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.

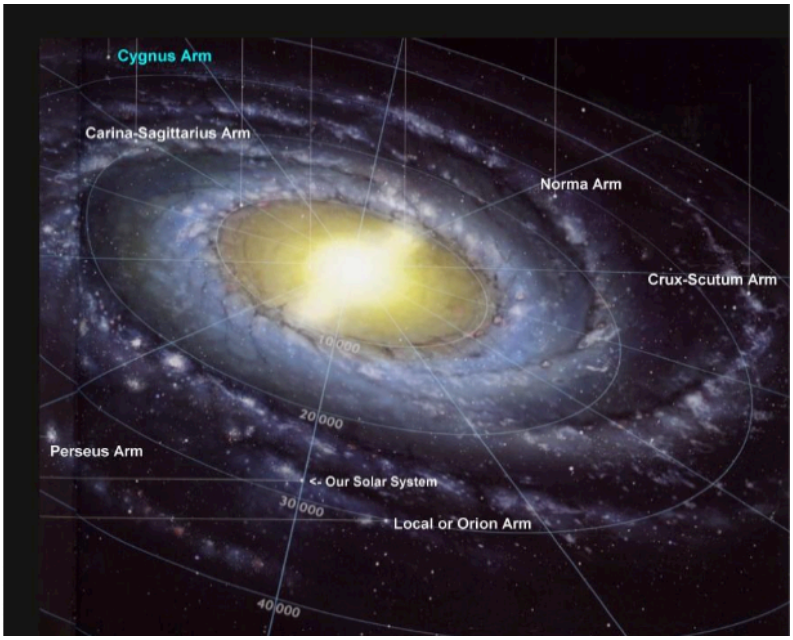
  - **ESTE ES EL ITINERARIO CONCEPTUAL QUE VAMOS A ESTUDIAR:**
    1. **El Sistema Solar**
    2. **El Sol**
    3. **Sistema Solar interior**
    4. **Cinturón de asteroides**
    5. **Sistema Solar exterior**
    6. **Cuerpos transneptunianos**

  - 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.

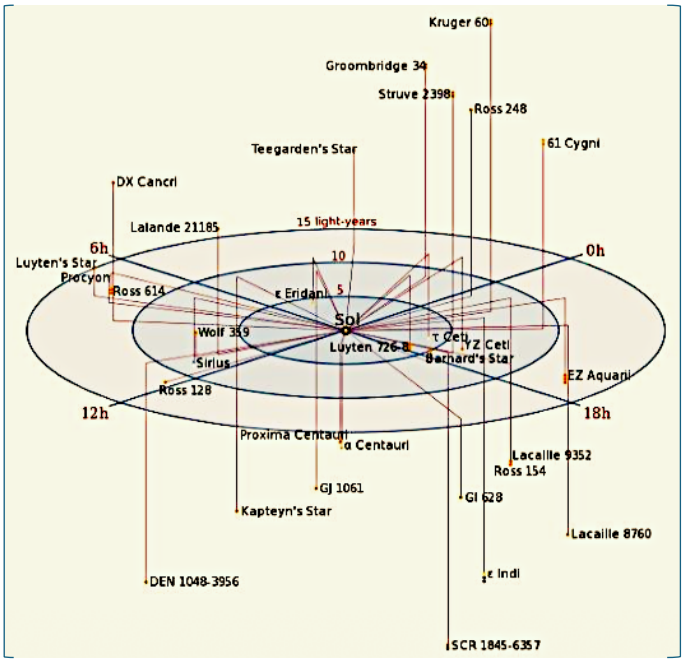
⇒ **<u>SISTEMA SOLAR: ENTORNO ESTELAR CERCANO</u>**

- **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:

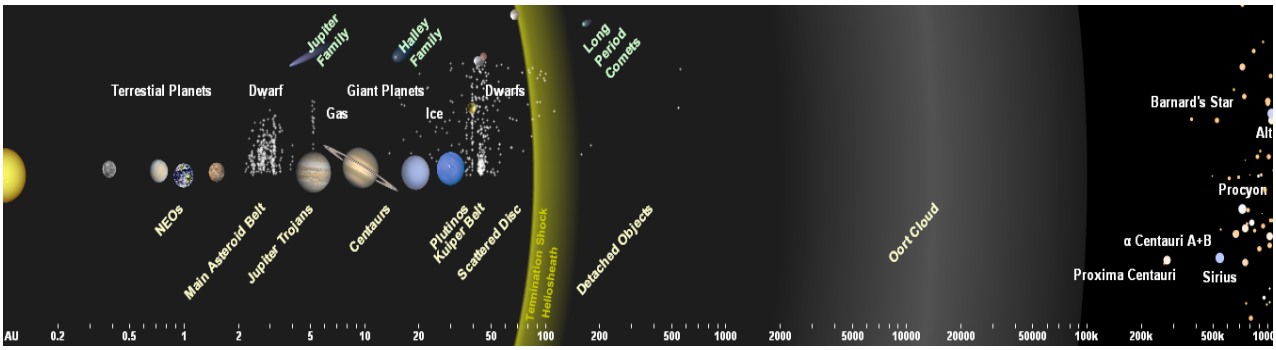
La Tierra es el único planeta que conocemos bien, y es el patrón de comparación.

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**.

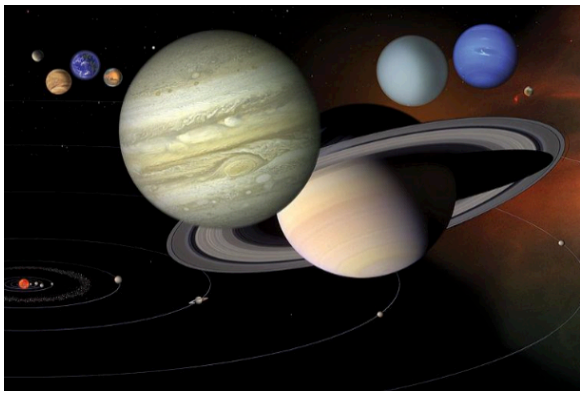
⇒ CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA SOLAR

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

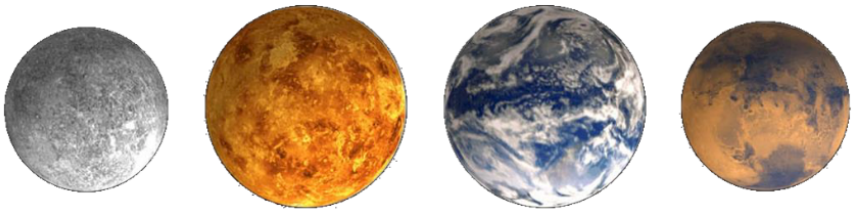
Esta clasificación es **geológica**, no solo orbital:

- 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

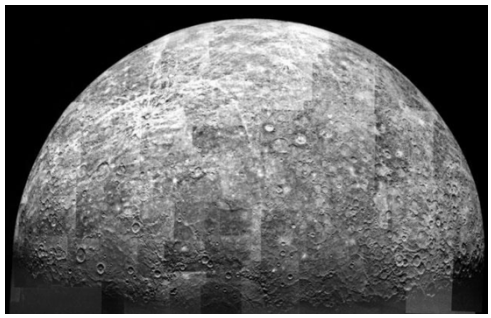
Cuando leemos:

"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:

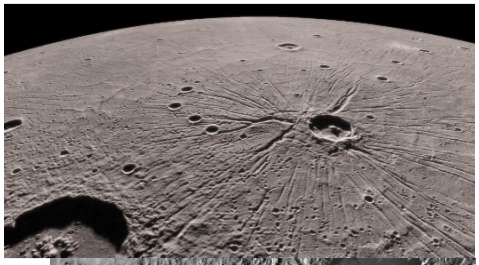
- atmósfera densa,
- agua,
- tectónica de placas.

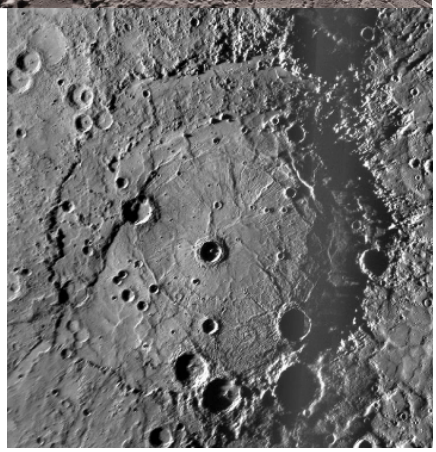
Por tanto, **los cráteres no se borran**.

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.

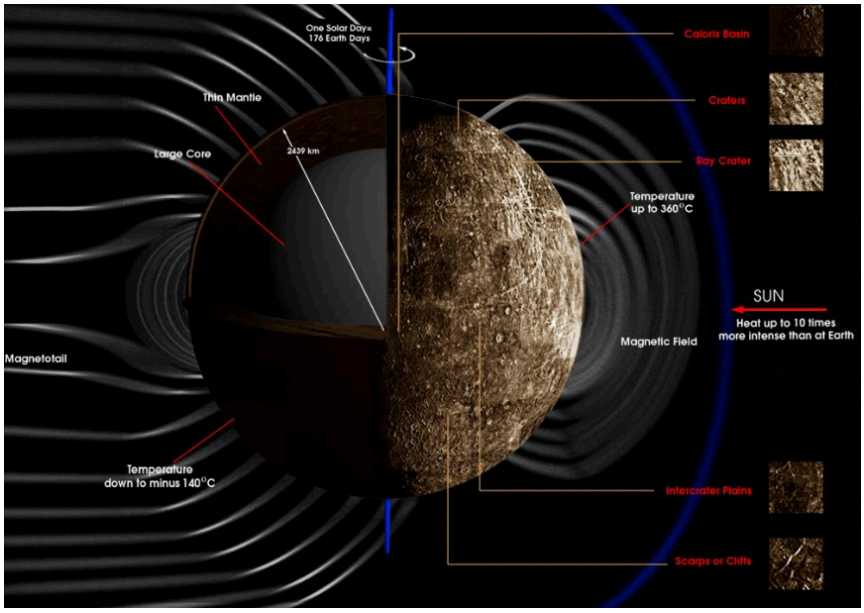
⇒ CAMPO MAGNÉTICO, ATMÓSFERA Y TEMPERATURAS

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

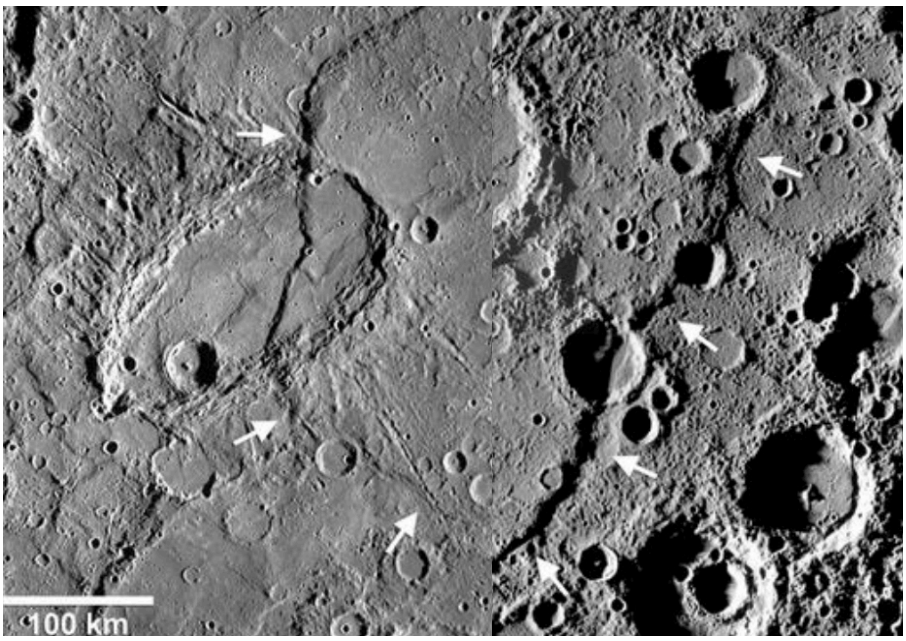
- **Fatiga térmica** de las rocas.
- Fragmentación superficial lenta pero continua.
- Ninguna posibilidad de agua líquida estable.

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

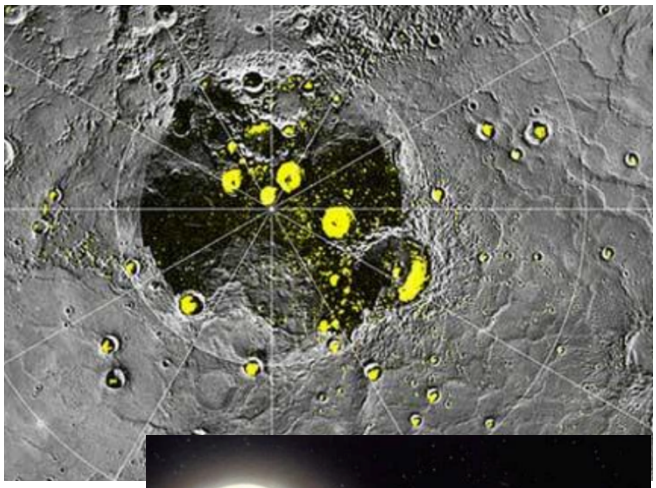
1. Mercurio se **enfrió rápidamente**.
2. Al enfriarse, el planeta **se contrajo**.
3. Esa contracción generó **compresión global**.
4. La corteza se rompió formando escarpes.

👉 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.

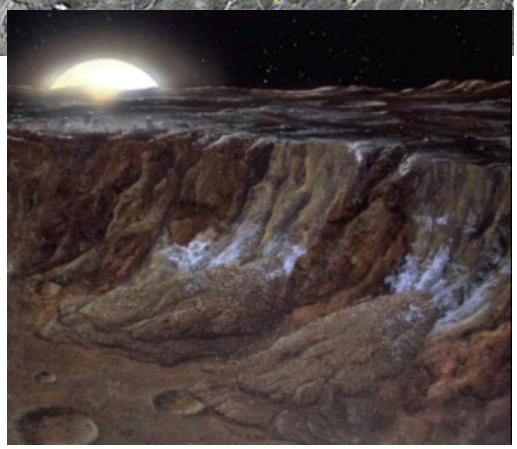


◈ ¿Cómo es posible?

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.

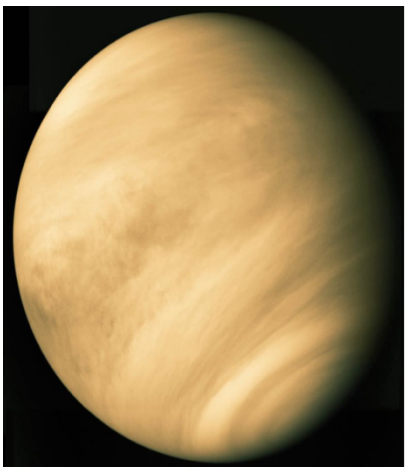
👉 Este video explica cómo se forma hielo en el planeta Mercurio: **https://www.youtube.com/shorts/BCQwdoEjgY0**

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**.



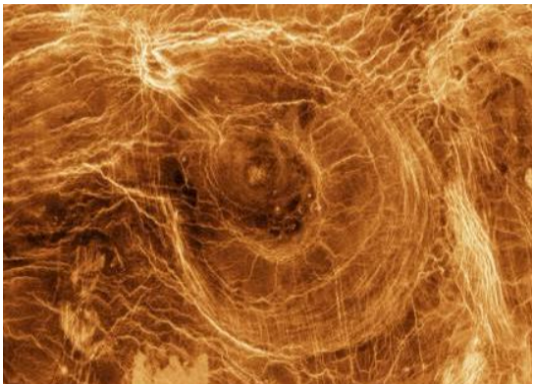


- **Clave geológica inicial**

- Su tamaño similar, pero **no** implica evolución similar.
- Venus es un ejemplo de **divergencia planetaria**: pequeñas diferencias iniciales provocan resultados extremos.

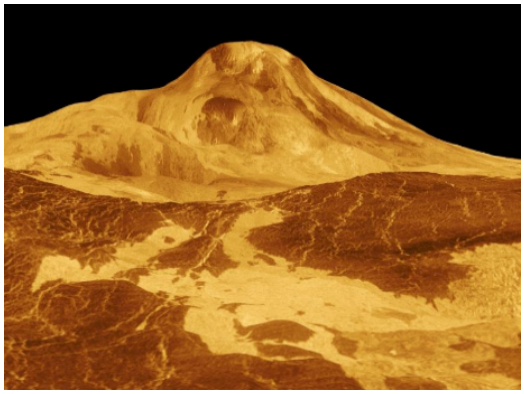
👉 Desde el punto de vista geológico, Venus plantea la pregunta central del tema:
¿Cómo puede un planeta casi igual a la Tierra acabar con una superficie y un clima tan distintos?

⇒ 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**.

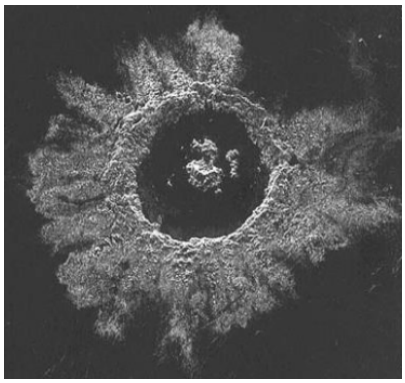
⇒ ESCASEZ DE CRÁTERES



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

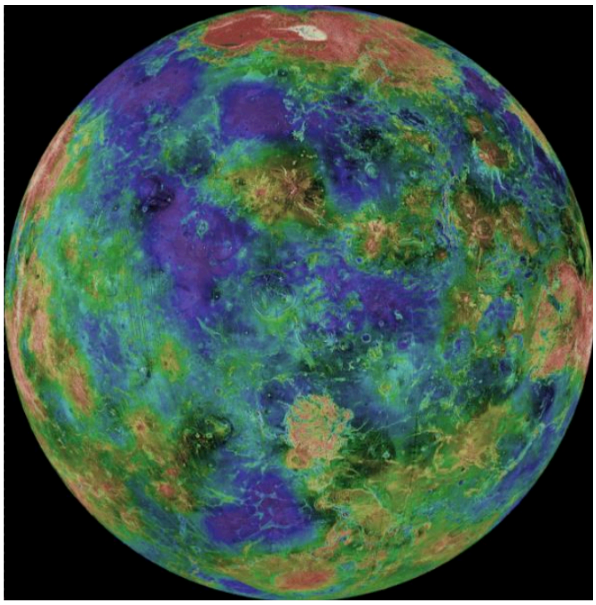
1. **Química de la superficie**
   - Sin agua líquida → **no hay ciclo del carbono** como en la Tierra.
   - El CO_2 volcánico **se acumula** en la atmósfera.
2. **Meteorización "venúsica"**
   - Predominan reacciones de alta temperatura,
   - alteración química distinta a la terrestre,
   - estabilidad 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**:

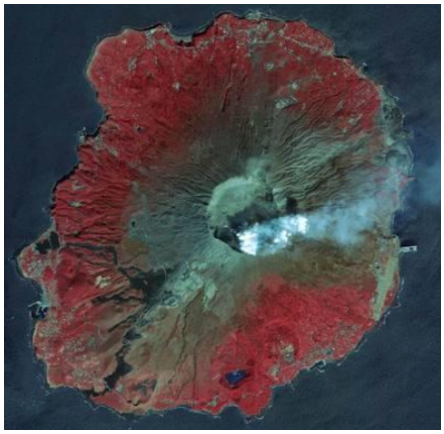
- Reciclado continuo de la corteza.
- Regulación del **CO_2** mediante el ciclo carbonato–silicato.
- Liberación gradual del calor interno (evita acumulación catastrófica como en Venus).

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.

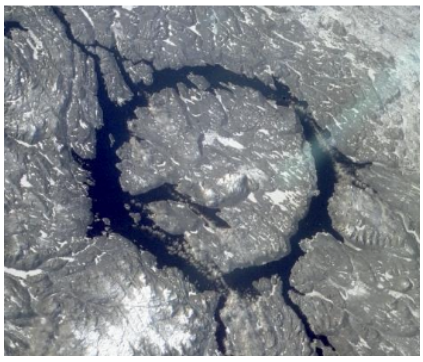
⇒ **LA TIERRA: ESCASEZ DE CRÁTERES (≈183)**



◈ 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.

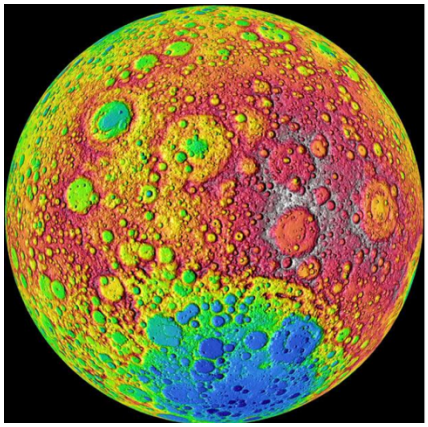
Lectura geológica inicial

- 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

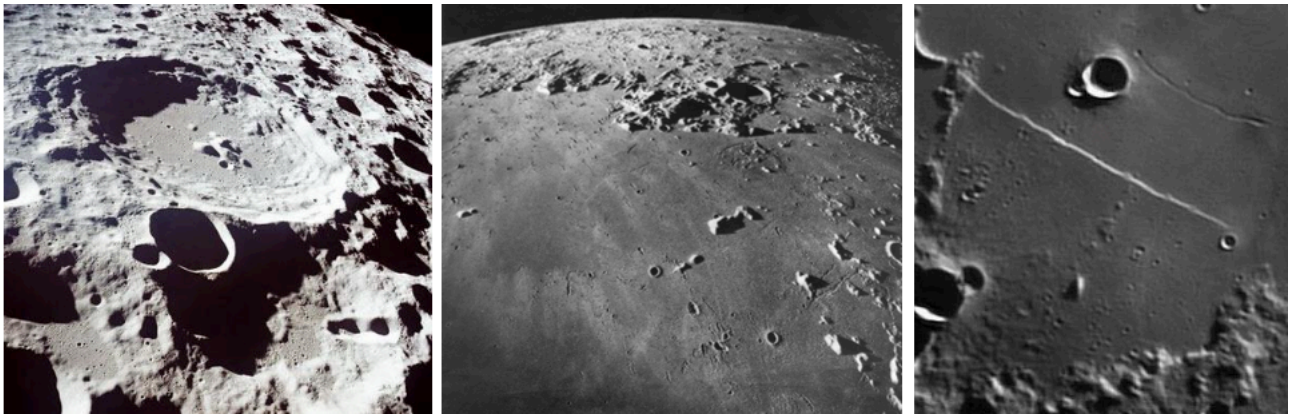
Las tierras altas de la Luna (*terrae*) son las zonas montañosas, claras y densamente craterizadas que cubren aproximadamente el 83% de la superficie lunar.

- 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

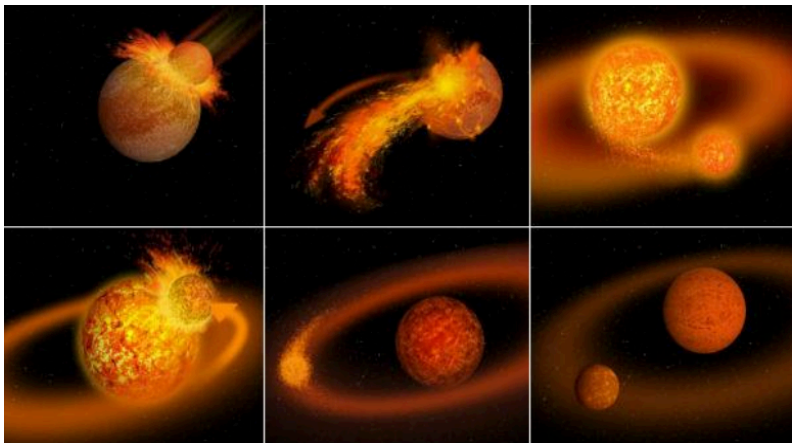
- Calor residual del impacto gigante.
- Concentración de calor en zonas de corteza adelgazada (cuencas).

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.

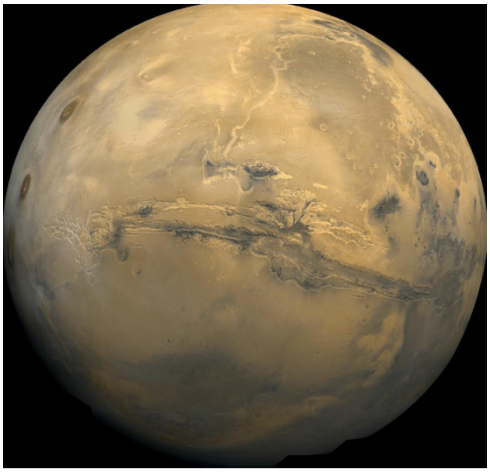
◈ **Consecuencias de todo esto para la Tierra**

- 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**.



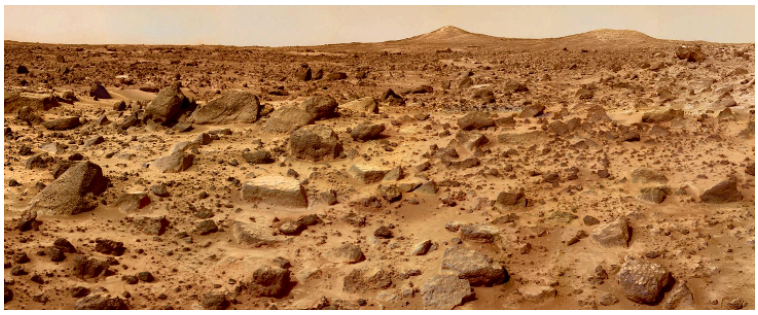
◈ **Lectura geológica profunda**

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.

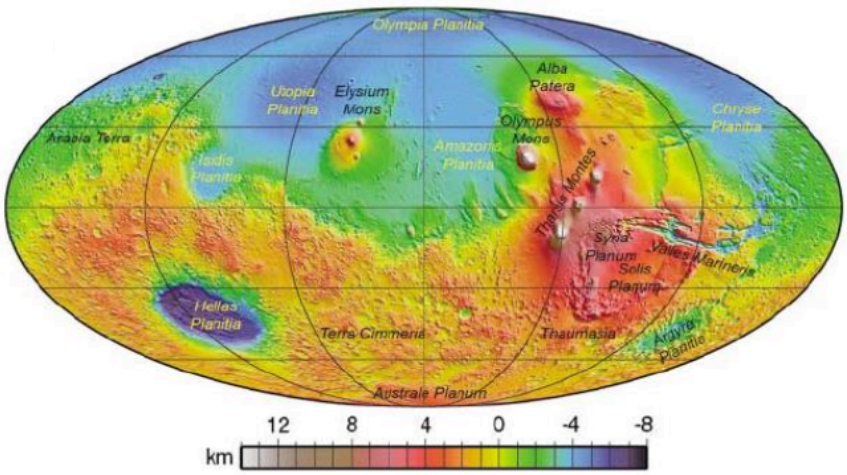
Esto explica por qué:

- 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

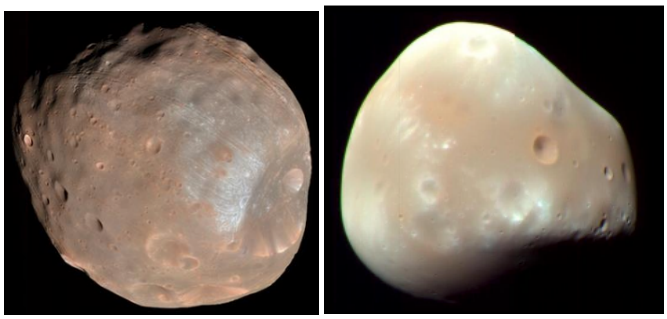
1. **Impacto gigante** temprano que rebajó el hemisferio norte.
2. **Procesos internos** (convección del manto) que adelgazaron la corteza norte.
3. Posible **océano antiguo** en el hemisferio norte.

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

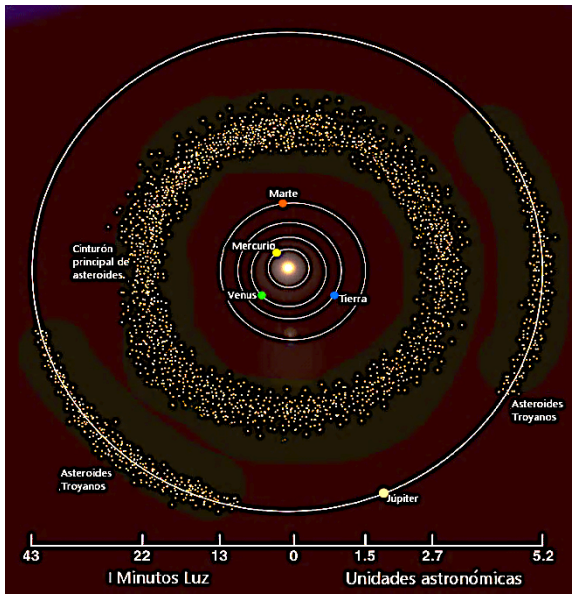
⇒ MARTE COMO PLANETA "FALLIDO"

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.

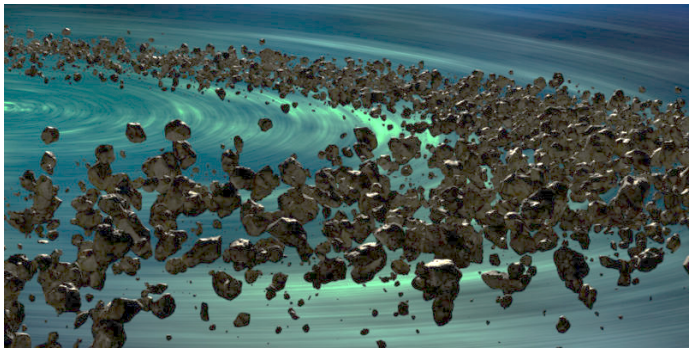


Lectura geológica

- 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



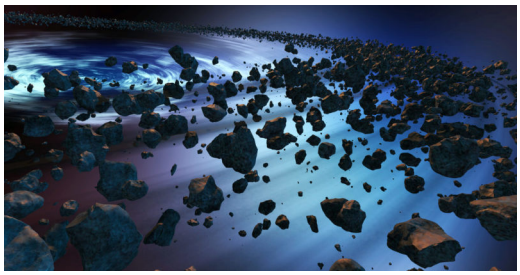
Rasgos

- 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



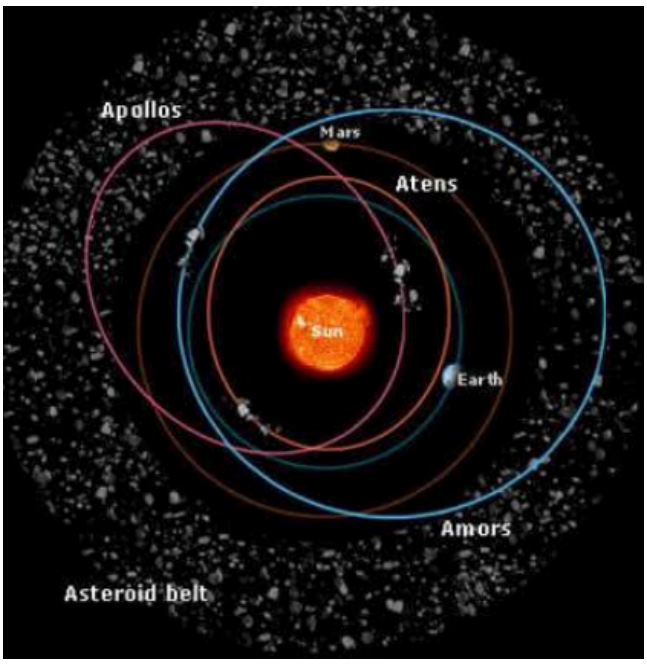
Hechos

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.

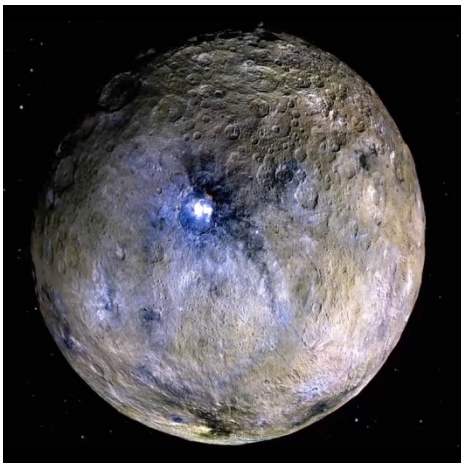
Clasificación orbital

- **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

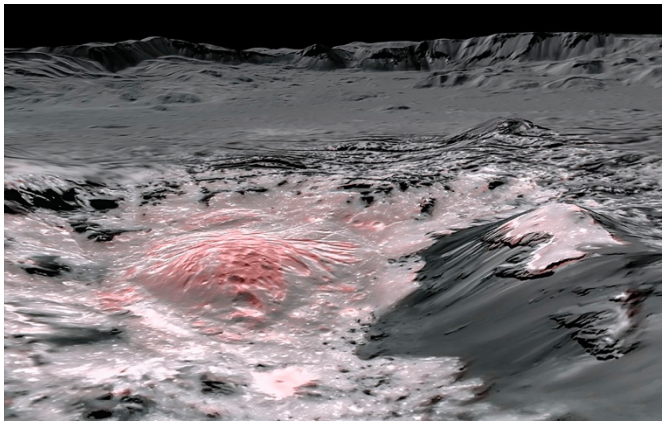
- Interior **diferenciado**.
- Evidencias de **hielo de agua en su superficie**.
- Atmósfera **muy tenue** (exosfera) de vapor de agua ocasional.

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.

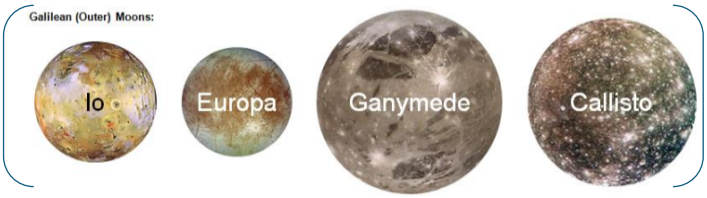
Planeta	Diámetro (/Tierra)	Diámetro ecuatorial (km)	Masa (/Tierra)	Radio orbital (UA)	Periodo orbital (años)	Periodo de rotación (días)	Incl.	Satélites	Composición de la atmósfera
Júpiter	11,2	142984	318	5,20	11,86	0,414	1,3º	63	90% hidrógeno, 10% helio, trazas de metano
Saturno	9,41	120536	95	9,54	29,46	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.

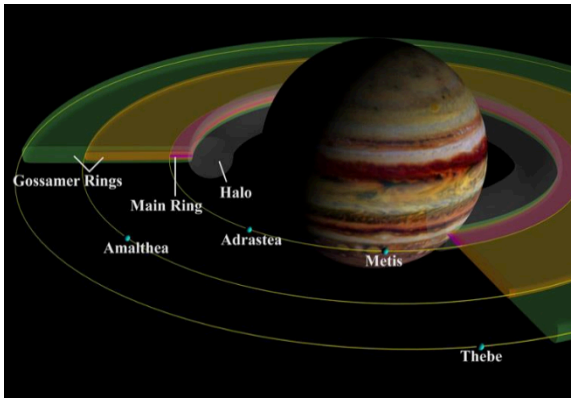


⇒ **Claves**

- Tiene decenas de satélites.
- Sus anillos son finos de polvo.
- Enorme influencia gravitatoria.

⇒ **ANILLOS Y POLVO**

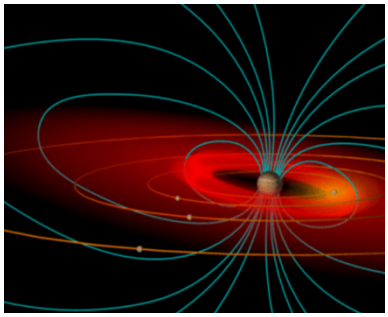
Posee anillos tenues **dinámicos y efímeros** formados por **polvo**, menos prominentes que de los de Saturno. Ese polvo es diminutas partículas rocosas, originadas principalmente por impactos de micrometeoritos en sus lunas interiores como **Metis**, **Adrastea**, **Amaltea** y **Tebe**. Este material 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.



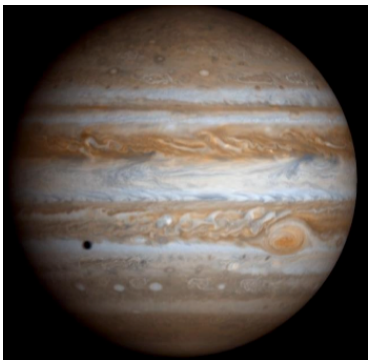
→ **Lectura**

- 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**

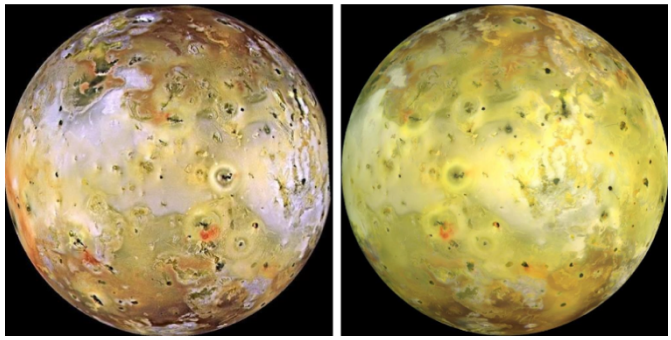
→ Ahora vamos a ver las lunas principales de Júpiter.

→ Se trata de **la geología más espectacular del sistema**.



⇒ IO: VOLCANISMO EXTREMO

→ **Hechos**

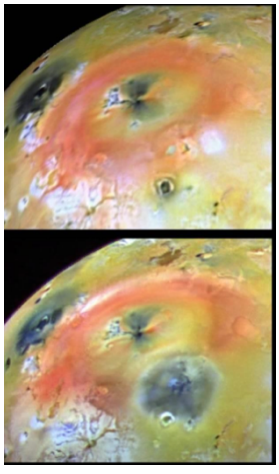


- Es el cuerpo planetario **más volcánicamente activo** del Sistema Solar, tiene más de 400 volcanes activos.
- Su superficie está constituida por **azufre y sulfuros**.
- Se encuentra casi sin cráteres.

→ **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**.



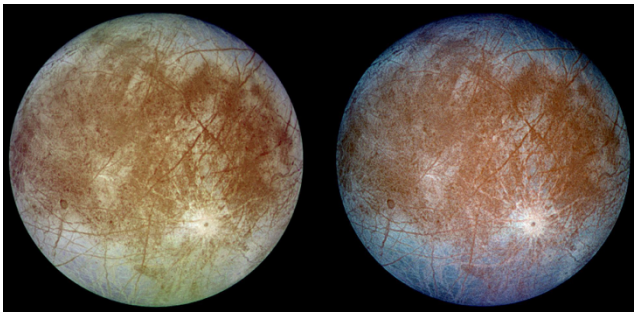
⇒ **ERUPCIONES Y RESONANCIA**

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

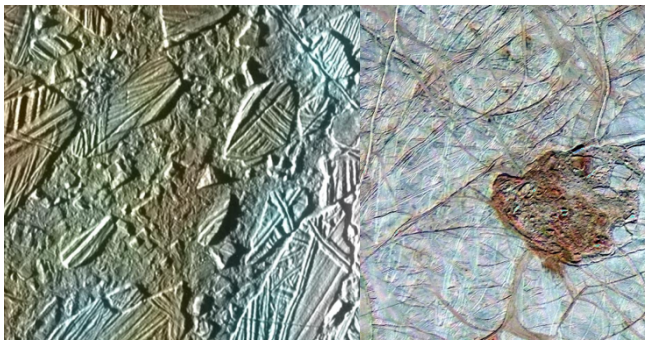
- Constituido por corteza de **hielo de unos 10-30 km de espesor**.
- Superficie lisa, pero con muchas **fracturas**.
- Pocos cráteres de impacto.
- Al orbitar, experimenta una intensa radiación y temperaturas superficiales extremadamente frías, llegando a $-160°$en el ecuador y $-210\circ$C en los polos.

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.

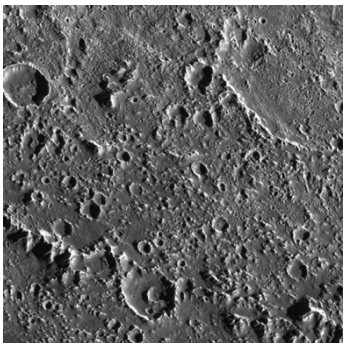
Hay evidencias de que pueda poseer un inmenso océano subterráneo de agua líquida.

⇒ 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

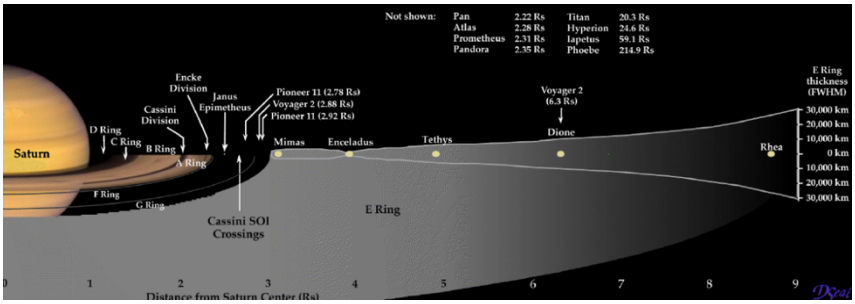
Saturno es un **gigante gaseoso** con un sistema extraordinariamente complejo:

- **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).

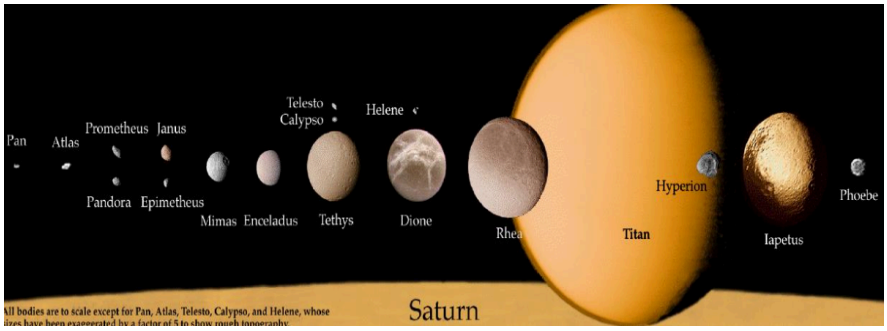
Lectura

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.

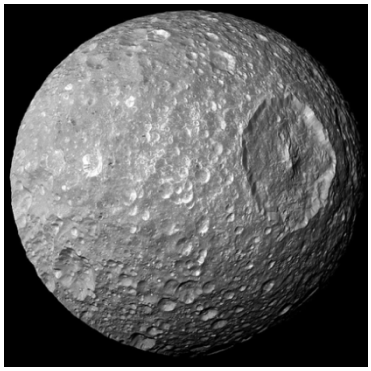
Ejemplos destacados:

- 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.

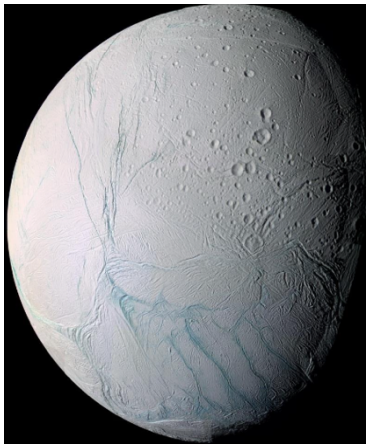
→ **Rasgos**

- ~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**

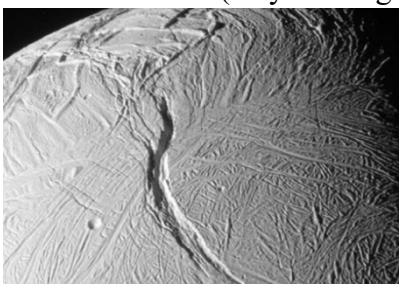
- Geología **fósil** dominada por impactos.
- Investigaciones de 2024 sugieren la existencia de un océano bajo su corteza helada, lo que lo convierte en un objetivo de estudio sobre la habitabilidad en el sistema solar.

⇒ **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.

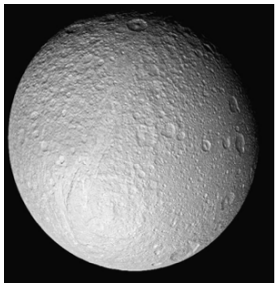
⇒ **TETIS**

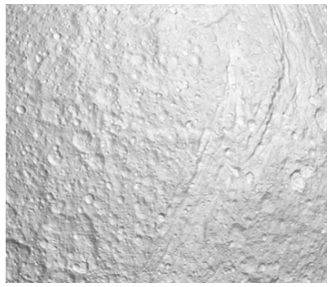
Es la quinta luna más grande de Saturno, un cuerpo helado de tamaño mediano (aprox. 1.062 km de diámetro) compuesto casi totalmente de hielo de agua. Destaca por su superficie densamente craterizada y por albergar la inmensa cuenca de impacto Odiseo y el gran cañón, *Ithaca Chasma*, de unos 2000 km de 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.





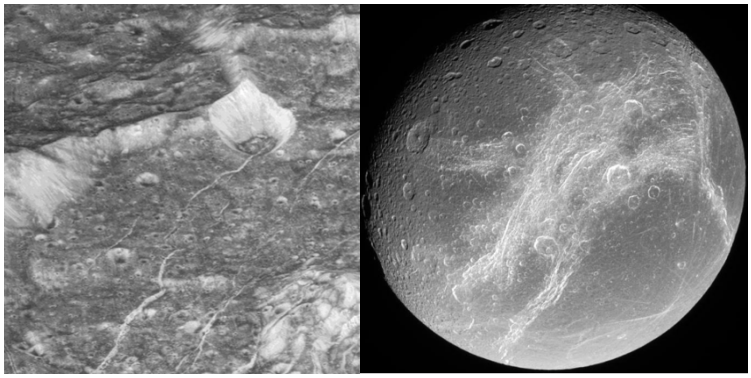


Tetis (abajo a la izquierda) en comparación con la Luna (arriba a la izquierda) y la Tierra (derecha).

→ **Lectura**

- Tensiones mareales pasadas.
- Fracturación a gran escala en hielo rígido.

⇒ **DIONE**



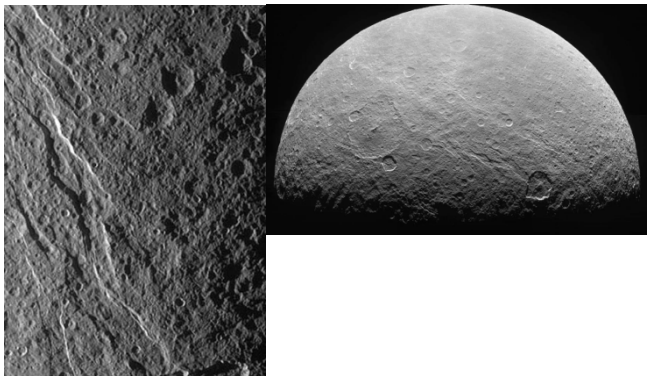
→ **Rasgos**

- 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.

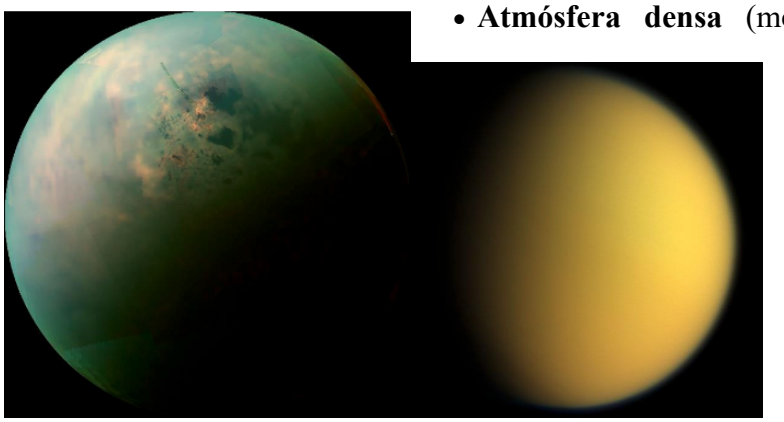
Lectura

- 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

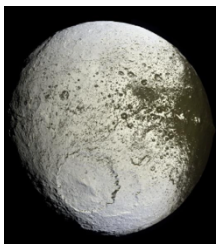
⇒SATÉLITES EXTERIORES: HIPERIÓN, JAPETO Y FEBE

◈ **Hiperión**



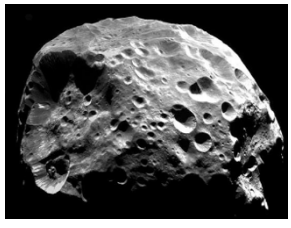
- Baja densidad, forma caótica.
- Hielo, agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2).

◈ **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**.

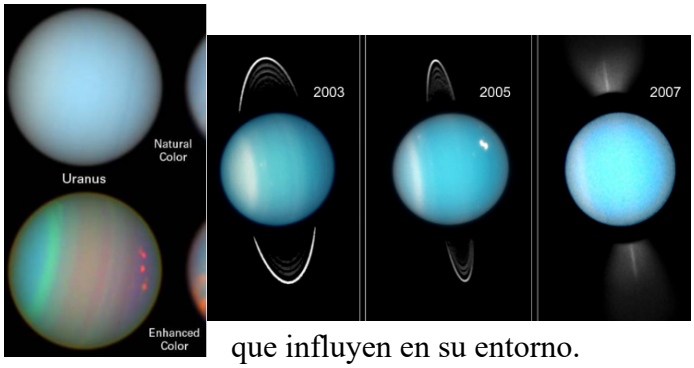
→ **Lectura**

- Menor energía interna → dinámica atmosférica más "apagada".
- Aun así, existen **tormentas y auroras** (campo magnético activo).

⇒ **TORMENTAS Y AURORAS**

→ **Hechos**

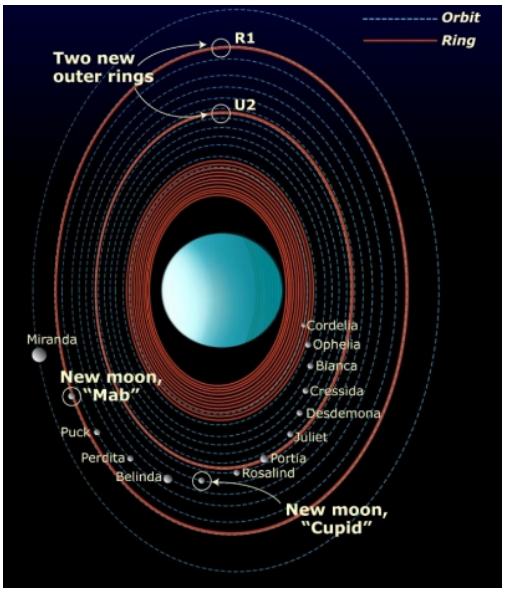
- Se han detectado tormentas.
- También auroras asociadas al campo magnético.



→ **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**

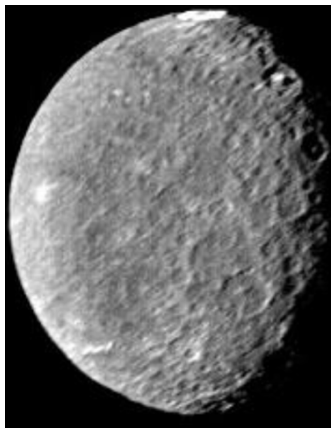
- Es el satélite **más brillante** del sistema de Urano.
- Tiene numerosos sistemas de **cañones** profundos, algunos rellenos posteriormente
- Zonas rellenadas posteriormente.

→ **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**



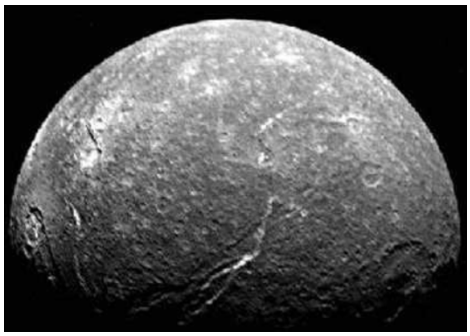
→ **Rasgos**

- 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**

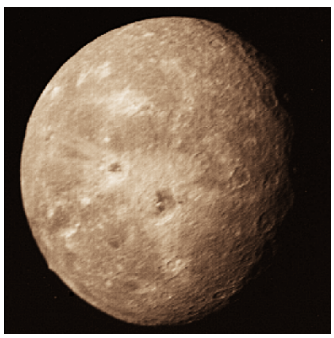
- **Tectónica extensiva** en hielo.
- Posible actividad geológica pasada.
- Indicios de calentamiento interno antiguo.

⇒ **OBERÓN**



→ **Rasgos**

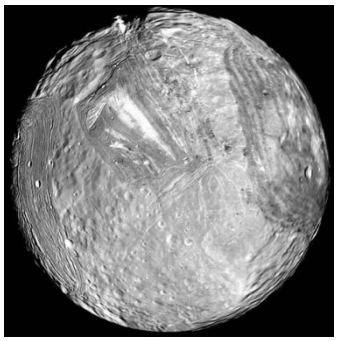
- Superficie craterizada.
- Depósitos de eyectores con contrastados colores.
- Posible sustrato de hielo bajo la superficie.



→ **Lectura**

- Actividad geológica limitada.
- Registro de impactos bien preservado.

⇒ **MIRANDA**



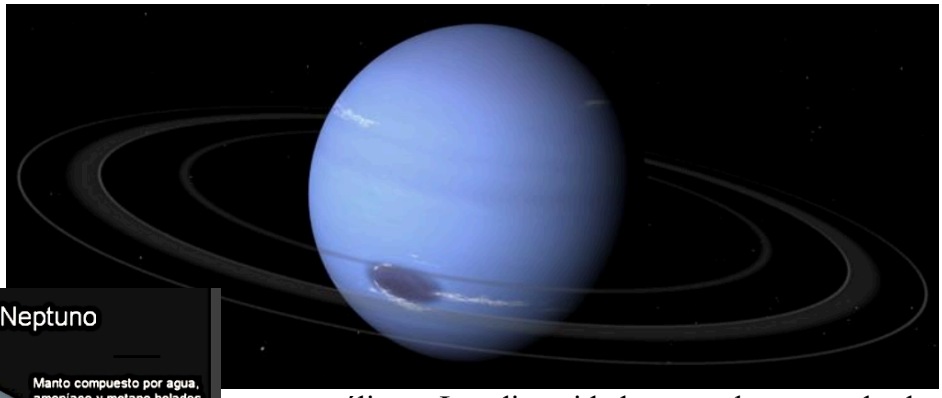
→ **Rasgos**

- Tiene un pequeño tamaño y baja densidad.
- Superficie extremadamente **compleja**.
- Compuesto prácticamente de hielo.

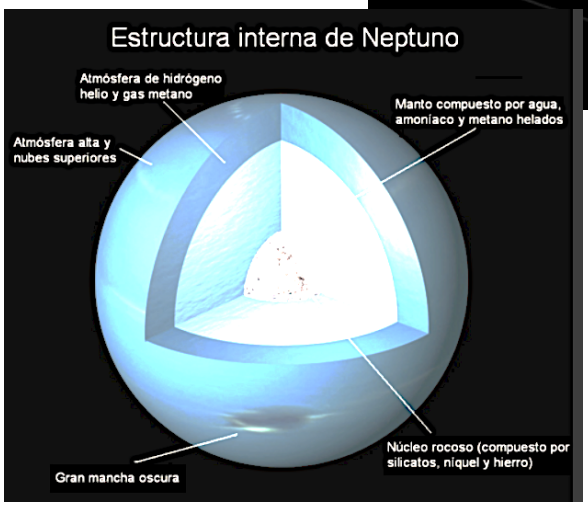
→ **Lectura**

- 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.

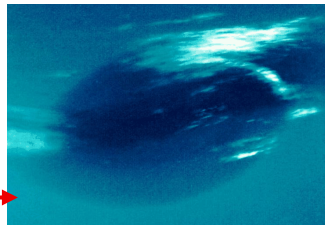


⇒ NEPTUNO (VISIÓN GENERAL)

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**

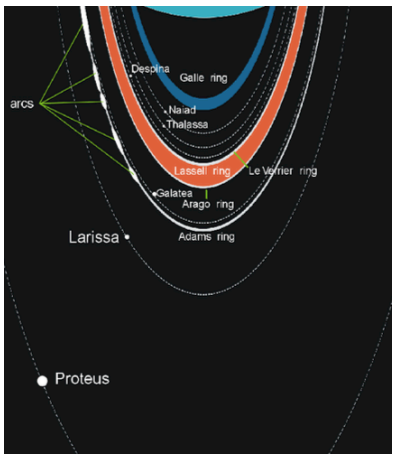
- Emite **más energía de la que recibe**.
- Dinámica atmosférica intensa → acoplamiento con su sistema de satélites.
- La geología relevante se expresa en **anillos y lunas**, no en una "superficie" sólida.



⇒ **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**

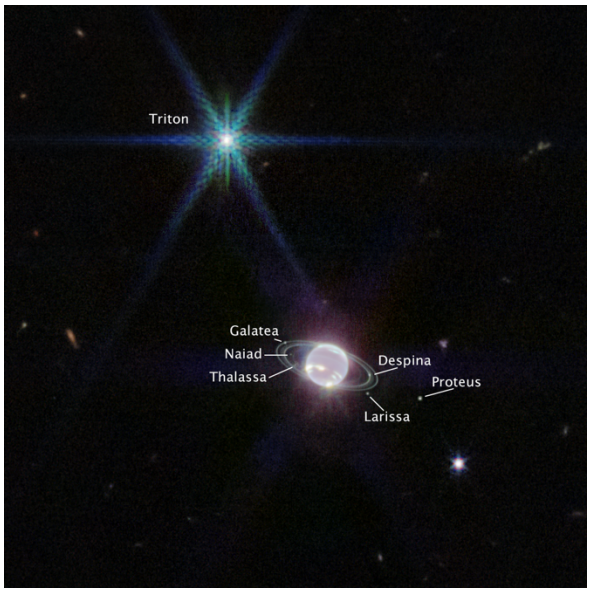
→ **Rasgos**

- **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.

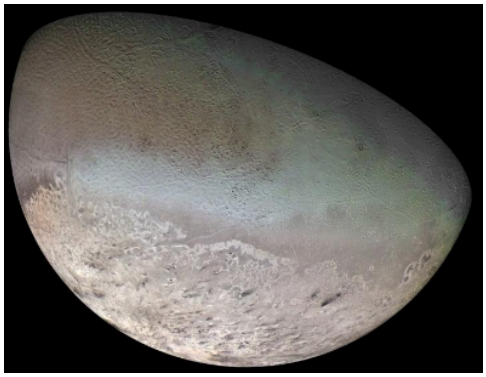
⇒ **SATÉLITES**



→ **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)**



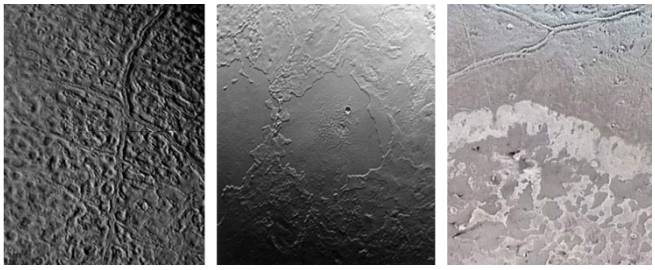
→ **Rasgos**

- 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**

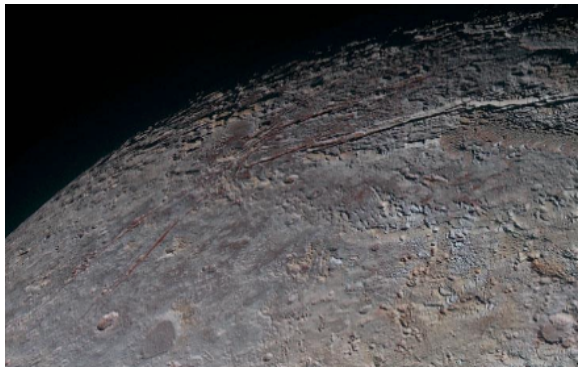
- Ha estado considerado hasta hace pocos años el noveno planeta del Sistema Solar.

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.

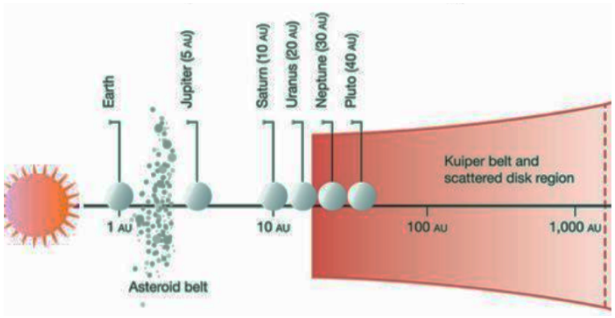
→ **Lectura geológica**

- **Convección en hielos**.
- Posible **océano subsuperficial** salino.
- Actividad impulsada por:
  - calor residual,
  - desintegración radiactiva,
  - aislamiento térmico de los hielos.

⇒ **CINTURÓN DE KUIPER**

→ **Hechos**

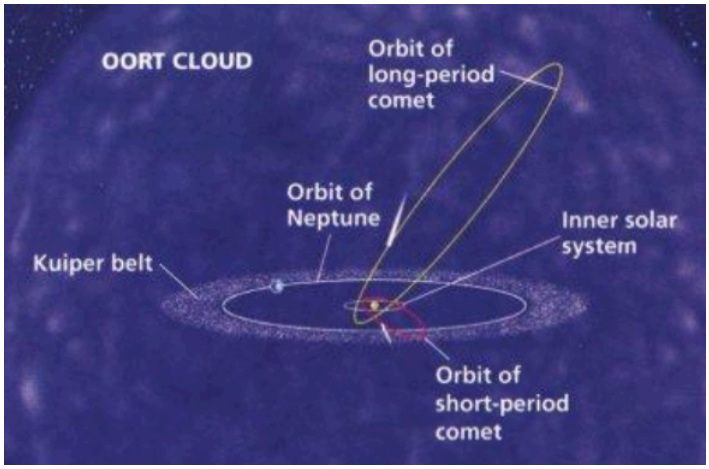
- Reservorio de cuerpos helados de pequeña entidad.
- Fuente de **esteroides capturados** y **cometas de periodo corto**.
- Restos de la formación del Sistema Solar y cuerpos expulsados por la gravedad de los planetas gigantes.



→ **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**

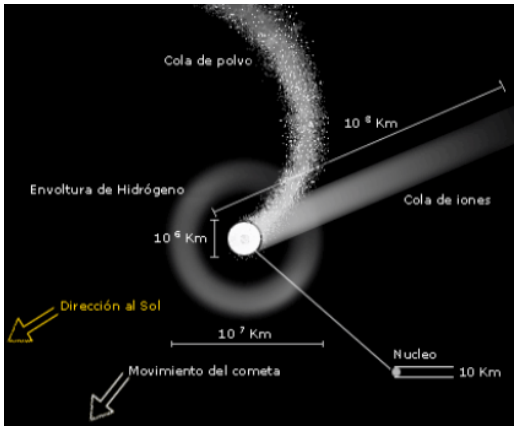
- Restos no colapsados al plano de la eclíptica.
- Testigo del entorno estelar temprano.

⇒ **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.
