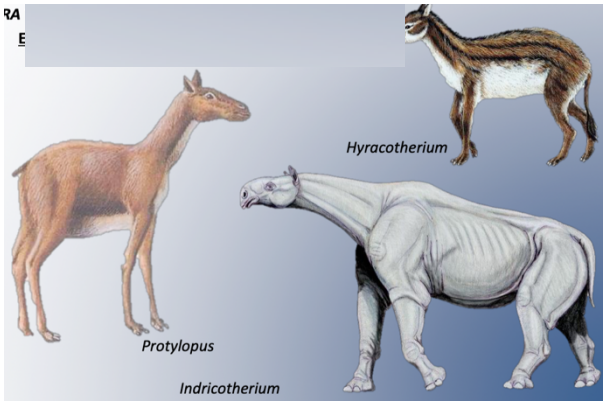
Conviene entenderlo como parte de una secuencia cenozoica donde geología y paleontología avanzan juntas hacia un paisaje más reconocible.



⇒ PRIMEROS CABALLOS, CAMELLOS, RINOCERONTES

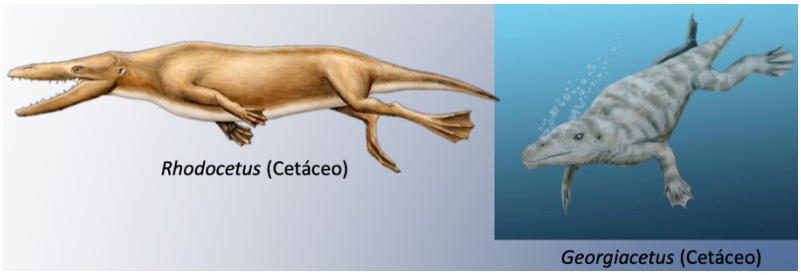
Los primeros caballos, camellos y rinocerontes muestran hasta qué punto los mamíferos se diversificaron tras la desaparición de los grandes reptiles dominantes del Mesozoico. Cada grupo explora nichos ecológicos nuevos y desarrolla adaptaciones propias.

Más que una simple lista de animales, la diapositiva ilustra la rapidez con que el Cenozoico reorganiza la fauna terrestre.



⇒ APARICIÓN DE LOS MAMÍFEROS MARINOS

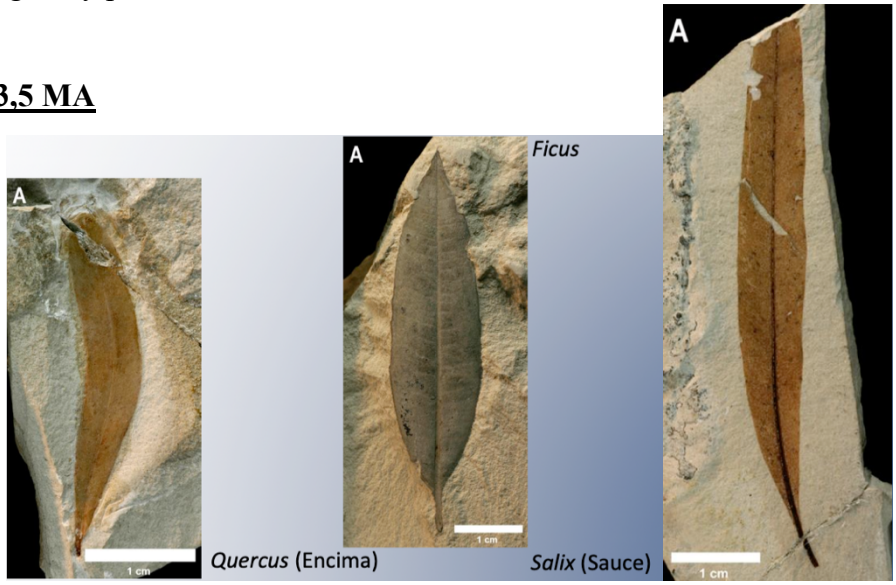
La aparición de mamíferos marinos es uno de los ejemplos más llamativos de evolución adaptativa. A partir de ancestros terrestres, ciertos linajes vuelven al medio acuático y transforman profundamente su anatomía.



Este proceso recuerda que la evolución no sigue una dirección única de "progreso", sino que responde a oportunidades ecológicas y presiones ambientales concretas.

⇒ OLIGOCENO (34-23,5 MA

Durante el Oligoceno se consolidan grandes rasgos del relieve peninsular. El levantamiento de la Cordillera Ibérica y de la Cantábrica, junto con la configuración actual de los Pirineos, muestra que la construcción montañosa seguía activa y muy lejos de haberse completado.

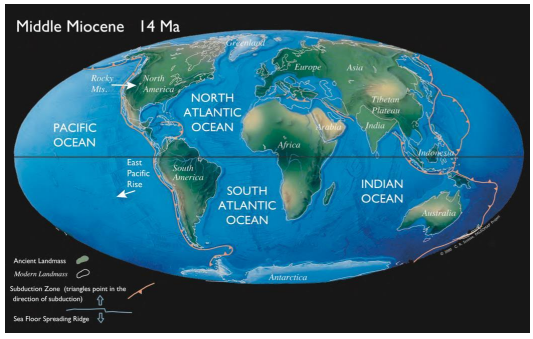


La vegetación citada en la diapositiva ayuda a imaginar paisajes ya más próximos a los cenozoicos modernos, aunque todavía con condiciones distintas de las actuales.

⇒ MIOCENO (23,5-5,3 MA)

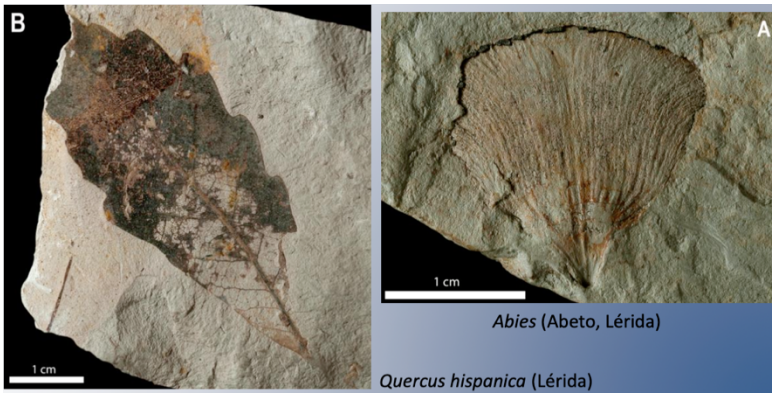


El Mioceno es una etapa clave en la evolución reciente del relieve y de la biosfera. Continúan reajustes tectónicos, se diversifican ambientes continentales y se van definiendo paisajes y cuencas cada vez más cercanos a los actuales.



⇒ MIOCENO (23,5-5,3 MA)

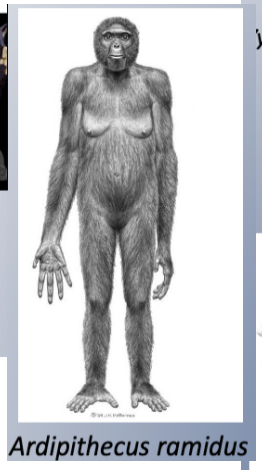
Las imágenes vegetales de este tramo indican que la flora se aproxima progresivamente a composiciones reconocibles, con árboles y comunidades que ya recuerdan al mundo moderno.

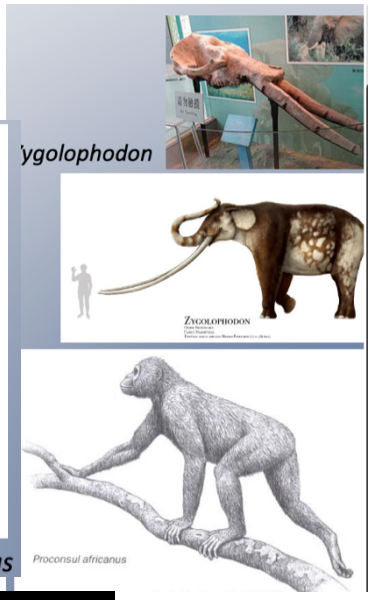


⇒ PRIMEROS ORANGUTANES Y MASTODONTES

La presencia de grandes simios (orangutanes y mastodontes) y primeros homínidos (Ardipithecus y Proconsul) en el Mioceno subraya que la historia geológica y la humana empiezan a acercarse. Aún estamos muy lejos del género Homo, pero ya aparecen formas decisivas dentro del linaje de los primates.





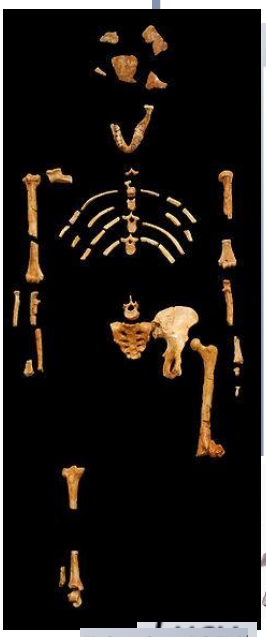


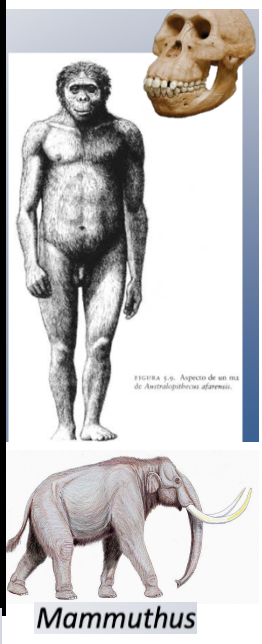
Este dato se inserta en un Cenozoico donde el relieve, el clima y los ecosistemas están cambiando y creando nuevos escenarios evolutivos.

⇒ PLIOCENO (5,3-1,8 MA)

El Plioceno cierra la configuración del Mediterráneo y anuncia un mundo muy próximo al Cuaternario. La aparición de australopitecos como Lucy es un hito central porque señala una etapa temprana del linaje humano en África.

Junto a ello, la presencia de grandes mamíferos como los mamuts refleja faunas muy características de la etapa final del Terciario y del comienzo del mundo cuaternario.





⇒ ERA CUATERNARIA (DESDE 1,5 MA)

El Cuaternario está marcado por alternancia entre glaciaciones e interglaciares. Durante las fases frías crecen hielos continentales y de montaña, baja el nivel del mar y cambia el funcionamiento de ríos y paisajes; durante las fases templadas ocurre lo contrario.

- Los **períodos muy fríos**, llamados "glaciaciones", en los que los casquetes polares cubrieron gran parte de la superficie terrestre, las zonas altas de montaña albergaron importantes masas de hielos permanentes, y el nivel del mar y el caudal de los ríos descendieron notablemente (gran parte del agua estaba retenida en los casquetes polares y en los glaciares). Cuatro fueron los principales períodos glaciares: **Günz, Mindel, Riss** y **Wurm**.

- **Períodos interglaciares** en los que las temperaturas eran más elevadas que las actuales, se deshelaba gran parte de los casquetes polares y de los glaciares, ascendía el nivel del mar, y aumentaba el caudal de los ríos.
  Estas oscilaciones no fueron un simple detalle climático. Modelaron el relieve, condicionaron ecosistemas y afectaron a la distribución de animales y de grupos humanos.

→ puntos Importantes:

• El Cuaternario estuvo marcado por alternancia de glaciaciones e interglaciares.
• Los ríos, glaciares y volcanes modelaron gran parte del relieve reciente.
• La presencia humana pasa a ser un elemento central en la etapa final de la historia geológica.

⇒ LAS VARIACIONES CLIMATOLÓGICAS HAN REPERCUTIDO EN EL MODELADO DEL RELIEVE:

El relieve cuaternario español se entiende muy bien a través del modelado glaciar y de las terrazas fluviales.

- **Los glaciares** son los que dieron lugar a ese "modelado glaciar". En España, sólo hubo erosión glaciar en las zonas altas de los sistemas montañosos de la mitad norte, y en Sierra Nevada. Los glaciares excavaron valles de alta montaña, mientras los ríos alternaban deposición y erosión según aumentaba o disminuía su caudal.
- **Las terrazas fluviales** son franjas planas y elevadas situadas en los márgenes de los ríos de forma escalonada. Su origen lo encontramos en la alternancia de períodos glaciares e interglaciares. En los primeros, los ríos perdían caudal y poder de transporte de los materiales que arrastraban, depositándolos en los márgenes de los ríos (depósitos aluviales); en los segundos, los ríos aumentaban notablemente su caudal por el deshielo de los glaciares y por la falta de retención de la nieve en los mismos, aumentando su capacidad de erosión y transporte, y eliminando una parte de los depósitos dejados en anteriores etapas glaciares.
  Estas terrazas fluviales son especialmente didácticas porque conservan escalones que reflejan diferentes fases de incisión y depósito vinculadas a los cambios climáticos repetidos.

⇒ DESDE 1,7 MA

En esta etapa tuvieron lugar la mayor parte de los fenómenos volcánicos que originaron las Islas Canarias. Gran parte del volcanismo canario reciente pertenece a esta etapa, lo que demuestra que el Cuaternario no es solo un tiempo de erosión y glaciaciones, sino también de actividad interna muy visible. Al mismo tiempo se asienta la red hidrográfica actual.

Los ríos excavan, transportan materiales, rellenan depresiones y construyen terrazas, glacis o deltas. En conjunto, terminan de modelar muchos de los paisajes españoles actuales.

⇒ ESQUEMA DEL CUATERNARIO

El esquema del Cuaternario resume la combinación de clima, modelado glaciar, red fluvial y presencia humana. Conviene usarlo como una síntesis de procesos recientes que han dejado huellas muy visibles en el relieve actual.

En comparación con etapas anteriores, aquí la geología se vuelve especialmente cercana, porque muchos de esos paisajes siguen activos o se reconocen con facilidad en el territorio.

PERÍODO	ÉPOCA		AÑOS B.P.	ETAPA	EDAD
CUATERNARIO	Holoceno		+/- 12.000	Interglaciar	Actual
	Pleistoceno	SUPERIOR	+/- 100.000	Glaciar	Würm
			+/- 140.000	Interglaciar	Riss-Würm
		MEDIO	+/- 200.000	Glaciar	Riss
			+/- 390.000	Interglaciar	Mindel-Riss
			+/- 580.000	Glaciar	Mindel
			+/- 750.000	Interglaciar	Günz-Mindel
		INFERIOR	+/- 1'1 mill.	Glaciar	Günz
			+/- 1'4 mill.	Interglaciar	Donau-Günz
			+/- 1'8 mill.	Glaciar	Donau
			+/- 2 mill.	Interglaciar	Biber-Donau
			+/- 2'5 mill.	Glaciar	Biber

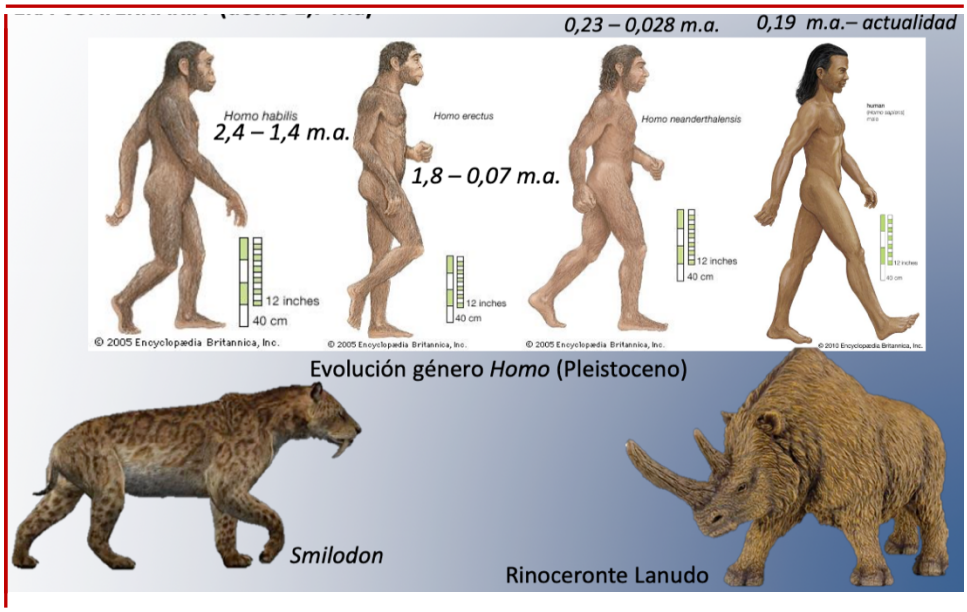
⇒ VALLE GLACIAR EN EL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO



El valle glaciar de Ordesa y Monte Perdido es un ejemplo excelente de cómo los glaciares cuaternarios excavaron perfiles en U, sobreexcavaron cubetas y remodelaron relieves de alta montaña. España no estuvo cubierta por un gran casquete glaciar como otras regiones europeas, pero sí desarrolló glaciares montanos importantes.

Este ejemplo concreto permite ver en el paisaje actual los efectos de procesos fríos que actuaron durante las fases glaciales.

⇒ EVOLUCIÓN GÉNERO HOMO (PLEISTOCENO). SMILODON



La evolución del género Homo se sitúa ya dentro del Pleistoceno y muestra una diversificación de especies humanas en paralelo a grandes cambios climáticos y faunísticos. El cuadro comparativo recuerda que la historia humana transcurre junto a grandes mamíferos y ambientes muy cambiantes.

Entender el Cuaternario implica ver a los seres humanos como parte de una dinámica geológica y ecológica, no como algo ajeno a ella.

⇒ HOMO ANTECESSOR (900.000 AÑOS)



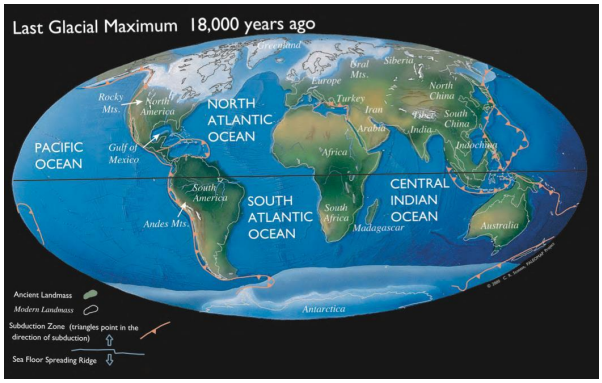
Sierra de Altamira
(*Homo antecessor (900.000 años)*)



Los yacimientos de Atapuerca, cueva de Altamira y otras referencias del Pleistoceno español son esenciales para la paleoantropología. **Homo antecessor**, **Homo heidelbergensis** y piezas simbólicas como el **bifaz Excalibur** sitúan a la Península dentro de la investigación mundial sobre evolución humana.

No se trata solo de fósiles aislados. Estos hallazgos permiten reconstruir poblamientos, técnicas, comportamientos y relaciones entre distintas especies humanas en el territorio ibérico.

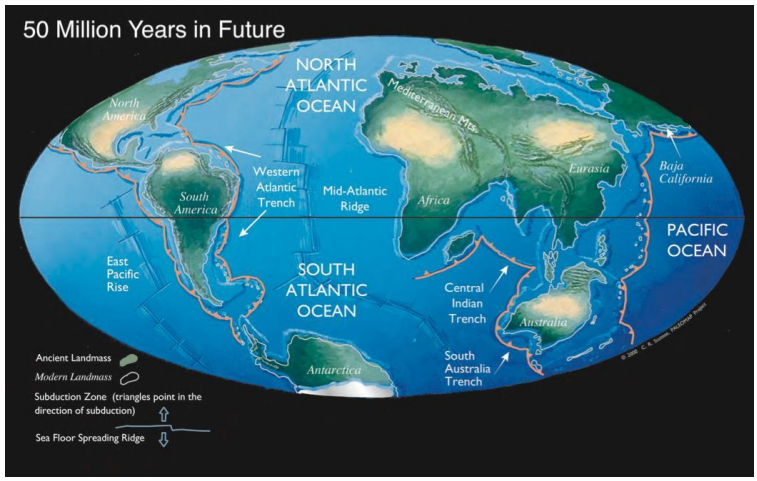
⇒ ESQUEMA FINAL DEL CUATERNARIO



El esquema final del Cuaternario sirve para cerrar la secuencia reciente del relieve y de la presencia humana. Reúne en poco espacio procesos climáticos, geomorfológicos y biológicos que preparan el paso a la situación actual.

Es una buena página para repasar cómo el tiempo más cercano geológicamente sigue siendo, aun así, inmensamente largo desde el punto de vista humano.

⇒ FUTURO



Pensar en el futuro geológico de la Península significa asumir que placas, relieve, costas y clima seguirán cambiando. Aunque a escala humana esos cambios parezcan lentos, a escala geológica son inevitables.

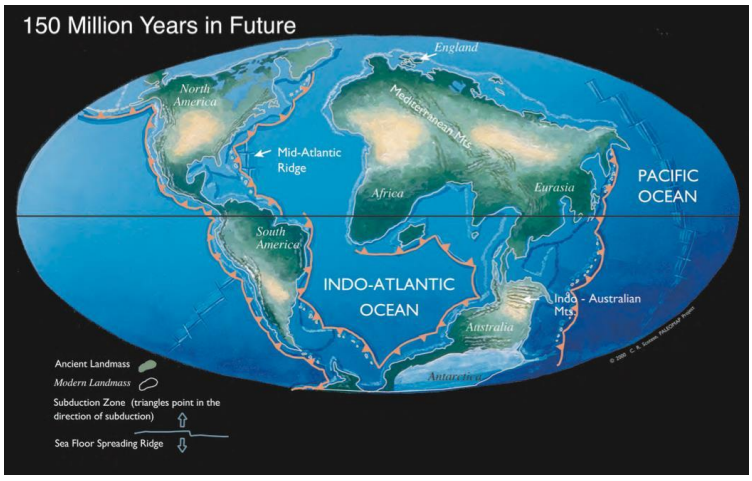
Estas diapositivas finales invitan a proyectar tendencias: **continuidad de movimientos tectónicos, erosión de cordilleras, posibles reajustes costeros y evolución permanente del paisaje.**

→ puntos Importantes:

• La geología no se detiene en el presente: placas, relieve y clima seguirán cambiando.

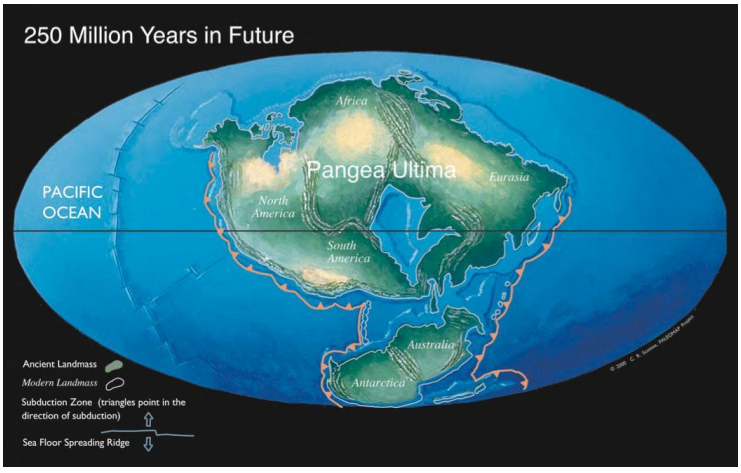
• Las predicciones geológicas se basan en tendencias tectónicas y dinámicas observables.

• Pensar el futuro ayuda a entender que el paisaje actual es solo una fase temporal.



⇒ CIERRE DEL TEMA

- Y como cierre del tema se envía una idea esencial: la Península Ibérica es el resultado provisional de una historia muy larga, en la que se han sucedido mares, montañas, choques continentales, extinciones, sedimentación y modelado reciente.
- La historia geológica de la Península Ibérica es el resultado de una sucesión muy larga de etapas: materiales precámbricos, sedimentación paleozoica, plegamiento herciniano, erosión y depósito mesozoicos, levantamiento alpino y modelado cuaternario. Cada fase dejó rocas, estructuras y paisajes que aún pueden reconocerse.



- El valor del tema está en unir tectónica, fósiles, climas, mares y relieve. Cuando se entiende esa conexión, la Península deja de verse como un territorio fijo y pasa a entenderse como una construcción geológica en continua transformación.
- Estudiar su geología histórica permite mirar el relieve actual no como algo fijo, sino como una fase dentro de una evolución continua que comenzó hace cientos de millones de años y seguirá en el futuro.

⇒ **LA PANGEA PRÓXIMA DEL FUTURO**



Tema 21: INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS DE LA VIDA



⇒ INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS DE LA VIDA

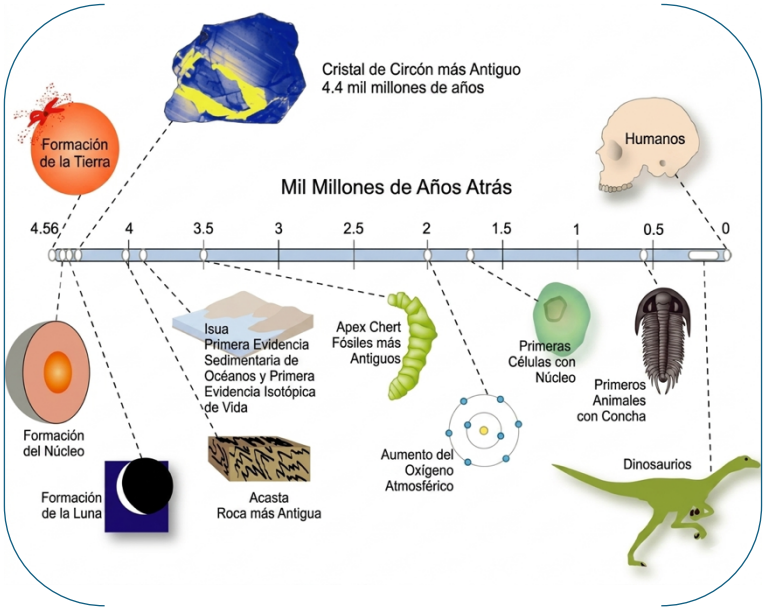
El contenido de este tema se centra en la introducción a las ciencias de la vida **desde una perspectiva geológica**, es decir, en cómo la Tierra conserva huellas del origen, desarrollo y transformación de los seres vivos a lo largo del tiempo.

El hilo conductor del tema será el registro fósil y la escala temporal geológica. Gracias a ellos se puede reconstruir cuándo surgió la vida, cómo evolucionó y qué grandes cambios marcaron la historia biológica del planeta.

⇒ LOS FÓSILES: MEMORIA DE LA TIERRA

Los fósiles funcionan como una memoria de la Tierra. No son simples restos curiosos: permiten saber qué organismos existieron, en qué ambientes vivieron y en qué momento del pasado aparecieron o desaparecieron.

Por eso la paleontología es una herramienta básica para reconstruir la historia de la vida. Cuando se estudia un fósil no solo se estudia el organismo, sino también el ambiente geológico en el que quedó registrado.



→ puntos Importantes:

- El tema relaciona geología y biología a través del tiempo profundo.
- Los fósiles permiten reconstruir organismos y ambientes del pasado.
- Entender la historia de la vida exige situarla en la escala temporal geológica.

⇒ ¿QUÉ EDAD TIENE LA TIERRA?

Esta es una de las preguntas fundamentales de la geología: **la edad de la Tierra**. Hoy sabemos que ronda los 4.600 millones de años gracias a métodos de datación radiométrica aplicados a rocas terrestres, meteoritos y minerales muy antiguos.

Esta cifra es difícil de imaginar porque supera enormemente la escala humana. Por eso en geología se trabaja con millones de años y con grandes divisiones temporales que permiten ordenar la historia del planeta.



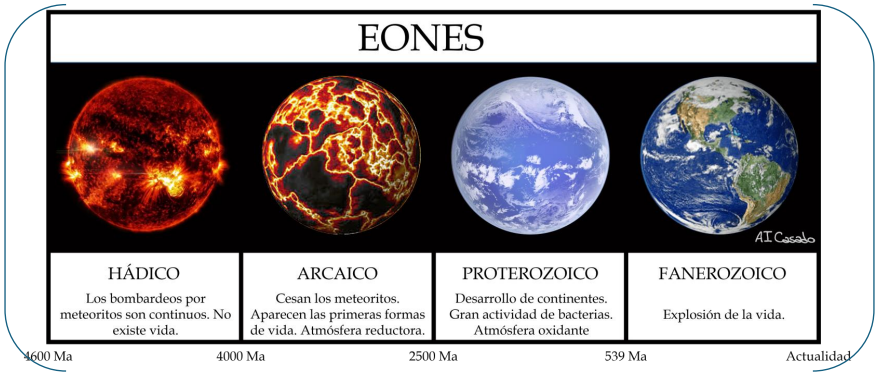


⇒ ESCALA TEMPORAL

Esta diapositiva introduce una prueba material de la gran antigüedad terrestre: las rocas más antiguas conocidas. El **gneis Acasta**, en Canadá, es uno de los fragmentos de corteza terrestre intacta más antiguos conservados.



Este dato es importante porque muestra que la historia de la Tierra se reconstruye a partir de restos muy antiguos, aunque incompletos. Cuanto más atrás se retrocede en el tiempo, más difícil resulta conservar un registro continuo.



⇒ ORIGEN DE LA TIERRA

Existen dos niveles distintos de explicación del origen de la Tierra. La teoría del Big Bang trata del **origen del universo**, mientras que la teoría de la nebulosa solar intenta explicar cómo, dentro de ese universo ya formado, surgió el **Sistema Solar** a partir de una nube de gas y polvo.

Es importante no confundir ambas teorías. Una explica el origen del cosmos a gran escala y la otra el de nuestro entorno planetario inmediato. A partir de esa nebulosa, por acreción y rotación, se habría formado el Sol y después los planetas.

⇒ BIG BANG



La teoría del Big Bang explica que el **origen del universo** comenzó hace unos 13.800 millones de años a partir de un punto de densidad y temperatura infinitas que se expandió rápidamente. No fue una explosión convencional, sino una expansión del espacio que continúa hoy, enfriando el cosmos y permitiendo la formación de materia, estrellas y galaxias.

Puntos Clave de la Teoría:

- **Origen:** Hace 13.800 millones de años, toda la materia y energía estaban comprimidas en una singularidad inicial.
- **Expansión y Enfriamiento:** Al expandirse, el universo pasó de ser una "sopa" caliente de partículas subatómicas a enfriarse, permitiendo la formación de átomos (principalmente hidrógeno y helio).
- **Evolución:** La gravedad agrupó la materia para formar nubes, que dieron lugar a las primeras estrellas y galaxias.
- **Evidencias:**
  - **Radiación de fondo de microondas (CMB):** Resplandor fósil del calor inicial detectado en 1964.
  - **Ley de Hubble-Lemaître:** Observación de que las galaxias se alejan unas de otras, lo que demuestra la expansión.
  - **Abundancia de elementos ligeros:** Las proporciones de helio e hidrógeno observadas coinciden con la nucleosíntesis del Big Bang.

⇒ NEBULOSA SOLAR

La teoría de la nebulosa solar establece que el **sistema solar** se formó hace aproximadamente 4.600 millones de años a partir del colapso gravitacional de una nube gigante de gas y polvo interestelar. Esta nebulosa comenzó a girar y aplanarse, formando un disco central que dio origen al Sol y a los planetas.

Puntos Clave de la Teoría:

- **Origen:** Una gran nube de hidrógeno, helio y polvo estelar comenzó a contraerse, posiblemente impulsada por la onda de choque de una supernova cercana.
- **Formación del Sol (Protosol):** La mayor parte de la masa se acumuló en el centro, aumentando su temperatura y presión hasta formar el Sol.

- **Formación de Planetas:** El material sobrante en el disco de acrecimiento comenzó a agruparse, formando planetesimales que luego colisionaron para crear los protoplanetas y eventualmente los planetas actuales.
- **Estructura del Sistema:** Explica por qué los planetas orbitan en el mismo plano y sentido (plano de la eclíptica).
- **Composición:** Los planetas interiores se formaron de rocas y metales, mientras que los exteriores, más lejanos, se formaron de hielos y gases.

→ Esta es una propuesta realizada inicialmente por Immanuel Kant en 1755 y desarrollada por Pierre-Simon Laplace, esta hipótesis es el modelo científico más aceptado para el origen de nuestro sistema solar.

⇒ DIFERENCIACIÓN PLANETARIA



La diferenciación planetaria es el proceso por el cual la Tierra primitiva dejó de ser una masa homogénea y se separó en capas según la densidad de sus materiales. Los elementos más pesados se hundieron hacia el núcleo y los más ligeros quedaron hacia el exterior.

Este proceso fue decisivo porque hizo posible la estructura interna actual del planeta y favoreció la aparición de corteza, atmósfera e hidrosfera. Sin esa organización interna, la evolución posterior de la Tierra y de la vida habría sido completamente distinta.

⇒ EÓN HÁDICO (4550-3800 Ma)



El **eón Hádico** es una etapa en la que la Tierra era un planeta extremadamente hostil.

Ocurrió hace ~4600-4000 millones de años, es la primera y más antigua etapa de la Tierra, caracterizada por condiciones extremas, calor intenso, vulcanismo constante, radiación elevada, casi nada de agua estable y el bombardeo de asteroides. Durante este tiempo se formó la Tierra, la Luna y las primeras rocas. No hay registro fósil de vida.

❖≈ ***4.600 Ma.*** El planeta se ha formado por acreción de planetesimales y se ha diferenciado en capas por densidades: núcleo, manto, corteza y por desgasificación del planeta aparece la atmósfera primitiva reductora (sin O2) y posteriormente por condensación del vapor de agua, la hidrosfera.

❖ ***4.600-4.000 Ma.*** Durante el **Hádico**, la Tierra era un planeta rotando rápidamente, cálido, vacío, casi sin agua, bombardeado por cometas y meteoritos, sin continentes, radiación cósmica intensa y un volcanismo generalizado.

❖ ***3800 Ma.*** **Edad de la roca más antigua conocida.**

Comprender esto es esencial: la vida no aparece sobre un planeta tranquilo, sino después de una larga fase inicial en la que tuvieron que formarse la atmósfera, la hidrosfera y unas condiciones algo más estables.

⇒ ¿CÓMO SE ORIGINÓ LA VIDA?

Aquí se presentan las principales hipótesis sobre el origen de la vida.

1ª TEORÍA

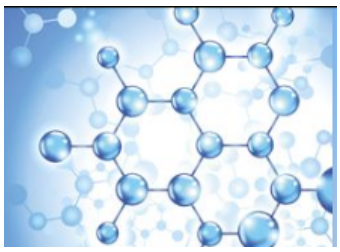


→ La **panspermia** es la hipótesis que sugiere que la vida en la Tierra no se originó aquí, sino que proviene del espacio exterior, transportada por meteoritos, cometas o polvo cósmico que impactaron en el planeta. Esta teoría propone que microorganismos resistentes o precursores orgánicos viajaron a través del cosmos, sembrando vida donde encontraron condiciones favorables.

- **Fundamentos:** Se basa en la capacidad de ciertos microorganismos extremófilos de sobrevivir a condiciones adversas, incluyendo el vacío del espacio.
- **Origen:** La idea se remonta al filósofo griego **Anaxágoras** (s. VI a.C.), y fue popularizada en la era moderna por **Svante Arrhenius** en 1903.
- **Tipos de Panspermia:**
  - **Natural (o litopanspermia):** La vida se dispersa a través de meteoritos o cometas de manera natural.
  - **Dirigida:** Propone que la vida fue transportada deliberadamente por una civilización extraterrestre avanzada.
- **Evidencia:** Se han encontrado moléculas orgánicas complejas y aminoácidos en meteoritos, y estudios demuestran que algunos microorganismos podrían sobrevivir a impactos espaciales.
- **Limitaciones:** No explica cómo surgió la vida en primer lugar, solo traslada el lugar de origen fuera de la Tierra.

La teoría, apoyada históricamente por científicos como **Fred Hoyle (1915-2001)**, sigue siendo un tema de debate en el campo de la astrobiología

2ª TEORÍA



El modelo bioquímico, más conocido como la **teoría quimiosintética o del caldo primigenio**, propone que la vida surgió de materia inorgánica a través de una serie de reacciones químicas graduales en la Tierra primitiva, hace aproximadamente 4.600 millones de años. Esta teoría, formulada por **Aleksandr Oparin** y **John Haldane** en los años 20, sugiere que la evolución química dio paso a la evolución biológica.

→ **Fundamentos:** A diferencia de la actual atmósfera, la que había entonces era reductora (sin oxígeno libre) y contenía hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua.

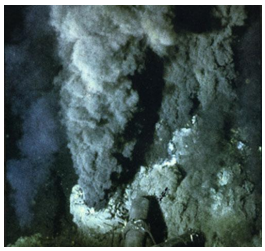
- **Fuente de Energía:** La alta temperatura, erupciones volcánicas, descargas eléctricas (rayos) y la intensa radiación solar actuaron como fuentes de energía.
- **Síntesis Prebiológica:** Estos elementos químicos, impulsados por la energía, formaron compuestos orgánicos simples (aminoácidos, nucleótidos) en los mares primitivos, a menudo descritos como una "sopa caliente" o caldo primordial.
- **Evolución Química:** Los monómeros simples se agruparon para formar polímeros (proteínas, ácidos nucleicos) más complejos.
- **Coacervados:** Estas macromoléculas se agruparon en sistemas precelulares, rodeados por una membrana, llamados coacervados, que evolucionaron hacia los primeros seres vivos heterótrofos y anaerobios.

→ **Evidencia Científica y Validación:**

- **Experimento de Miller-Urey (1953):** Stanley Miller y Harold Urey simularon estas condiciones en el laboratorio, aplicando descargas eléctricas a una mezcla de gases, lo que resultó en la formación de aminoácidos, respaldando la síntesis abiótica de compuestos orgánicos.
- **Panspermia Molecular:** Se ha comprobado que compuestos orgánicos básicos llegaron a la Tierra en meteoritos y cometas (como el meteorito Murchison), contribuyendo al caldo químico inicial.

→ **Limitaciones**: Aunque el modelo explica cómo se formaron los componentes básicos (ladrillos de la vida), no explica completamente el mecanismo exacto para la formación de macromoléculas complejas funcionales, ni cómo se originó la quiralidad de la vida, ni el paso exacto de moléculas complejas a células con metabolismo propio

3ª TEORÍA



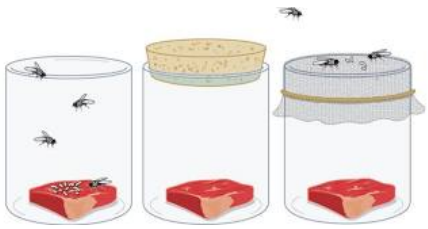
Las chimeneas negras (o *black smokers*) son estructuras geológicas fascinantes en el fondo marino que actúan como oasis de vida en la oscuridad total del océano profundo. Estas fumarolas hidrotermales expulsan agua a temperaturas extremas (a menudo superando los 400°C) cargada de sulfuros metálicos, creando ecosistemas ricos y diversos independientes de la luz solar.

→ **Puntos clave sobre la vida en las chimeneas negras:**

- **Origen de la vida:** Muchos científicos creen que las primeras formas de vida en la Tierra hace unos 3800-4000 millones de años surgieron en estas chimeneas, protegido de las condiciones adversas de la superficie.
- **Quimiosíntesis en lugar de Fotosíntesis:** A diferencia de los ecosistemas de superficie, la base de la vida aquí es la quimiosíntesis. Bacterias especializadas oxidan los sulfuros químicos del agua caliente para producir energía, sirviendo de alimento a otros organismos.
- **Fauna Exótica:** Estas chimeneas albergan criaturas únicas como gusanos de tubo gigantes (*Riftia pachyptila*), almejas, mejillones y cangrejos ciegos, que han adaptado sus metabolismos para vivir en condiciones de alta presión y temperatura.
- **Estructura y Formación:** Se forman principalmente cerca de las dorsales oceánicas, donde el agua marina se infiltra y se calienta por magma, disolviendo minerales de la corteza y precipitándolos al salir.

→ Estos respiraderos hidrotermales representan una de las fronteras más extremas para la vida, demostrando la capacidad de la biología para adaptarse a ambientes hostiles, lo que también ofrece pistas sobre la posible vida en otros planetas

4ª TEORÍA



La generación espontánea es una **teoría obsoleta** que sostenía que la vida podía surgir de manera automática a partir de materia inerte (barro, carne podrida, etc.). Esta idea, apoyada por Aristóteles, persistió desde la Antigüedad hasta el siglo XIX, cuando fue refutada por Louis Pasteur en 1864, demostrando que **toda vida proviene de otra vida preexistente**.

→ **Puntos clave de la generación espontánea y su refutación:**

- **Fundamento:** Creencia en un "principio activo" o "entelequia" en la materia inerte que daba vida.
- **Ejemplos creídos:** Gusanos de la carne en descomposición, ratones de la ropa sucia, ranas del barro.
- **Pensadores que la apoyaron:** Aristóteles, Descartes, Bacon, Newton.
- **Refutación:**

- **Francesco Redi (Siglo XVII):** Demostró que los gusanos en la carne provenían de larvas de moscas y no de la carne misma.
- **Louis Pasteur (1864):** Mediante matraces de cuello de cisne, demostró que el aire contenía microorganismos que causaban la descomposición, poniendo fin a la teoría.

- **Conclusión:** La ciencia moderna ha establecido la **biogénesis** (la vida proviene de la vida), descartando la aparición espontánea de organismos complejos a partir de la inercia.

5ª TEORÍA

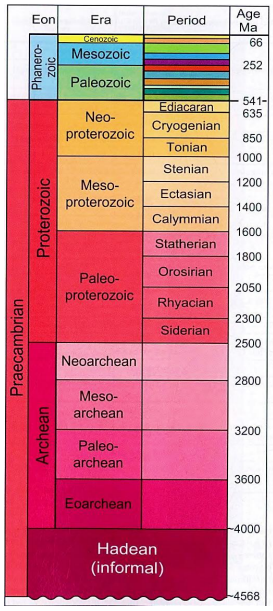


El creacionismo de la Tierra sostiene que el universo y la vida fueron creados por una entidad divina, basándose en interpretaciones religiosas. Se divide principalmente en el **creacionismo de la Tierra joven** (creación en 6 días hace 6,000-10,000 años) y el **creacionismo de la Tierra vieja** (que acepta la edad geológica antigua, pero mantiene la creación divina).

- **Creacionismo de la Tierra Joven:** Sostiene que Dios creó el mundo en seis días literales de 24 horas hace aproximadamente 6,000 a 10,000 años, basándose en una interpretación literal del Génesis.
- **Creacionismo de la Tierra Vieja:** Acepta que la Tierra tiene miles de millones de años, alineándose con la ciencia sobre la edad del planeta, pero rechaza la evolución biológica y sostiene una intervención divina.
- **Fundamentos:** Se basa en la inerrancia bíblica y la creencia de que la complejidad de la vida demuestra diseño inteligente, oponiéndose a la teoría de la evolución.
- **Conflicto Científico:** Las posturas de la Tierra joven entran en conflicto con la datación radiométrica, que sitúa la Tierra en 4,540 millones de años.

→ Este enfoque suele contrastar con las explicaciones científicas de la formación de la Tierra a partir de una nebulosa solar.

◈ Ninguna hipótesis científica está cerrada definitivamente, pero todas intentan responder a la misma pregunta: cómo se pasa de la materia no viva a sistemas capaces de metabolismo, reproducción y evolución.



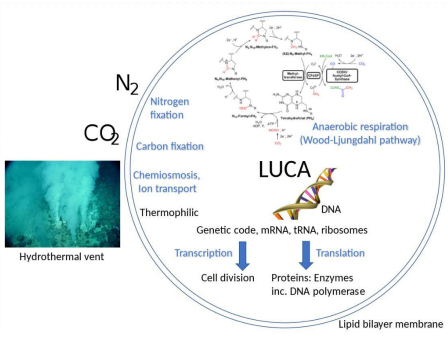
https://www.youtube.com/watch?v=_f1PrA4DR5c&t=16s

⇒ EVIDENCIAS DE LA VIDA EN EL REGISTRO

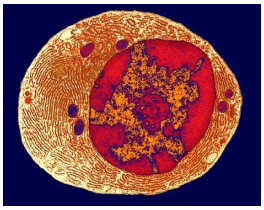
Aquí se mezclan dos ideas: cómo se forma un sistema planetario y cómo, mucho más tarde, aparecen los primeros indicios de vida. Esto sirve para mostrar que entre la formación de la Tierra y la existencia de organismos hubo una larga evolución física y química del planeta.

La referencia a estromatolitos y cianobacterias señala uno de los primeros registros claros de actividad biológica. Es decir, primero hubo una Tierra muy hostil y solo después surgieron organismos capaces de dejar huellas reconocibles.

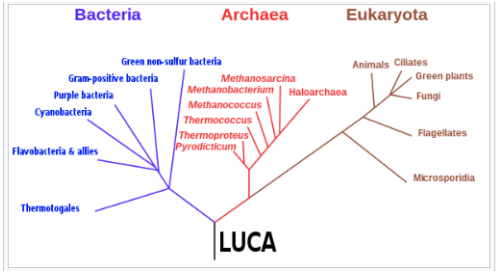
⇒ ARCAICO: PROCARIOTAS



En el Arcaico el registro apunta a una biota procariota ya diversificada. Eso significa que, para entonces, la vida no solo existía, sino que ya había tenido



tiempo de evolucionar en formas distintas y relativamente bien establecidas.



Por eso aparece la referencia a LUCA, el último ancestro común universal. No sería el primer ser vivo sin más, sino el antepasado del que proceden las grandes líneas de la vida actual conocidas por la biología.

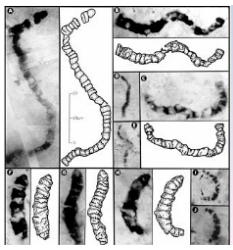
→ puntos Importantes:

• El origen de la vida sigue siendo una cuestión científica abierta.

• Las hipótesis más conocidas son panspermia, evolución bioquímica y origen hidrotermal.

• Los primeros indicios de vida son indirectos y muy antiguos.

⇒ LOS PRIMEROS ORGANISMOS



Posibles células procariotas (Fm. Chert de Apex, Australia)

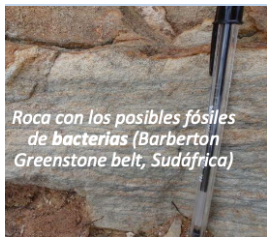
❖ Hablar de los primeros organismos en la Tierra nos lleva a un viaje al pasado remoto. Hay que situarse en el **Eón Arcaico**, hace unos **3.800/3.500 millones de años**.

En aquel entonces, la Tierra era un lugar inhóspito, con una atmósfera sin oxígeno y bombardeada por radiación ultravioleta.

1. Los protagonistas: Organismos Procariotas

La vida comenzó de la forma más sencilla posible: con células **procariotas**. Estas son células pequeñas, sin un núcleo definido que proteja su material genético. Se dividen principalmente en dos dominios:

- **Bacterias:** Los ancestros de muchas de las bacterias que conocemos hoy.
- **Arqueas:** Microorganismos que hoy suelen vivir en ambientes extremos (como fuentes termales o lagos salados), muy similares a las condiciones de la Tierra primitiva.



Roca con los posibles fósiles de bacterias (Barberton Greenstone belt, Sudáfrica)

2. La primera evidencia: Los Estromatolitos

No tenemos fósiles de "esqueletos" porque estos seres eran microscópicos, pero sí tenemos **estromatolitos**. Son estructuras minerales, similares a rocas laminadas, formadas por la actividad de colonias de bacterias (principalmente cianobacterias).



El dato: Los estromatolitos más antiguos conocidos tienen unos **3.500 millones de años** y se encuentran en lugares como Australia y Groenlandia.

3. El gran cambio: Las Cianobacterias y el Oxígeno

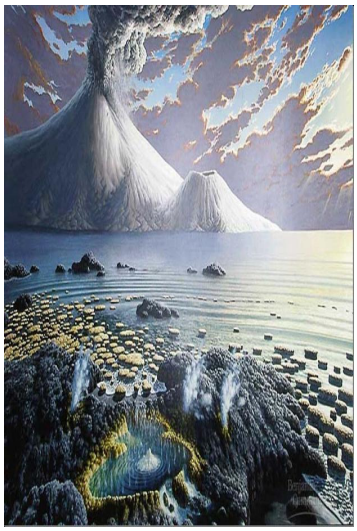
Durante casi 2.000 millones de años, la vida fue exclusivamente unicelular y anaeróbica (no necesitaba oxígeno). Sin embargo, aparecieron las **cianobacterias**, que "inventaron" la fotosíntesis oxigénica.

1. Consumían CO_2 y luz solar.
2. Liberaban **oxígeno** como desecho.
3. Este oxígeno comenzó a acumularse en los océanos y luego en la atmósfera, provocando la **Gran Oxidación**.

Este evento fue letal para muchos organismos de la época, pero permitió que, mucho tiempo después, evolucionara la vida compleja (eucariotas) que dio origen a plantas y animales.

→ La vida empezó en el agua, probablemente cerca de **fuentes hidrotermales** en el fondo del océano, donde el calor y los minerales proporcionaban la energía necesaria en ausencia de una capa de ozono que protegiera la superficie.

⇒ LOS PRIMEROS ORGANISMOS



Vamos a ver cómo pudieron ser los primeros organismos. Se piensa en bacterias muy simples, anaerobias, porque la atmósfera primitiva carecía de oxígeno libre. Muchas dependerían de los compuestos presentes en el medio o de reacciones químicas ligadas a volcanismo y fuentes hidrotermales.

Después surgirían formas autótrofas capaces de obtener energía por fotosíntesis anoxigénica, es decir, sin producir oxígeno al principio. Esto marca un paso esencial hacia ecosistemas cada vez más complejos.

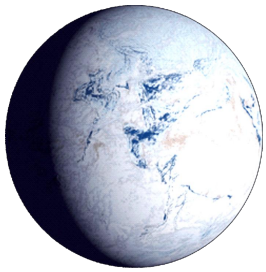
La aparición de las cianobacterias introdujo grandes cantidades de O_2 que hasta entonces no existía en la atmósfera. Este O_2 es un gas incoloro, inodoro y esencial para la vida, componente esencial de la atmósfera (aprox. 21%).

→ puntos Importantes:

- El origen de la vida sigue siendo una cuestión científica abierta.
- Las hipótesis más conocidas son panspermia, evolución bioquímica y origen hidrotermal.
- Los primeros indicios de vida son indirectos y muy antiguos.

⇒ EÓN PROTEROZOICO (2500-570 MA)





Esta etapa del Proterozoico es un período decisivo porque durante él la atmósfera se enriquece en oxígeno, aparecen eucariotas y al final surgen organismos pluricelulares. Además, la tectónica de placas y los **cambios climáticos** adquieren una importancia cada vez mayor.

La formación de ozono y la oxidación de minerales muestran que el planeta ya no funciona químicamente como en el Arcaico. Es una Tierra en transición hacia ambientes más parecidos a los que permitirán la gran diversificación posterior.



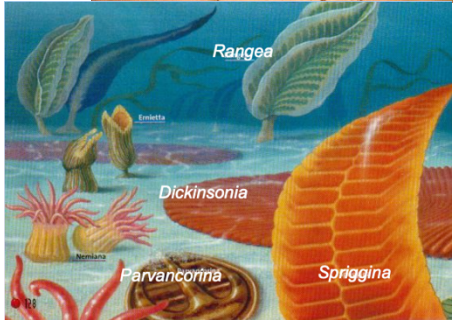
Los primeros signos de organismos animales se hallaron en las colinas de **Ediacara**, en el sur de Australia y sus restos se hallan en rocas de entre 700 a 600 Ma, en el período que se denomina Precámbrico superior (Gould, 1994).



La Fauna o **Biota de Ediacara,** hace 635 Ma, tiene una rápida aparición, radiación y extinción a finales del Proterozoico (Neoproteroizoico). Se trata de una biota muy diversificada, de cuerpo blando, que aparece, conservada como moldes, en muchas partes del mundo además de Australia.



Fauna de esta vida era mayoritariamente **bentónica**, es decir, organismos que viven en el fondo de los ecosistemas acuáticos (mares, ríos, lagos), ya sea sobre el sustrato (**epifauna/epiflora**) o enterrados en él (**infauna**)), y compuesta por organismos multicelulares complejos (**metazoos**) de cuerpo blando (desde cm a 1 m) y cuya morfología es distinta a las formas de vida posteriores: forma de corazón, de hoja (tubo), de disco (todas ellas con simetría bilateral) o circular (simetría concéntrico-radial).



https://www.youtube.com/watch?v=v361IQh6dPE

→ puntos Importantes:

- El aumento del oxígeno cambió de forma radical la química del planeta.
- En este eón aparecieron eucariotas y los primeros pluricelulares complejos.
- La fauna de **Ediacara** representa un gran ensayo biológico previo al Cámbrico.

⇒ LA PRIMERA EXTINCIÓN DE LOS ORGANISMOS

La fauna de **Ediacara** desapareció antes o cerca del límite Precámbrico-Cámbrico (538 - 539 Ma). Se trata de una de las primeras grandes crisis biológicas conocidas que afectaron a organismos pluricelulares.

Las posibles causas están ligadas a glaciaciones denominadas ***Varangiense*** y cambios planetarios.

Pero lo importante es entender que la historia de la vida no es lineal: está marcada por radiaciones y extinciones que reordenan profundamente los ecosistemas.

⇒ FANEROZOICO

El Fanerozoico es el **eón** (unidad de tiempo geológico) más reciente y mejor conocido del registro fósil. Comienza hace unos 541 millones de años y se caracteriza por una abundancia mucho mayor de fósiles visibles, sobre todo de organismos con partes duras.

Eón	Era	Periodo	Época	Millones años
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0,011784
			Pleistoceno	2,588
		Neógeno	Plioceno	5,332
			Mioceno	23,03
		Paleógeno	Oligoceno	33,9 ±0,1
			Eoceno	55,8 ±0,2
			Paleoceno	65,5 ±0,3
	Mesozoico	Cretácico		145,5 ±4,0
		Jurásico		199,6 ±0,6
		Triásico		251,0 ±0,4
	Paleozoico	Pérmico		299,0 ±0,8
		Carbonífero	Pensilvánico	318,1 ±1,3
			Misisípico	359,2 ±2,5
		Devónico		416.0 ±2,8
		Silúrico		443,7 ±1,5
		Ordovícico		488,3 ±1,7
		Cámbrico		542,0 ±1,0

Hay que destacar:

❖ Explosión Cámbrica: rápida expansión de la vida en la Tierra, tanto fauna como flora.

❖ Formación del supercontinente, Pangea, lo que explica la expansión de las especies en la actualidad.

❖ Cinco grandes extinciones en: Ordovícico, Devónico, Permo-Triásico y Cretácico-Paleógeno, explicadas por el registro fósil.

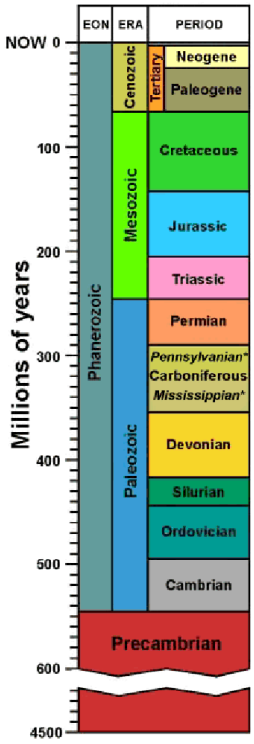
❖ Aparecieron los primeros primates y del género *Homo* en el **Cenozoico**.

→ puntos Importantes:

• La explosión cámbrica supuso una gran diversificación de organismos marinos.

• La esqueletización y la depredación transformaron la dinámica ecológica.

• Algunos yacimientos excepcionales conservan organismos blandos que no suelen fosilizar.



⇒ EXPLOSIÓN CÁMBRICA (541-538 MA)

La explosión cámbrica fue una rápida radiación evolutiva hace aproximadamente 542-538 millones de años, donde aparecieron la mayoría de los grandes filos animales modernos en un periodo de 10 a 25 millones de años. Este evento marcó el inicio del periodo **Cámbrico** con una diversificación sin precedentes, la aparición de esqueletos mineralizados y el desarrollo de depredadores activos, cambiando drásticamente los ecosistemas marinos.

- **¿Qué sucedió?** Se produjo una diversificación repentina de organismos multicelulares complejos, donde surgieron la mayoría de

los planes corporales básicos de los animales actuales, como artrópodos, moluscos y cordados.

- **Causas:** Se atribuye al aumento de oxígeno en la atmósfera y los océanos, el **calentamiento global**, la subida del nivel del mar y la aparición de la depredación, que impulsó una "carrera" evolutiva.
- **Registro Fósil:** Aparecieron por primera vez conchas, caparazones y estructuras duras, lo que mejoró la fosilización. Fósiles notables incluyen criaturas como el *Anomalocaris* y los *trilobites*.
- **Predecesores:** Aunque fue una rápida diversificación, no fue el inicio absoluto de la vida animal, ya que fue precedida por la fauna de **Ediacara**, un conjunto de organismos de cuerpo blando.

¡¡Video fantástico!!
https://youtu.be/joNmObpe7sc?si=R73RbA9QLEaqrjv0

⇒ PASO DEL EÓN PROTEROZOICO AL EÓN FANEROZOICO

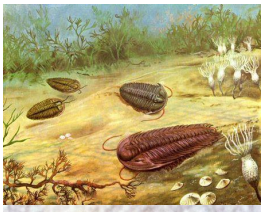


El paso del Eón Proterozoico al Eón Fanerozoico, ocurrido hace aproximadamente **541-542 millones de años**, marca la transición del Precámbrico a la "vida visible". Este cambio se define por la **Explosión Cámbrica**, un rápido aumento en la biodiversidad, la aparición de animales complejos con partes duras (esqueletos, conchas) y el fin de la última gran glaciación del Neoproterozoico.

- **Final del Proterozoico (Neoproterozoico/Ediacárico):** Tras periodos de frío intenso (glaciaciones globales), surgieron ecosistemas complejos de fauna **ediacárica**, formas de vida extrañas y de cuerpo blando en mares poco profundos.
- **Inicio del Fanerozoico (Era Paleozoica/Periodo Cámbrico):** Se caracteriza por una diversificación explosiva de organismos pluricelulares. La vida comenzó a colonizar masivamente los océanos con estructuras complejas como ojos y extremidades.
- **Cambios Ambientales:** La atmósfera ya presentaba altos niveles de oxígeno, permitiendo el desarrollo de metabolismos más energéticos.
- **Geología:** Se inicia con la fragmentación del supercontinente **Pannotia** y la posterior formación de nuevas configuraciones continentales que marcaron el Paleozoico.

Este límite representa el momento en que el registro fósil se vuelve rico y diverso, diferenciándose del registro de microorganismos predominante en el Proterozoico.

⇒ EN EL CÁMBRICO SE PRODUCE UN ESTALLIDO



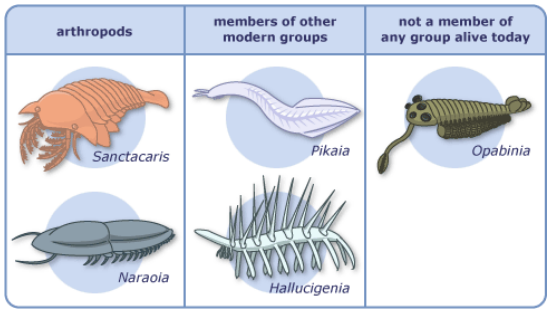




La explosión cámbrica no fue solo que aparecieran muchas especies, sino que se diversificaron también estrategias ecológicas, relaciones depredador-presa y estructuras corporales nuevas.

La mineralización de esqueletos y caparazones fue decisiva, porque dio protección frente a depredadores y mejoró la conservación fósil. Por eso el registro cámbrico parece tan rico comparado con el anterior.

⇒ PIZARRAS DE BURGESS (510 MA)



Las pizarras de Burgess son uno de los grandes yacimientos paleontológicos del mundo. Su valor reside en que conservan organismos de cuerpo blando del Cámbrico medio que normalmente se perderían, lo que

ofrece una visión mucho más completa de aquellos ecosistemas.

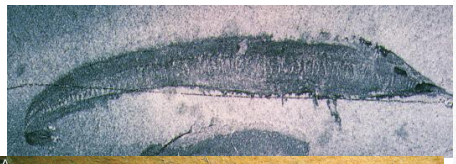
Gracias a esta conservación excepcional se puede estudiar no solo quiénes tenían esqueletos o conchas, sino también muchas formas blandas que participaron en la explosión cámbrica.

⇒ DETALLE DE LA FAUNA DE BURGESS

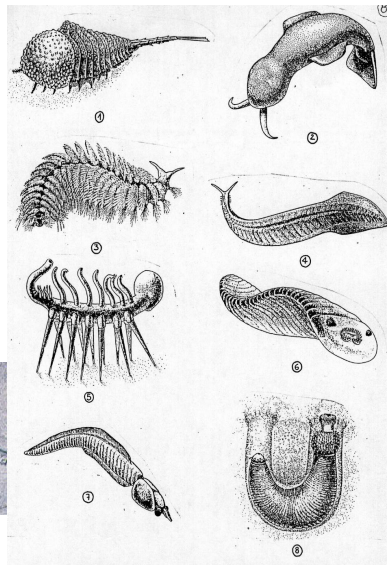
Aquí se destaca a ***Pikaia***, un organismo muy importante porque se considera uno de los primeros cordados conocidos. Esto significa que pertenece al gran plan corporal del que derivarán más adelante los vertebrados.

Su presencia en Burgess ayuda a entender que, dentro de la explosión cámbrica, ya estaban apareciendo líneas evolutivas que acabarían siendo fundamentales para la historia posterior de los animales.









Yunnanozoon *sp., cordado con notocordio y miómeros casi rectos (Chen y Li, 1997; Donoghue y Purnell, 2009)*

CORDADOS: MUSCULATURA SEGMENTADA Y NOTOCORDI

La comparación entre **Ediacara** y **Burgess** permite ver dos mundos biológicos muy diferentes. La fauna precámbrica estaba dominada por formas blandas, con poca depredación y menor complejidad ecológica.

En cambio, la fauna cámbrica ya muestra esqueletos, mayor variedad trófica, bioturbación más intensa y una auténtica "carrera armamentística" entre presas y depredadores. Es una transformación profunda de los ecosistemas.



Fauna de Ediacara (Precámbrico)

-Organismos suspensívoros o recolectores pasivos de comida.

-Sustrato tapizado de microbios o con bioturbación horizontal.



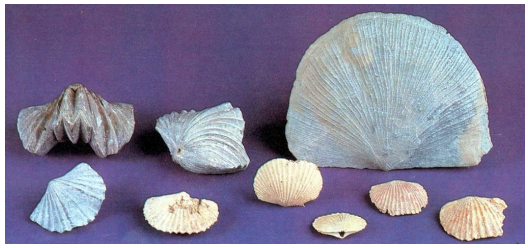
Fauna de Burgess (Cámbrico)

-Organismos suspensívoros, carnívoros y detritívoros.

-Desarrollo de esqueleto, ¡carrera armamentística!

-Bioturbación vertical.

⇒ LA VIDA SIGUE SIENDO EXCLUSIVAMENTE MARINA Y DOMINADA POR INVERTEBRADOS QUE AUMENTAN TANTO EN ESPECIES COMO EN EJEMPLARES



Durante el **Ordovícico** (505–438 Ma) la vida seguía siendo exclusivamente marina, pero aumentó mucho su diversidad. Se expandieron numerosos invertebrados y aparecieron los primeros peces sin mandíbulas.

El periodo termina con una de las grandes extinciones masivas, relacionada con cambios del nivel del mar y transformaciones ambientales importantes. Eso demuestra que la diversificación biológica siempre convivió con episodios de crisis.



→ puntos Importantes:

• Durante el Paleozoico la vida se diversificó primero en el mar y después en tierra firme.

• La colonización del medio terrestre por plantas y animales fue un cambio decisivo.
• El Paleozoico terminó con una gran crisis biológica al final del Pérmico.



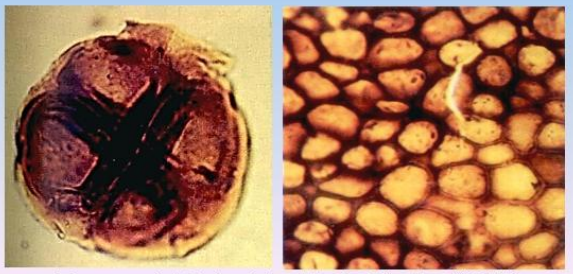
⇒ SILÚRICO (438 – 408 MA)

En el Silúrico continúa el dominio marino, pero se produce un cambio crucial: la vida empieza a conquistar la tierra firme. Primero lo hacen plantas sencillas y después algunos animales, probablemente artrópodos y gusanos.

Este paso del agua a la tierra es uno de los momentos más trascendentales de la evolución, porque abre nuevos ecosistemas y nuevas posibilidades adaptativas.

En el Ordovícico Medio (475 Ma) se encontraron las primeras esporas que han sido interpretadas como esporas de plantas no vasculares, briofitas (musgos y hepáticas) por su similitud con las esporas actuales.

Las algas verdes que se habían adaptado a sobrevivir al borde del agua dieron lugar a las primeras plantas no vasculares que estarían relacionadas con ambientes acuáticos y corresponderían a las briofitas, mientras que las verdaderas plantas vasculares aparecerían un poco más tarde (Silúrico superior).

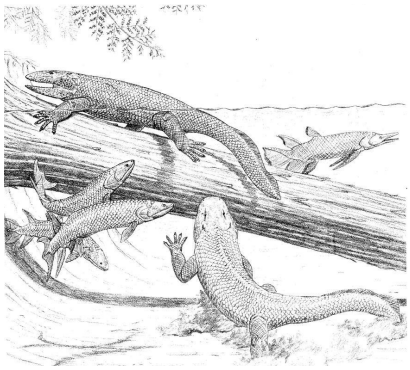


Esporas del Ordovícico Medio Stanley (1993)



Briofita, Hepática actual

⇒ DEVÓNICO (408 – 360 MA)

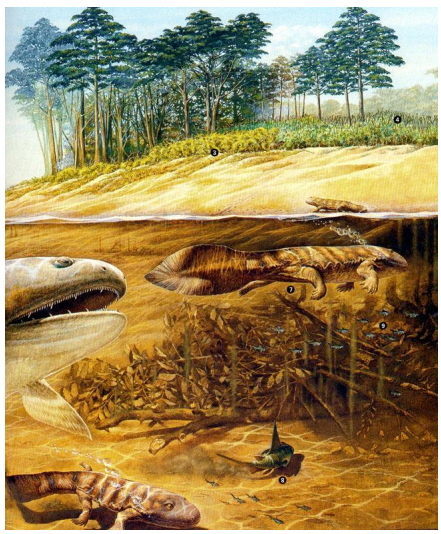


El Devónico suele conocerse como una etapa muy importante para los peces y para la expansión de la vida terrestre. En el mar continúan diversos invertebrados y grupos de peces, mientras en tierra avanzan plantas más desarrolladas y aparecen los primeros bosques.

También se asocia con el auge de los anfibios y con varias crisis, especialmente al final del periodo. Es un momento de fuerte innovación evolutiva, pero también de inestabilidad ambiental.

RECONSTRUCCIÓN DEL MEDIO EN QUE SE MOVÍAN LOS TETRÁPODOS ANFIBIOS MÁS PRIMITIVOS, DEL GÉNERO *ICHTHYOSTEGA*, DURANTE EL DEVÓNICO SUPERIOR. En la figura se ven también los antecesores de los tetrápodos, los crosopterigios del género *Eusthenopteron* (a la izquierda). A la derecha, el pez pulmonado *Rhynchodipterus*. El tronco y las ramas pertenecen al helecho arborescente *Eospermatopteris* (Tomado de STANLEY, 1986)

⇒ PAISAJE DEL DEVÓNICO SUPERIOR EN USA.

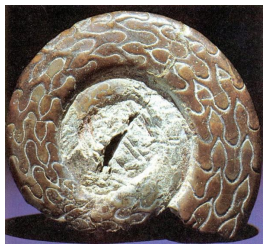


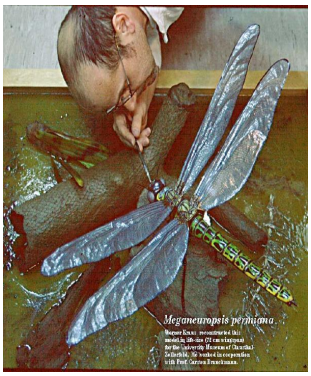
Aunque durante este período se produjeron varios eventos de **extinción**, se considera más importante el producido al **final del Devónico** (desaparecieron el 70 – 80% de las especies). Se han propuesto varias causas para esta extinción, de las cuales la más probable es un cambio climático que afectó a las especies marinas de agua templada.

Paisaje del Devónico Superior en USA.
7: *Hynerpeton lindae*, uno de los primeros Anfibios.
8: *Placodermo Groelandáspido*.
9: Peces primitivos de aletas radiales. La gran cabeza que asoma a la izquierda pertenece a un *crosopterigio*.

En tierra firme, las plantas arbóreas pertenecen a *Archaeopteris*, 3: Helechos del género **Rhacophyton**; 4: **pteridospermas**.

⇒ CARBONÍFERO (360– 266 MA)

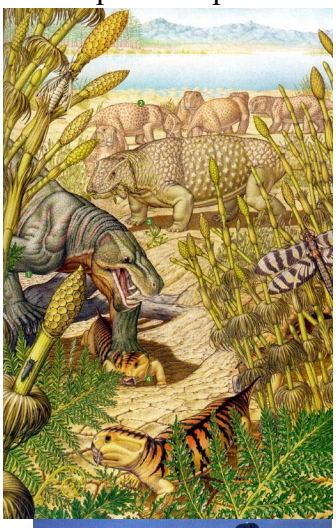




El Carbonífero destaca por los grandes bosques pantanosos cuyos restos dieron origen a importantes capas de carbón. En tierra aparecen semillas más eficaces, coníferas tempranas, reptiles e insectos voladores, mientras los anfibios siguen expandiéndose.



Esto es un buen ejemplo de relación entre vida y recursos geológicos: la abundante vegetación de esta época terminó transformándose en uno de los principales combustibles fósiles explotados por el ser humano.



⇒ PÉRMICO (266 – 251 MA)

El Pérmico se sitúa como una etapa de fuertes cambios climáticos y biológicos. En el mar se identifican los *ammonites* que dominaron durante el Mesozoico.

En tierra firme las nuevas condiciones climáticas afectan a muchos organismos que no sobreviven. Y surgen los reptiles *mamiferoides*, formas muy importantes porque anuncian líneas evolutivas que más tarde se relacionarán con los mamíferos.

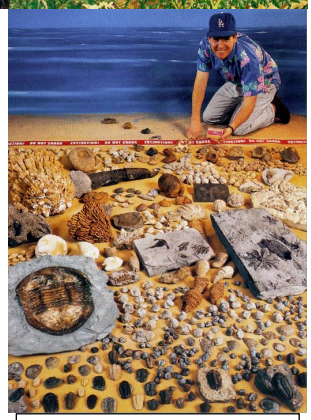
Los insectos gigantes serán reemplazados por otros de metamorfosis complicada. La flora carbonífera y fauna es sustituida por las **gimnospermas** debida a nuevas condiciones ambientales

El Pérmico prepara el escenario de una de las mayores extinciones conocidas.

Las causas de esta crisis no están claras. Existen indicios de un gran episodio de vulcanismo a gran escala que habría producido cantidades masivas de gases, dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de azufre (SO_2), que habrían bloqueado una parte importante de luz.

Esto debió producir un enfriamiento global y fenómenos de lluvia ácida. Pero el CO_2 almacenado en la atmósfera provocaría un posterior **calentamiento global** y, en gran medida, la pérdida de mares continentales e intercontinentales. El resultado fue una catástrofe biológica de gran magnitud.

Según datos de Raup (1988) desaparecieron el 54% de las familias marinas.

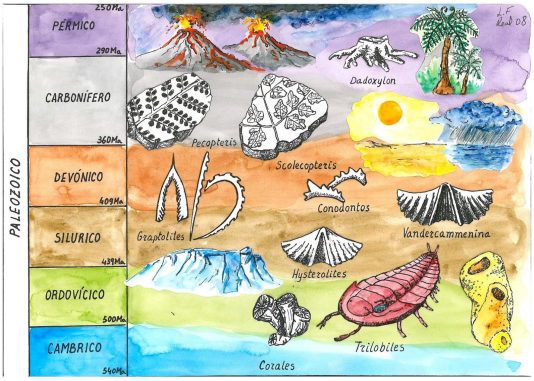


Resume visual de la extinción Pérmico-Triásico

⇒ CRISIS BIOLÓGICAS DEL PALEOZOICO

Esta diapositiva sintetiza las crisis biológicas del Paleozoico. Su valor principal está en obligar a ver la historia de la vida no solo como una sucesión de apariciones, sino también de desapariciones y renovaciones.

Las extinciones funcionan como filtros evolutivos: eliminan muchas líneas y permiten que otras se expandan. Son, por tanto, parte esencial de la historia biológica.



⇒ GRAN DIVERSIFICACIÓN DE LA FAUNA MARINA





Aquí se resume grandes rasgos del Mesozoico: abundancia y diversificación de fauna marina, auge de los dinosaurios, aparición de mamíferos tempranos y expansión progresiva de las angiospermas.

No debe verse el Mesozoico solo como "la era de los dinosaurios". También fue una etapa de profundos cambios en plantas, invertebrados y pequeños vertebrados que prepararon el mundo posterior.

⇒ TRIÁSICO (251 – 201 MA)

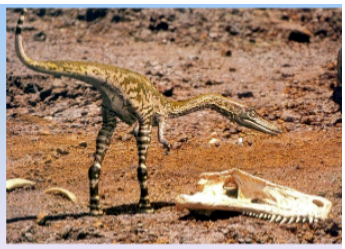
El Triásico es el primer periodo de la Era Mesozoica tras la extinción masiva del Pérmico y con una duración de unos 50 millones de años. Se caracteriza por la existencia del supercontinente Pangea, un clima cálido y seco, y la aparición de los primeros dinosaurios y mamíferos.

Características Principales:

- **Geología y Geografía:** El supercontinente Pangea comenzó a fracturarse durante este periodo. La mayor parte de la tierra firme estaba unida, centrada en el ecuador y rodeada por el océano **Pantalasa**.
- **Clima:** Generalmente cálido y árido, con veranos intensos e inviernos fríos en el interior continental, propiciando la formación de desiertos.
- **Vida en el Triásico:**
  - **Fauna:** Aparecieron los primeros dinosaurios (pequeños y bípedos), los primeros mamíferos y se diversificaron los reptiles marinos.
  - **Flora:** La flora cambia respecto al Carbonífero y Pérmico, está dominada por coníferas, cícadas y helechos. y aparecen también formas próximas a mamíferos. Es un periodo de transición muy importante entre dos mundos biológicos distintos.
- **Subdivisiones:** Se divide en Triásico Inferior, Medio y Superior.
- **Final del Periodo:** Concluyó con una extinción masiva (Triásico-Jurásico) que eliminó a gran parte de los reptiles mamiferoides, permitiendo el dominio de los dinosaurios en el siguiente periodo.



Lystrosaurus, reptil mamiferoide.



Coelophysis. Dinosaurio terópodo.

Este periodo marcó la recuperación biológica de la Tierra y sentó las bases para el predominio de los dinosaurios durante el resto de la Era Mesozoica.

→ puntos Importantes:

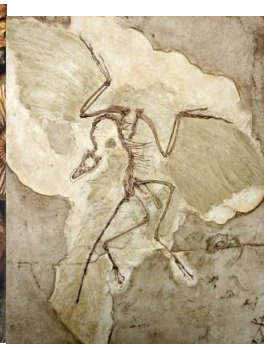
• El Mesozoico estuvo dominado por reptiles, especialmente dinosaurios y formas marinas.

• También aparecieron aves primitivas, mamíferos tempranos y se expandieron las angiospermas.

• El final del Cretácico marca una de las grandes extinciones de la historia.

⇒ JURÁSICO (208 – 144 MA)

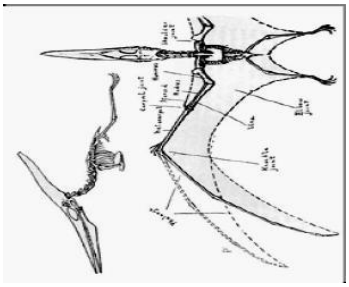


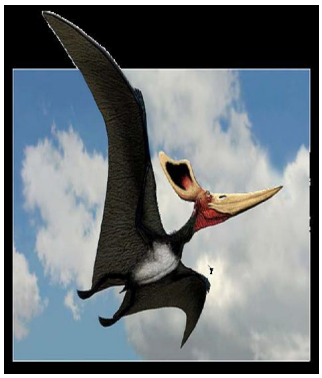


Durante el Jurásico los reptiles alcanzan un desarrollo enorme: dinosaurios terrestres, pterosaurios y reptiles marinos. También aparecen aves primitivas como *Archaeopteryx*, fundamentales para comprender el origen evolutivo de las aves.

La vegetación está dominada por gimnospermas y pteridófitas, aunque ya asoman las primeras angiospermas. El conjunto muestra ecosistemas muy diferentes de los actuales, pero ya muy complejos.

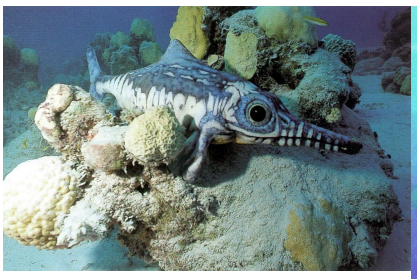
⇒ REPTILES VOLADORES

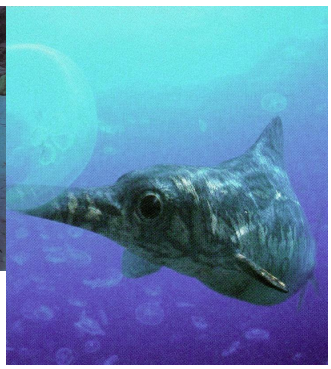




Esta diapositiva funciona como ejemplo visual del gran desarrollo de los reptiles durante el Jurásico. Las imágenes permiten distinguir formas adaptadas al vuelo, al medio marino o a la vida terrestre de gran tamaño.

Es importante fijarse en la diversidad funcional: no existía un único tipo de dinosaurio o reptil, sino una gran variedad de soluciones evolutivas para distintos ambientes.

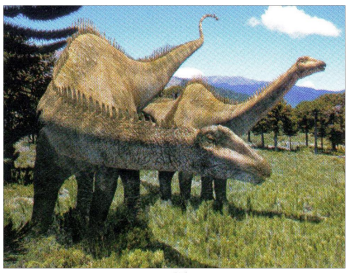




***OPHTHALMOSAURUS*, REPTIL MARINO DEL JURÁSICO (TOMADO DE HAINES, 1999)**

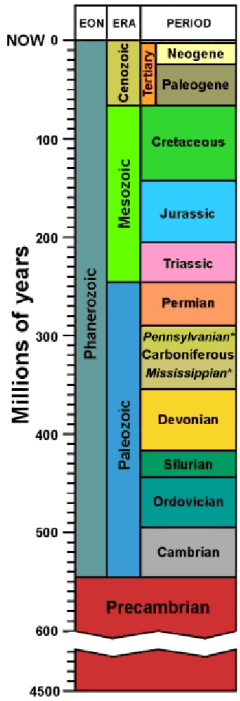


***MAMENCHISAURUS*, DINOSAURIO SAURÓPODO GIGANTESCO DEL JURÁSICO (TOMADA POR STANLEY, 1986)**



DIPLODOCUS EN UN BOSQUE DE ARAUCARIAS. (TOMADO POR HAINES, 1999)

⇒ CRETÁCICO (144 – 66,4 MA)



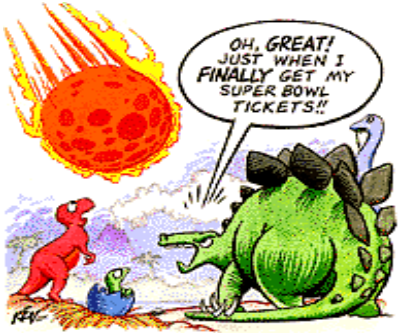
En el Cretácico se producen cambios importantes en clima, vegetación y fauna. Las angiospermas se expanden con rapidez y los ecosistemas comienzan a parecerse más a los modernos desde el punto de vista botánico.

Mientras tanto, siguen presentes dinosaurios, ammonites y otros grupos típicamente mesozoicos, hasta que el final del periodo queda marcado por una gran extinción masiva.



Megazostrodon **(Mesozoico), representante de la familia más primitiva de mamíferos, los morganucodóntidos**

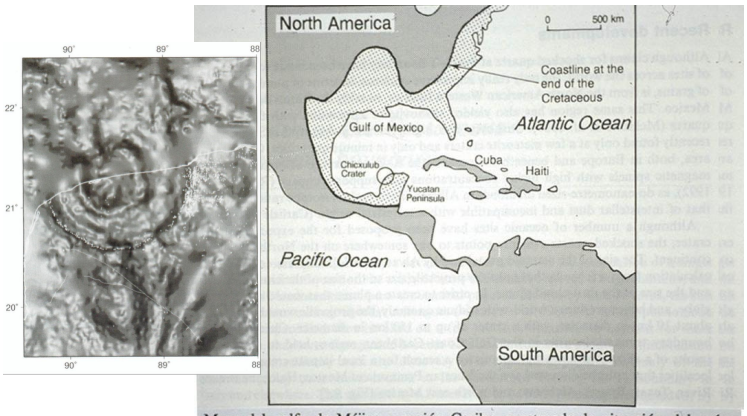
Esta diapositiva es esencialmente visual, alude al impacto asociado a la extinción del final del Cretácico, y es que se cree que un acontecimiento brusco fue el causante de alterar la vida a escala planetaria.



⇒ SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y PALEOGEOGRÁFICA DEL CRÁTER ENTERRADO DE CHICXULUB, EN YUCATÁN (MÉJICO)

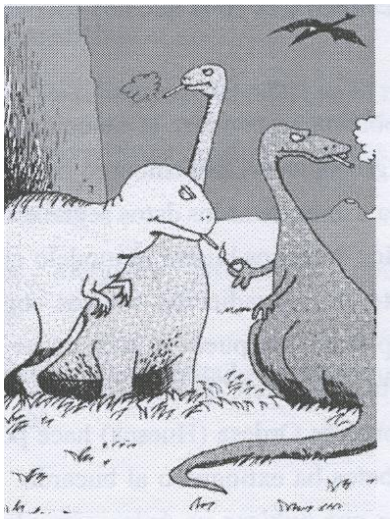
La diapositiva presenta el **cráter de Chicxulub**, una de las pruebas más sólidas de impacto meteorítico al final del Cretácico. Su tamaño y cronología lo convierten en pieza clave para explicar la gran extinción de ese momento.

La importancia del dato es enorme: vincula un evento geológico brusco con un cambio biológico global. No explica todo por sí solo, pero sí aporta una causa física muy poderosa.



Mapa del golfo de Méjico y región Caribe, mostrando la situación del cráter Chicxulub, en Yucatán, producido por un impacto meteorítico. En trazo grueso se representa la situación aproximada de la línea de costa a fines del Cretácico. (Tomado de HALLAM & WIGNALL, 1997).

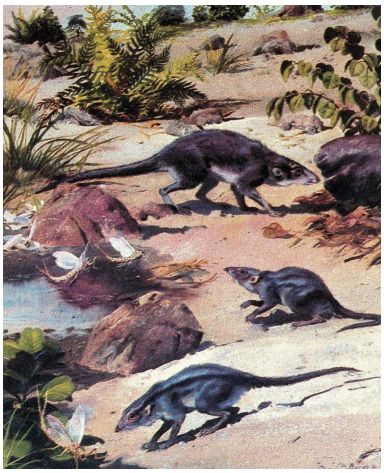
⇒ CAUSAS BIÓTICAS



En el Cretácico se producen cambios importantes en clima, vegetación y fauna. Las angiospermas se expanden con rapidez y los ecosistemas comienzan a parecerse más a los modernos desde el punto de vista botánico. Todo ello puedo tener varias causas.

1. **Causas bióticas:**
   - → **Problemas de Enfermedades**: traumáticas, alergias a las angiospermas, parásitos, epidemias como el SIDA, etc.
   - → **Problemas fisiológicos**: disminución del cerebro y perdida de capacidades, inadaptación a las condiciones ambientales, etc.
   - → **Senilidad racial.**
   - → **Interacciones bióticas**: competición con otros organismos: mamíferos, orugas, etc.; predación por parte de los carnívoros o proliferación de mamíferos comedores de huevos; cambios en las plantas, ej. aumento de bosques con pérdida de espacios para los dinosaurios; producción de individuos del mismo sexo por un cambio climático, etc.
2. **Causas físicas:**
   - → **Causas atmosféricas**: clima demasiado caluroso o demasiado frío, inundaciones, O2, CO2, etc.
   - → **Causas oceánicas y orográficas: r**egresiones / transgresiones marinas, desaparición de los hábitats pantanosos, apertura entre placas continentales con entrada de aguas frías.
3. **Otras causas:**
   - • Cambios en la rotación de la Tierra
   - • Destrucción de la capa de ozono
   - • Extraterrestres

⇒ MAMÍFEROS DEL CRETÁCICO SUPERIOR



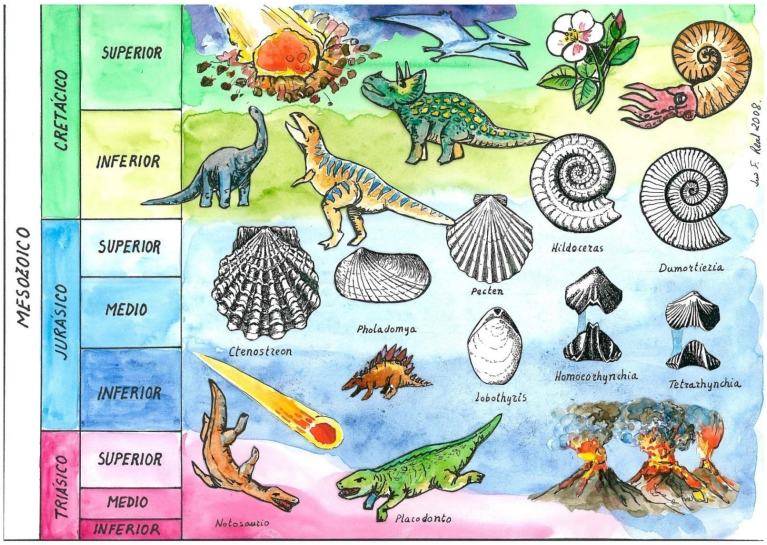
En el Cretácico ya existían mamíferos, aunque aún no dominaban los ecosistemas terrestres. Esto es importante porque muestra que los mamíferos no aparecen después de la extinción, sino que ya estaban presentes y se diversificaron tras desaparecer muchos competidores.

De este modo se entiende mejor por qué el Cenozoico será la era de la gran radiación de mamíferos y aves.

⇒ CRISIS BIOLÓGICAS DEL MESOZOICO

Aquí vemos las crisis biológicas del Mesozoico y sirve como pausa de conjunto. Reúne en una visión global las perturbaciones que marcaron el Triásico, Jurásico y, sobre todo, el final del Cretácico.

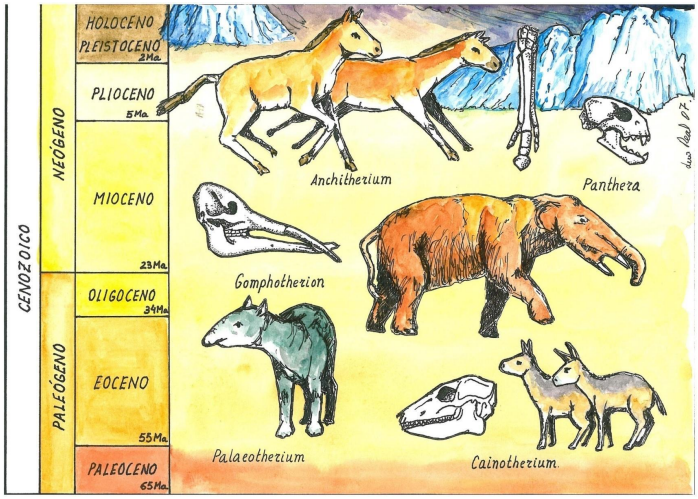
Su interés principal es mostrar que incluso una era aparentemente dominada por grupos exitosos estuvo atravesada por cambios bruscos y episodios de fuerte inestabilidad.



⇒ LA GRAN RADIACIÓN DE LOS MAMÍFEROS

La gran radiación de los mamíferos es una de las marcas del Cenozoico. Tras la desaparición de muchos grandes reptiles, los mamíferos ocuparon nichos ecológicos diversos y se expandieron en tamaño, formas de vida y estrategias alimentarias.

No fue un cambio instantáneo, sino un proceso evolutivo favorecido por nuevas condiciones ecológicas y climáticas. Esto explica la enorme diversidad de mamíferos posterior.



⇒ CENOZOICO (65 – 0 MA)

El Cenozoico se puede definir como la etapa de la "vida moderna" y explica sus grandes rasgos geológicos. Los continentes siguen moviéndose y colisionando (Orogenia Alpina), levantando cordilleras como Himalaya, Alpes, Andes o Pirineos, etc.

Abarca los siguientes periodos:

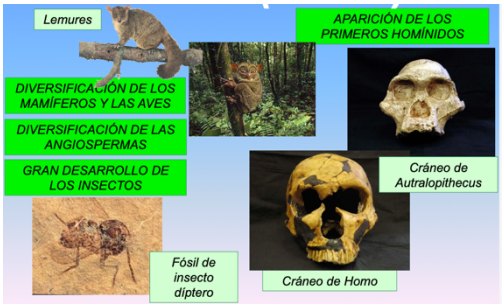
- Paleógeno (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno).
- Neógeno (Mioceno, Plioceno)
- Cuaternario (Pleistoceno, Holoceno)

Características generales:

- El clima se recrudece. Este enfriamiento favorece la expansión de los *homeotermos* (mamíferos y aves).
- En el cuaternario se produce un enfriamiento más crudo. Cuatro glaciaciones importantes se producen en el Pleistoceno (Günz, Mindel, Riss y Würm). Estas transformaciones físicas condicionan de manera directa la evolución de flora y fauna.

Aquí se producen varias novedades: expansión de mamíferos y aves, gran éxito de los insectos, diversificación de angiospermas y aparición de los primeros homínidos.

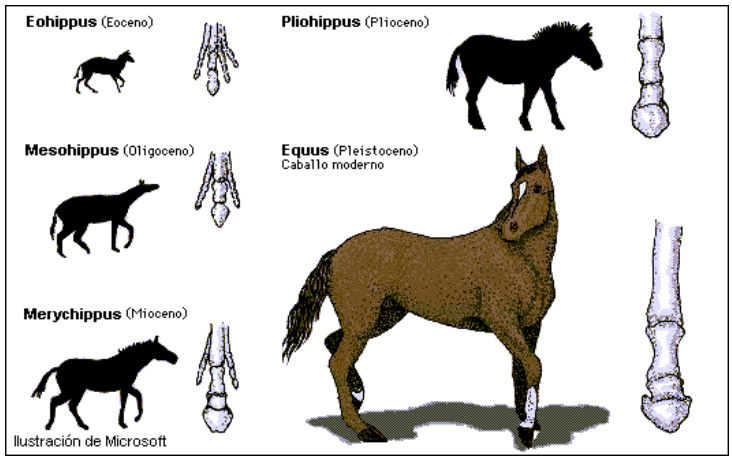
Esto es especialmente importante porque sitúa la evolución humana dentro de un marco más amplio. El ser humano no aparece aislado, sino como parte de una larga historia biológica y ecológica.



⇒ EVOLUCIÓN DE LOS CABALLOS

La evolución de los caballos es un ejemplo clásico para explicar cómo cambian las especies a lo largo del tiempo. Se observan modificaciones en pezuñas y en extremidades, tamaño y dentición relacionadas con cambios ambientales y con nuevas formas de desplazamiento y alimentación.

Este caso se usa mucho porque el registro fósil es relativamente bueno y permite visualizar la evolución no como salto brusco, sino como transformación acumulativa.



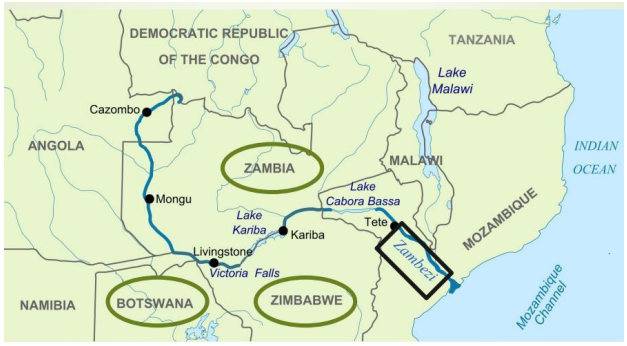
⇒ EVOLUCIÓN DE LA ESPECIE HUMANA

Este bloque introduce acerca de la evolución humana. Lo esencial aquí es comprender que la aparición de nuestra especie ocupa una parte muy pequeña del tiempo geológico total y que procede de una secuencia de formas anteriores dentro del linaje de los homínidos.



Toda esta evolución no solo trata de nombres de especies, sino de cambios en locomoción, cerebro, conducta, adaptación ambiental y expansión geográfica.

Durante todo este periodo del Cenozoico se consolidan mamíferos, aves, angiospermas e insectos modernos, mientras el clima y los continentes siguen cambiando.



Dentro de este marco aparece la evolución humana, que debe entenderse como una parte muy tardía de un proceso biológico mucho más amplio. Y la pregunta que se plantea acerca del origen humano apunta al problema geográfico de dónde surgieron los primeros homínidos y, más tarde, nuestra propia especie. El consenso principal sitúa ese origen en África, aunque el detalle exacto y las rutas de dispersión se han ido afinando con nuevos fósiles y estudios genéticos.

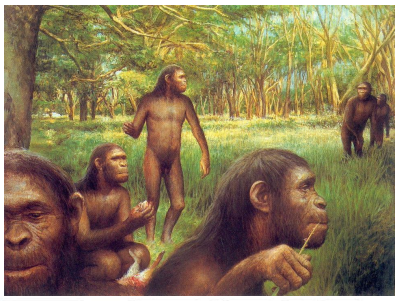


Esta cuestión es importante porque une paleontología, geología, clima y biogeografía. No basta con encontrar un fósil: hay que situarlo en su contexto ambiental y temporal.





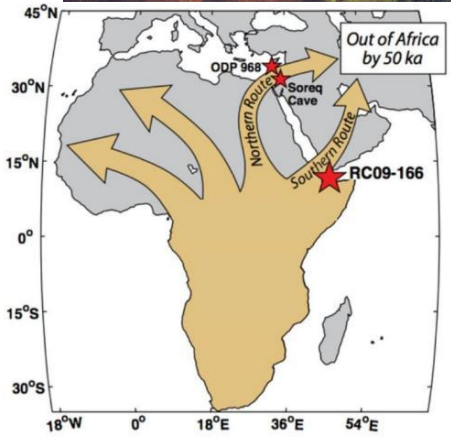
⇒ GRUPO FAMILIAR DE HOMO HABILIS, OBSERVADO POR UNA



En esta imagen que muestra *Homo habilis* junto a *australopitecinos* robustos, ayuda a entender que durante la evolución humana convivieron distintas formas emparentadas, no una simple línea recta sin ramificaciones.

Eso es clave para no imaginar la evolución como una escalera perfecta. Hubo coexistencia, competencia, especialización y extinciones dentro de nuestro propio linaje.

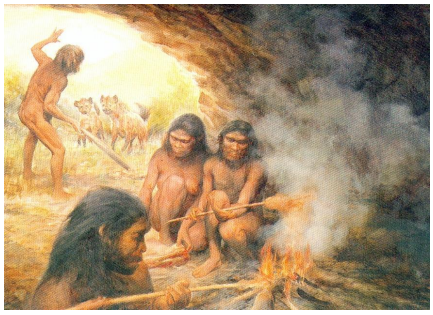
⇒ ÉXODO DEL CONTINENTE AFRICANO



Los cambios ambientales en África están relacionados con la dispersión humana fuera del continente. Sequías prolongadas y transformaciones del paisaje pudieron favorecer movimientos migratorios en busca de recursos y ambientes más favorables.

Esto recuerda que la evolución humana no depende solo de rasgos biológicos. También está profundamente conectada con clima, geografía y disponibilidad de recursos.

⇒ RECONSTRUCCIÓN DEL ASPECTO Y ACTIVIDADES DE HOMO



Homo erectus ocupa un lugar fundamental en esta evolución humana porque muestra un cuerpo más adaptado a la marcha prolongada, mayor expansión geográfica y comportamientos cada vez más complejos.

Suele considerarse una de las especies clave en la salida de África y en la consolidación de rasgos humanos más modernos en locomoción y organización vital.

⇒ HOMO SAPIENS NEARDENTHALENSIS



Esta imagen hace referencia a los neandertales, una forma humana muy bien adaptada a ciertos ambientes fríos del Pleistoceno. Durante mucho tiempo se les vio de manera simplificada, pero hoy se entiende que poseían conductas complejas y una gran capacidad de adaptación.

Su relación con *Homo sapiens* es uno de los temas más interesantes de la paleoantropología, porque incluye coexistencia, diferencias culturales y mezcla genética.

→ puntos Importantes:

- El Cenozoico es la era de la gran radiación de mamíferos y aves.
- El enfriamiento climático y los cambios continentales influyeron mucho en la evolución.
- La evolución humana es una parte muy reciente dentro de esta larga historia.

⇒ HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA

Estas diapositivas finales sirven como repaso general del tema. Reúnen, de forma muy condensada, las grandes etapas: formación del planeta, primeros microorganismos, oxigenación, vida pluricelular, explosión cámbrica, eras biológicas, extinciones y evolución humana.

Y tienen el aliciente de que fueron realizadas por el humorista gráfico **Antonio Fraguas, Forges (1942-2018).**


1 ENERO
¿HOP?
APARECE LA TIERRA HACE 5.000 MILLONES DE AÑOS


28 ABRIL
¿HOLA CHATOS?
FINALES DE ABRIL, 4.000 MILLONES DE AÑOS: NACEN LAS ALGAS AZULES, PRIMERA VIDA DEL PLANETA


27 OCTUBRE
AQUÍ UN AMBIENTE HOSTIL, AQUÍ UN GUSANO
BUENAAASSS
6 MESES DESPUÉS, EN EL FINAL DE OCTUBRE, LAS ALGAS AZULES TIENEN DE COMPAÑEROS A LOS GUSANOS


21 NOVIEMBRE
TA-TA GU-GU
HACE 600 MILLONES DE AÑOS YA HAY PECES, PERO SIN ESCAMAS, NI ESTÓMAGO, NI CASI CEREBRO; Y CON UNA SOLA ALETA DE HUESO E INMÓVIL


25 NOVIEMBRE
440 MILLONES DE AÑOS, PRIMER PEZ CASI COMO LOS ACTUALES, CON ALETAS MÓVILES Y ESCAMAS (AÚN MUY TONTOS)


3 DICIEMBRE
¿PASSA POR AHÍ?
¿EH?
CIELOS, NO HAY NADIE
PAVOROSO
350 MILLONES, UN PEZ ABURRIDO SE MONTA UNA EXÓTICA EXCURSIÓN: HAN NACIDO LOS ANFIBIOS


7 DICIEMBRE
YO TI UN RETIL
300 MILLONES DE AÑOS: LOS PECES YA SE OREAN POR TIERRA CANTIDAD: SON LOS REPTILES


15 DICIEMBRE
MI MAMÁ ME MIMA MIMO A MI MAMÁ
200 MILLONES DE AÑOS: MAMÍFEROS ELEMENTALES


25 DICIEMBRE
80 MILLONES DE AÑOS: PRIMEROS ANTROPOIDES


31 DICIEMBRE A LAS 16 HORAS
HOLA JACINTA
3.600.000 AÑOS: UN HOMBRE-MONO CAMINA ERGUIDO


31 DICIEMBRE A LAS 23 HORAS 47 MINUTOS
MENOS 1 DE HACIENDA = 3
100.000 AÑOS: YA HAY HOMBRES PRACTICAMENTE COMO NOSOTROS


31 DICIEMBRE A LAS 23 H 59 MINUTOS 57 SEGUNDOS
COLÓN SALE HACIA AMÉRICA
ADIÓS CON EL CORAZÓN, QUE CON EL ALMA NO PUEDOOO
YA EMPEZAMOS