

Sistema Solar: la Luna

Ernesto Nicola

Palma de Mallorca, 11-11-2021



Contenido de la charla

- ① **Tamaño y distancia** de la Luna
- ② **Movimiento** de la Luna: **fases, mareas, libraciones y eclipses**
- ③ **Relieve** de la Luna
- ④ **Formación y evolución temprana** de la Luna
- ⑤ Nociones de **geografía** lunar
- ⑥ Una introducción a la **geología** lunar
- ⑦ Resumen

1. Tamaño y Distancia de la Luna

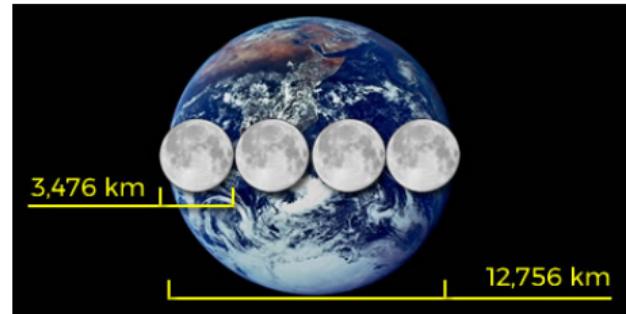
El Tamaño de la Luna

El Tamaño de la Luna

El diámetro de la Luna es 1/4 del diámetro de la tierra



- **El diámetro de la Luna es 1/4 del diámetro de la tierra**
- Diámetro:
 - Luna 3 500 km
 - Tierra 12 700 km
- Perímetro
 - Luna 10 000 km
 - Tierra 40 000 km



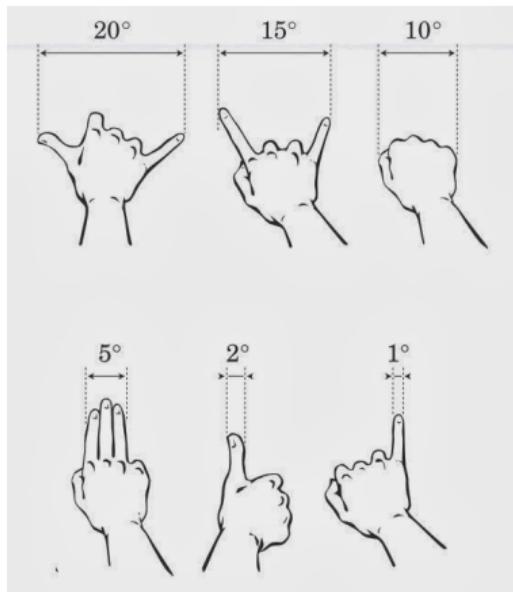
El Tamaño de la Luna

Fotos de la Luna y la Tierra desde Satélites Artificiales



El Tamaño de la Luna

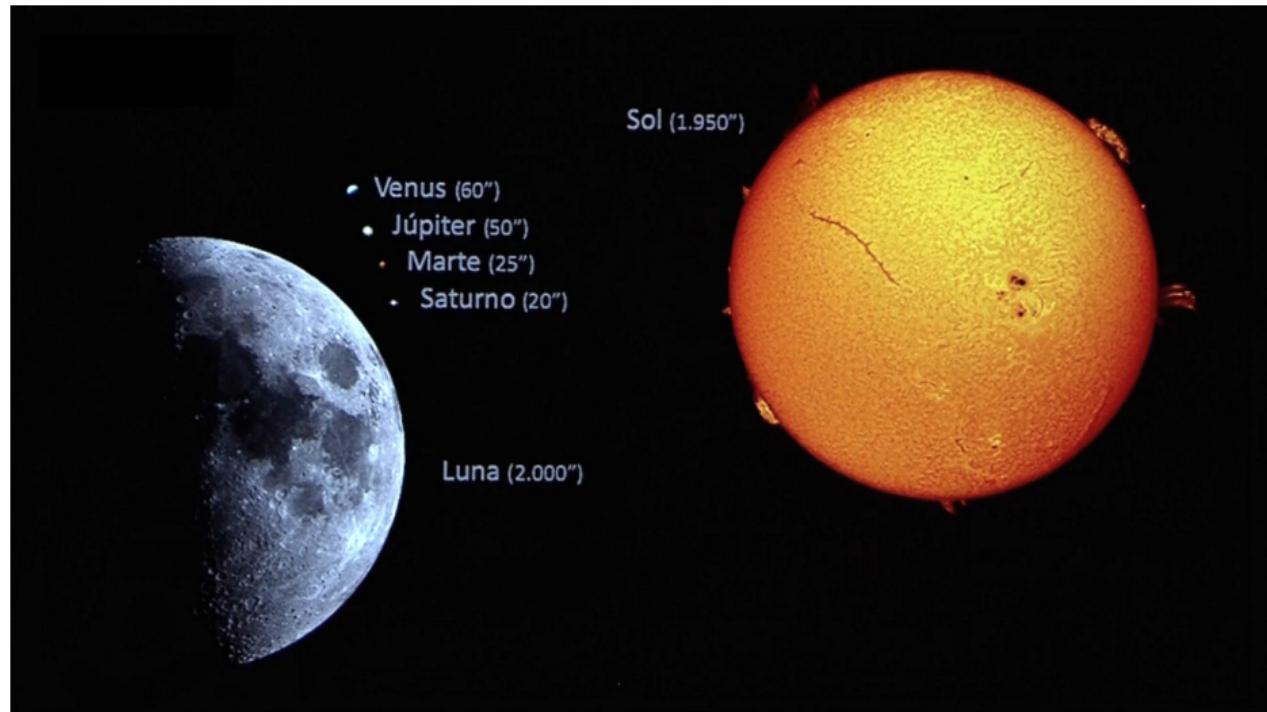
El Tamaño Aparente de la Luna en el Cielo



- El tamaño aparente de la luna en el cielo es de $1/2^\circ$
 - $1/2^\circ$ es un poco menos que el ángulo determinado por la punta del dedo meñique con el brazo totalmente extendido.
- El tamaño aparente de la Luna es siempre de $1/2^\circ$; no depende de su ubicación en el cielo (pero nuestro cerebro piensa distinto!)

El Tamaño de la Luna

El Tamaño Aparente de la Luna



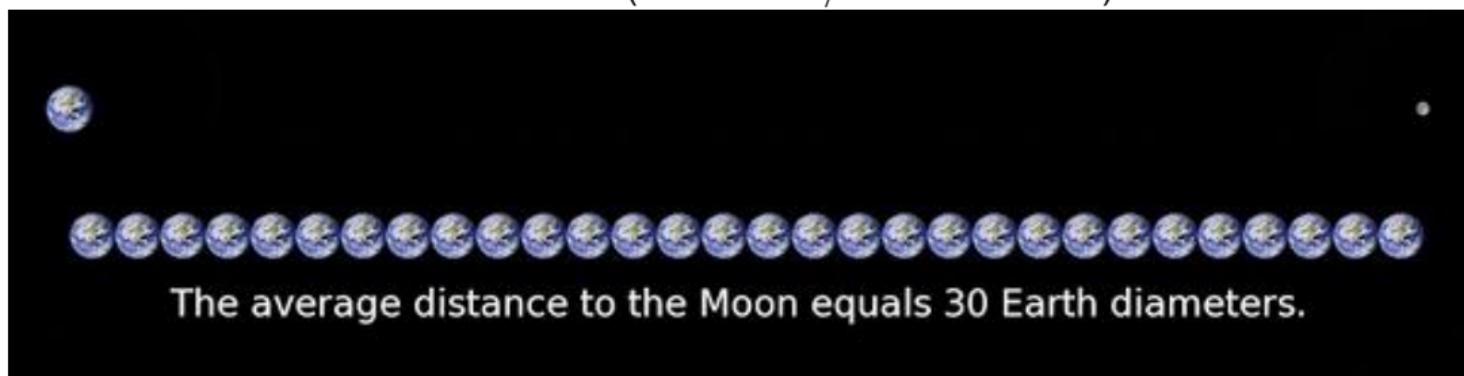
- El tamaño aparente de la Luna en el cielo es aproximadamente igual al tamaño aparente del Sol
 - Esto es solo una coincidencia: en realidad el Sol es muchísimo mas grande (400 veces), pero también está muchísimo mas lejos (también 400 veces!)

La Distancia de la Luna

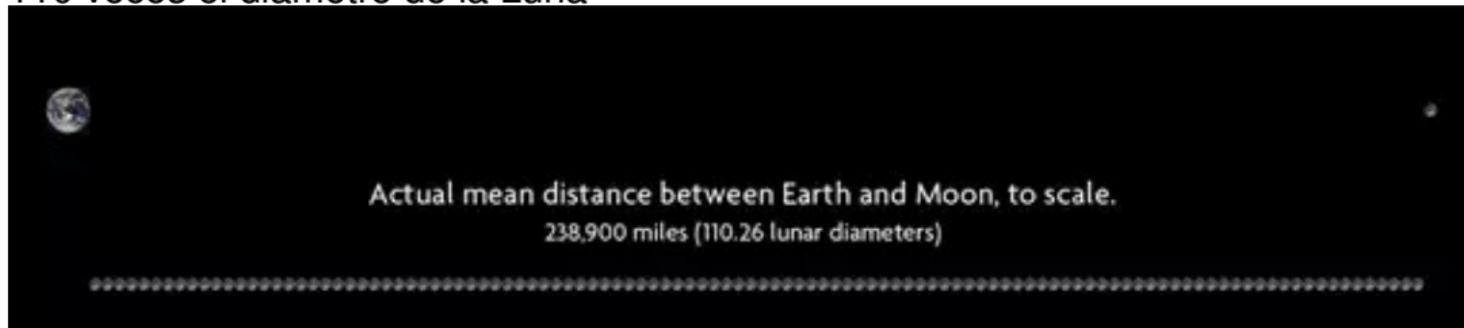
Distancia entre la Luna y la Tierra

Distancia Tierra-Luna:

- $380\ 000\ \text{km} = 1,2\ \text{segundos-luz}$ (vel. luz=300 000 km/s)
- **30 veces el diámetro de la Tierra** ($380000\text{km}/12700\text{km} \approx 30$)



- 110 veces el diámetro de la Luna



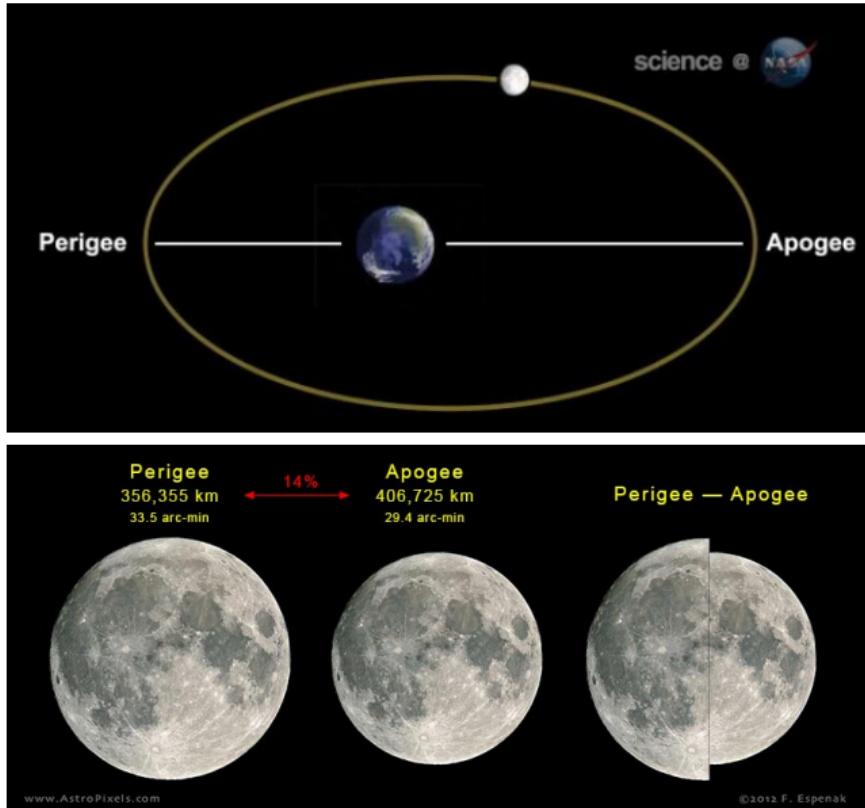
Distancia entre la Luna y la Tierra



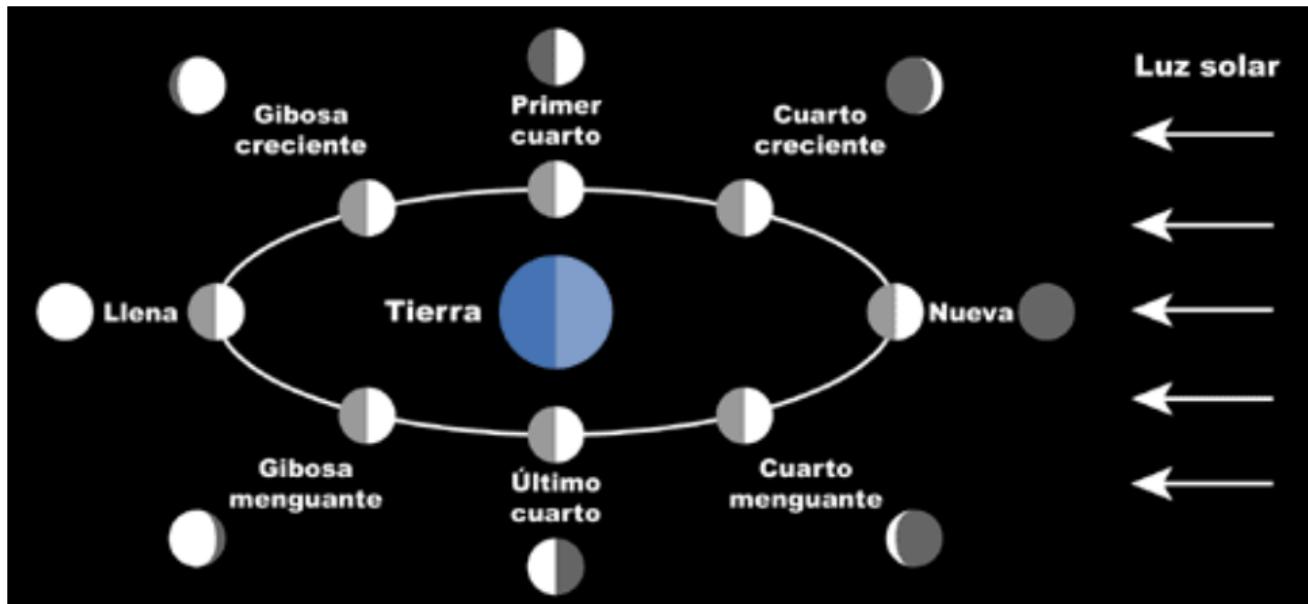
2. Movimiento de la Luna

La Órbita de la Luna

- La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es **elíptica**
 - El punto más cercano a la Tierra se llama **Perigeo** y el más lejano **Apogeo**
- La diferencia de tamaño aparente de la Luna entre Perigeo y Apogeo no es grande (ya que la órbita elíptica se aproxima bastante a un círculo)
 - Diferencia de 14%
 - Superluna vs. Miniluna

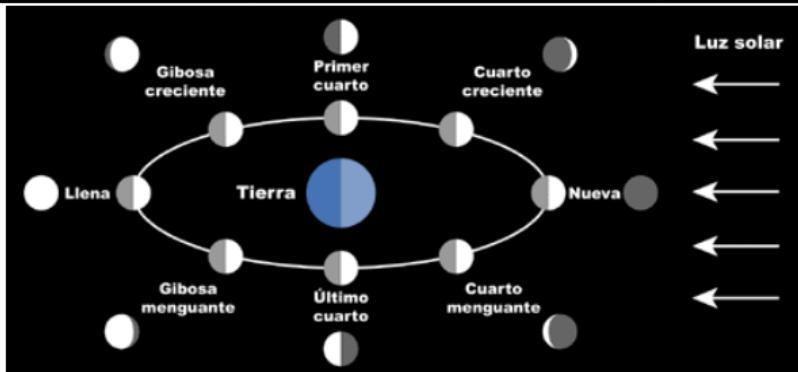
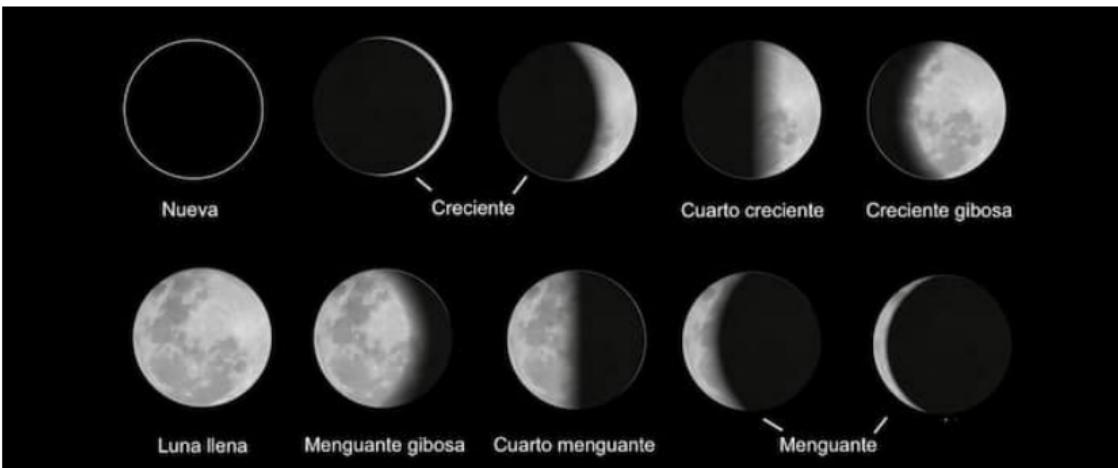


La Rotación de la Luna alrededor de la Tierra

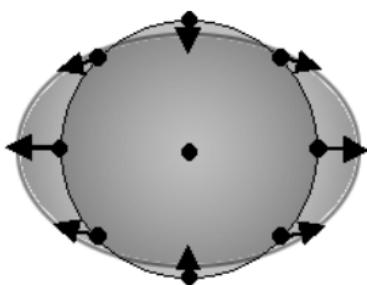
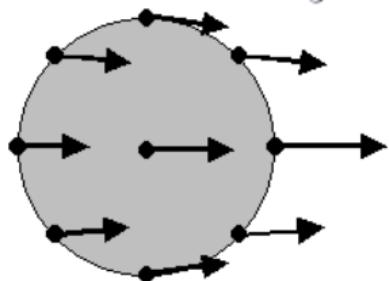
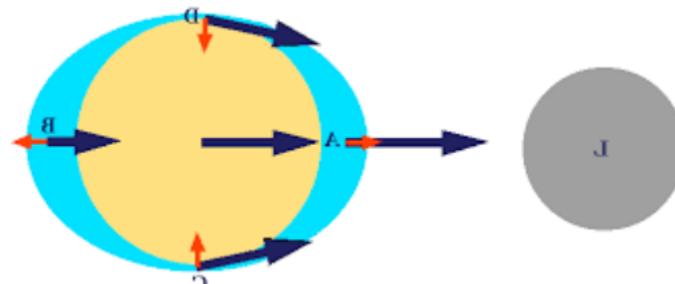
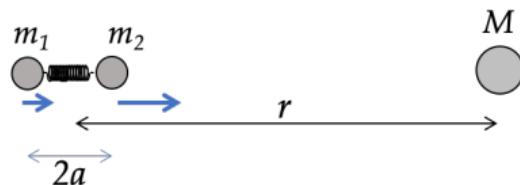


- La Luna tarda 29,53 días en dar una vuelta alrededor de la Tierra (el llamado "período sinódico") → de aquí deriva el concepto de mes!
- La parte iluminada de la Luna que vemos desde la Tierra cambia a lo largo del mes (el período de lunación)

Fases de la Luna



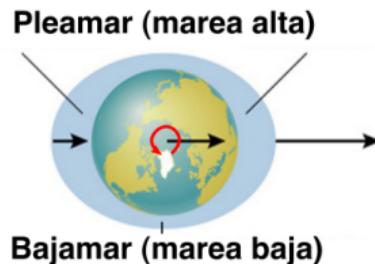
Fuerzas de Marea



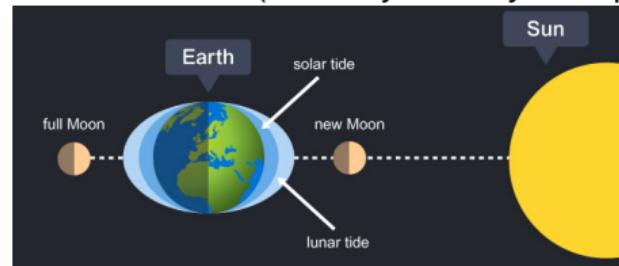
- La fuerzas de marea aplicadas a una esfera la transforman en un elipsoide ("balón de Rugby")

Mareas Terrestres

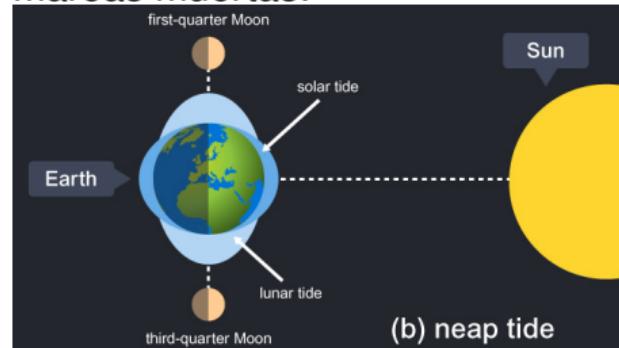
Pleamar (marea alta) vs Bajamar (marea baja); Mareas vivas vs mareas muertas



mareas vivas (de Conjunción y de Oposición):



mareas muertas:



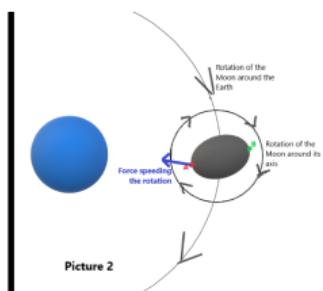
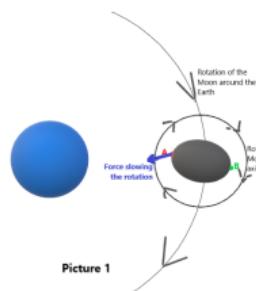
(b) neap tide

- Las fuerzas de marea que la Luna genera sobre la Tierra provocan las mareas.
 - Notar que cada 24h hay 2 mareas altas y 2 mareas bajas.
 - El Sol también tiene un efecto en mareas, modulando su amplitud máx. y mín.
- También provocan una deformación de la corteza terrestre (variaciones de 30cm)

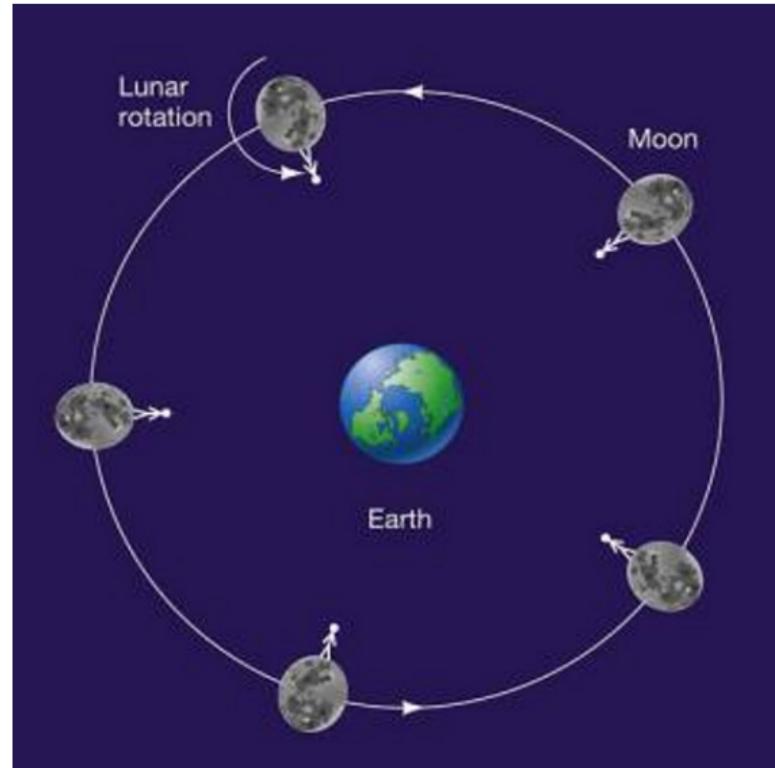
Sincronización de la rotación y la órbita de la Luna

Acoplamiento de marea

- Las fuerzas de marea de la Tierra provocan que la Luna tenga una ligera forma de elipsoide
- Con el tiempo el elipsoide termina alineado con la dirección Tierra-Luna: este fenómeno se llama **acoplamiento de marea**



- Tiempo que tarda la Luna en rotar 360° = Tiempo que tarda la Luna en recorrer su órbita alrededor de la Tierra ("día lunar" = "año lunar")

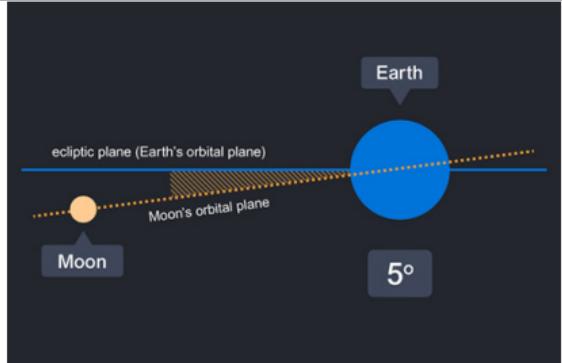
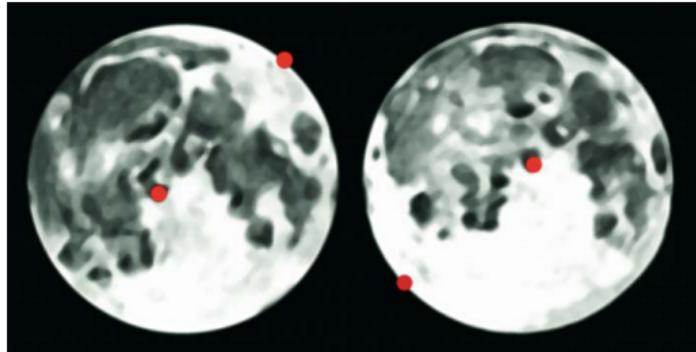
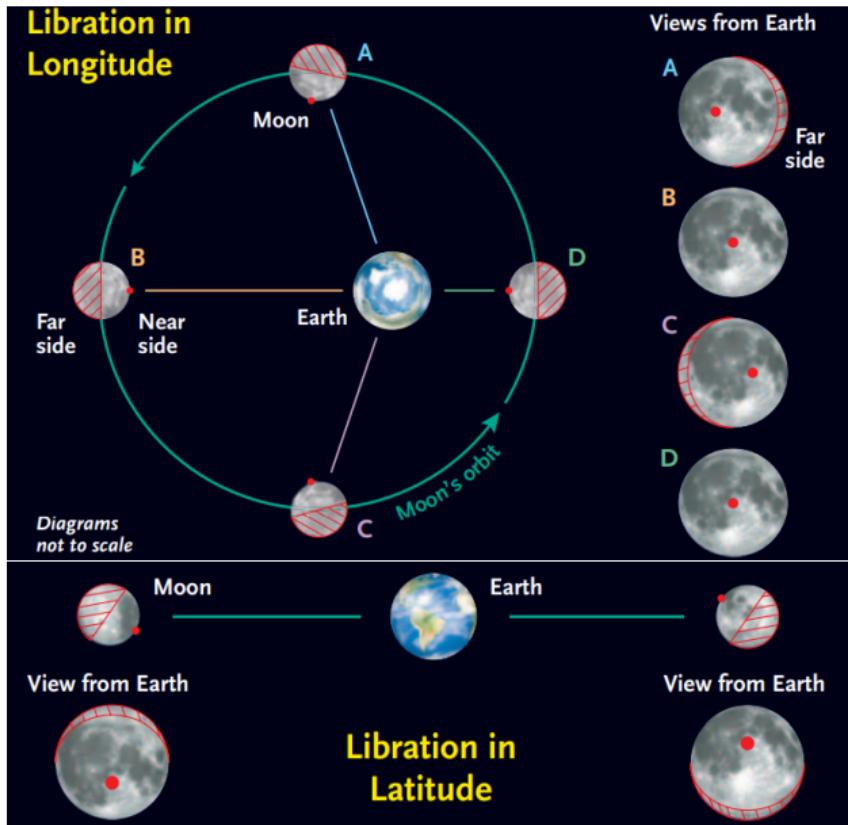


¡La Luna nos muestra siempre la misma cara!

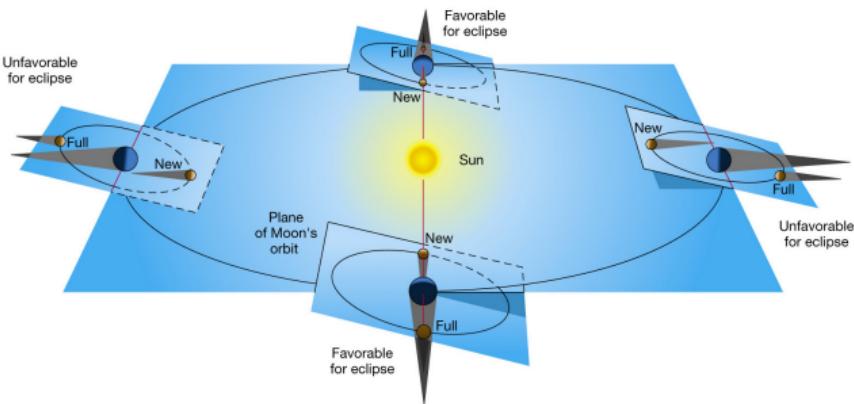
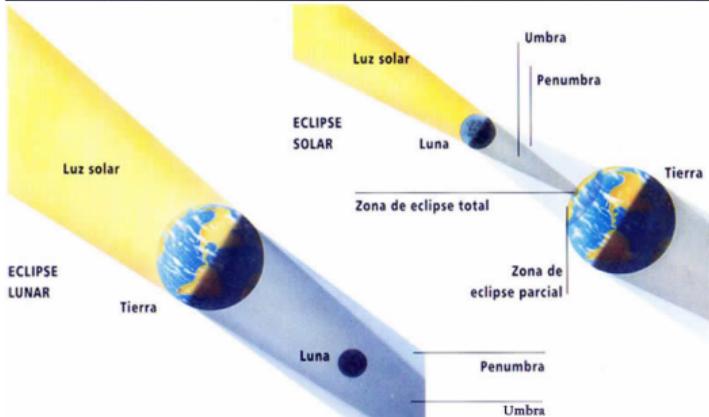
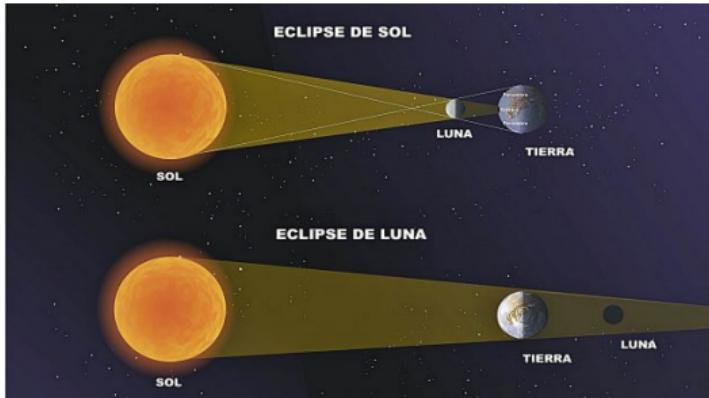


- El fenómeno de **acoplamiento de marea** de la Luna genera una **cara visible** desde la Tierra y otra **cara oculta**

Libraciones de la Luna: "El Titubeo de Galileo"



Eclipses de Luna y Eclipses de Sol



- Los Eclipses solo ocurren esporádicamente porque la órbita de la Luna no está exactamente en el mismo plano que la órbita de la Tierra alrededor del Sol
 - Eclipse de Luna: puede ser visto (de noche) desde cualquier parte de la Tierra
 - Eclipse de Sol: Típicamente el diámetro de la **umbra** es 100–160 km mientras que la **penumbra** es más grande que 6400 km.

3. Relieve de la Luna

El Relieve Lunar: María y Tierras Altas



- La superficie de la luna hay por dos tipos de regiones: claras y oscuras:
 - Zonas oscuras: **Maria**
 - Zonas claras: **Tierras Altas**

El Relieve de la Luna: María y Tierras Altas

foto del Apolo 17



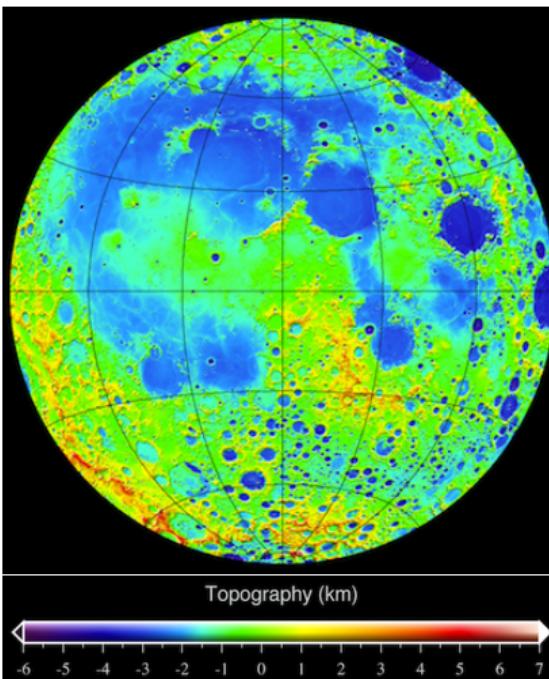
foto del orbitador SELENE



- **Maria** (forma singular *Mare*): son zonas relativamente **planas** (con pocos cráteres), **bajas y oscuras**.
- **Tierras Altas** (en latín *terrae*; forma singular *terra*): son zonas **claras de mayor elevación** que están cubiertas por muchos cráteres y algunas montañas

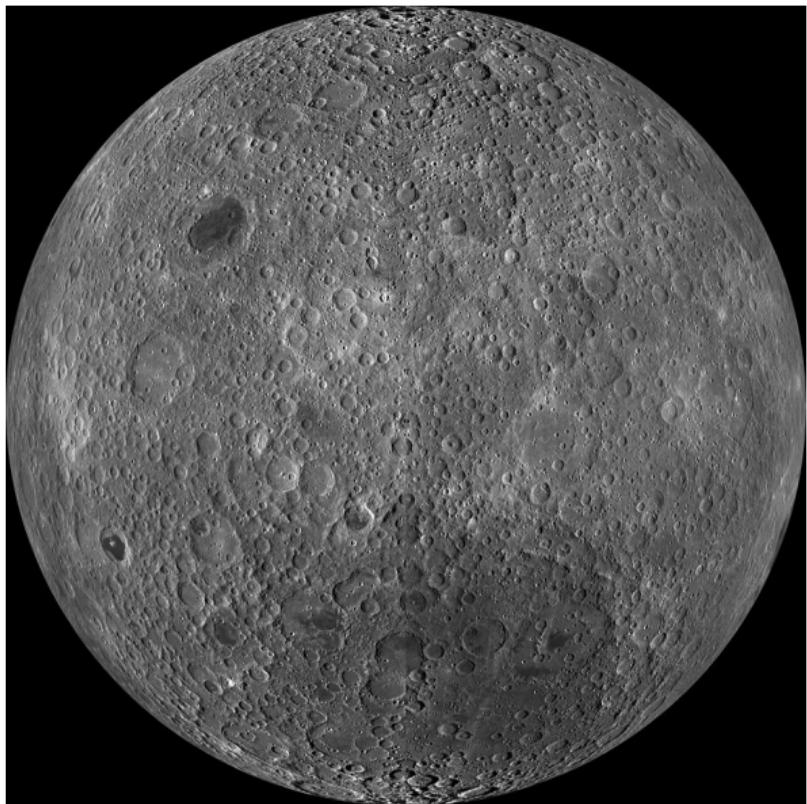
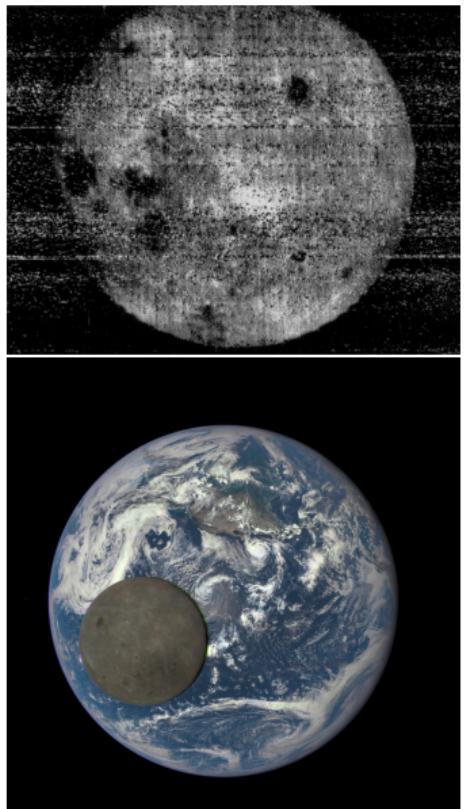
El Relieve de la Luna: Elevación de los Maria y las Tierras Altas

- Hay una alta correlación entre la coloración de la superficie lunar y su altitud:



- **Maria:** Son planicies bajas y relativamente planas
- **Tierras Altas:** Zonas de mayor elevación que están cubiertas por muchos cráteres y algunas cadenas de montañas (Las tierras altas también reciben el nombre de **terrae** (del latín *tierra*; forma singular: *terra*)).

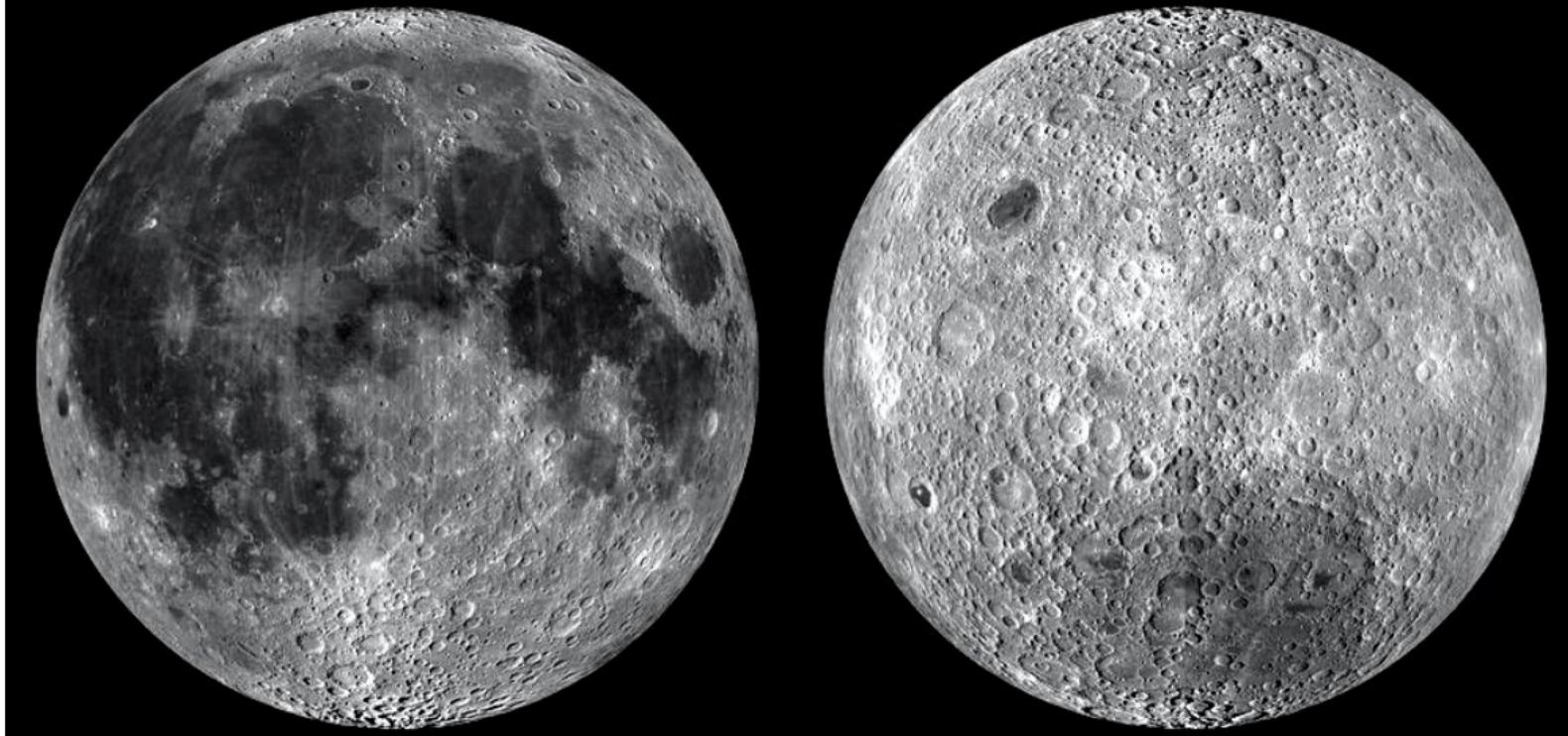
El Relieve Lunar: Cara oculta de la Luna



- En 1959 el satélite soviético "Luna 3" orbitó la Luna sacando la primera foto de la cara oculta.

El Relieve Lunar: Cara oculta de la Luna

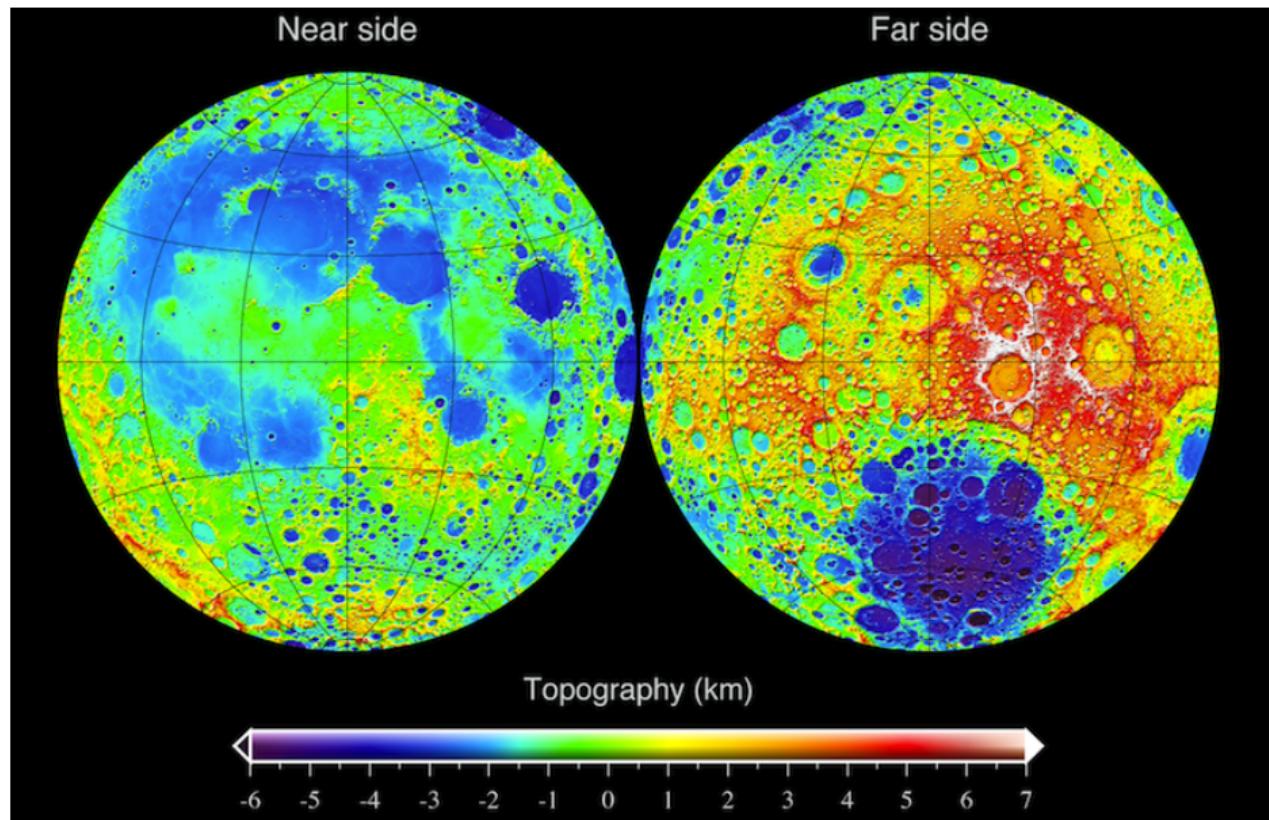
La cara oculta y la visible son muy distintas!



- La cara oculta de la luna prácticamente no tiene maria y está completamente cubierta de cráteres

El Relieve Lunar: Cara oculta de la Luna

La cara oculta y la visible son muy distintas!



- La cara oculta de la Luna tiene grandes diferencias de altitud.

Los Maria y las Tierras Altas

Preguntas sobre los Maria y las Tierras Altas:

- ¿En qué se diferencian?
- ¿Cómo se formaron?
- ¿Por qué los Maria son oscuros y las Tierras Altas claras?
- ¿Por qué los Maria son mas bien planos y las Tierras Altas rugosas?
- ¿Por qué hay más cráteres en las Tierras Altas que en los Maria?
- ¿Por qué no hay casi Marias en la cara oculta?

¡Para responder a estas preguntas debemos entender la formación y evolución temprana de la Luna!

4. Formación y evolución temprana de la Luna

¿Cómo se formó la Luna?

- Durante la historia ha habido muchas hipótesis:

- ① Teoría de **co-acrección**:

- Teoría: La Luna y Tierra se formaron al mismo tiempo a partir de una misma nube de polvo. La mayor parte de la nube terminó formando la tierra y una pequeña parte formó primero un anillo que con el paso del tiempo terminó formando la Luna.
 - Problema: La Tierra contiene mucho más hierro y níquel que la Luna

- ② Teoría de la **fisión**:

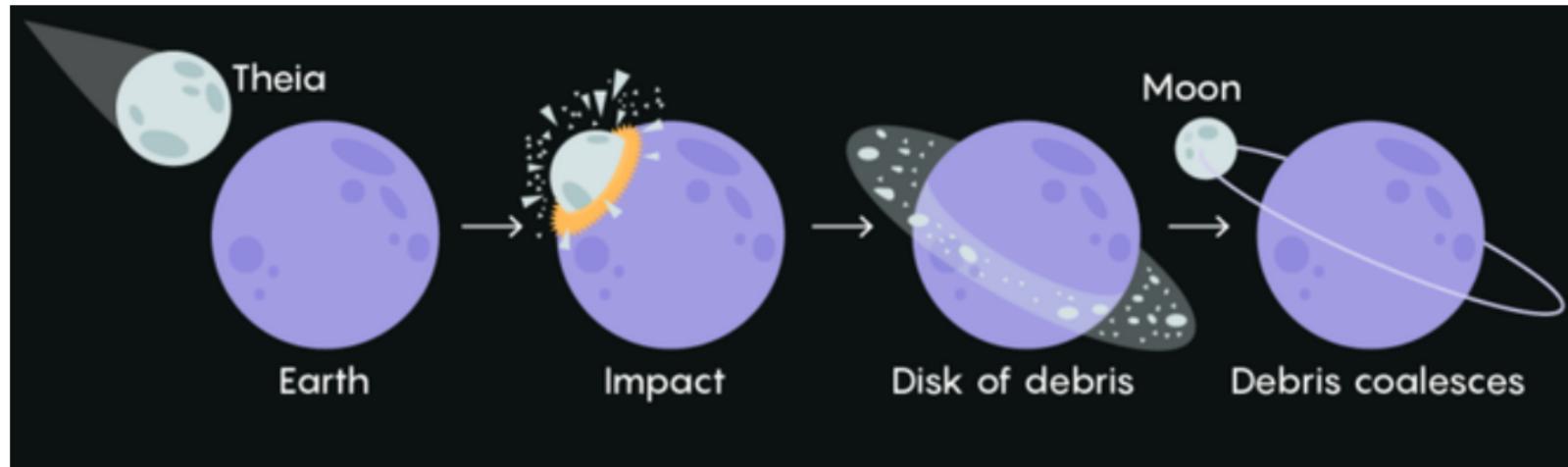
- Teoría: La Tierra joven rotaba a tal velocidad que parte de la corteza terrestre fue arrancada para formar un anillo y después formar la Luna
 - Problema: La órbita de la luna no es perpendicular al eje de rotación de la tierra

- ③ Teoría de la **captura**:

- Teoría: La Luna se formó en otra región del sistema solar y fue capturada por la Tierra
 - Problema: Esta teoría tiene problemas para explicar que la composición de las rocas lunares y terrestres es muy parecida (salvo en que la Tierra contiene muchísimo más hierro y níquel en su núcleo)

- La teoría más extendida actualmente: **Teoría del gran impacto**

¿Cómo se formó la Luna?: Teoría del gran impacto



- Un planeta del tamaño de Marte (llamado Tea/Theia) chocó con la proto-Tierra hace unos 4,500 millones de años;
- Colisión lateral: El impacto fue "de lado", rozando la proto-Tierra
- La mayor parte del material despedido era parte de la corteza de la proto-Tierra y rápidamente se formó un satélite: la Luna
- Esta teoría explica que el material que compone la Luna es muy similar al de la Tierra (pero no exactamente igual ya que también contiene los restos de Tea)

¿Cómo se formó la Luna?: Teoría del gran impacto

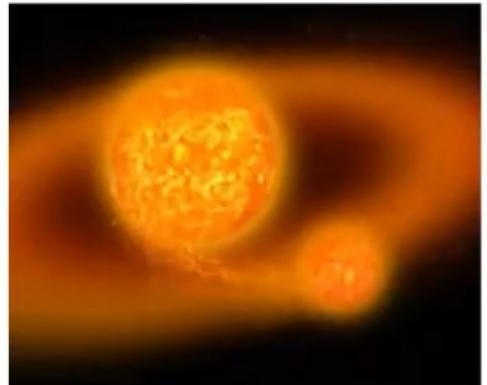
1



2



3



4



5

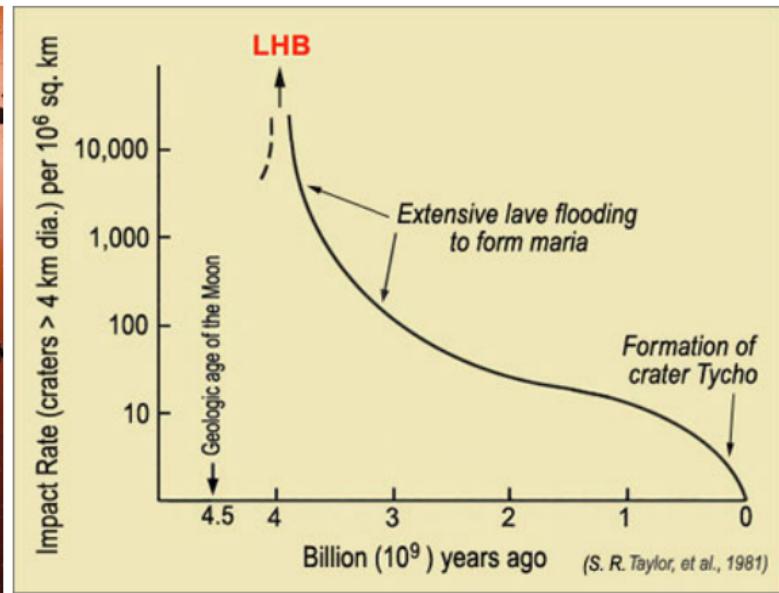


6



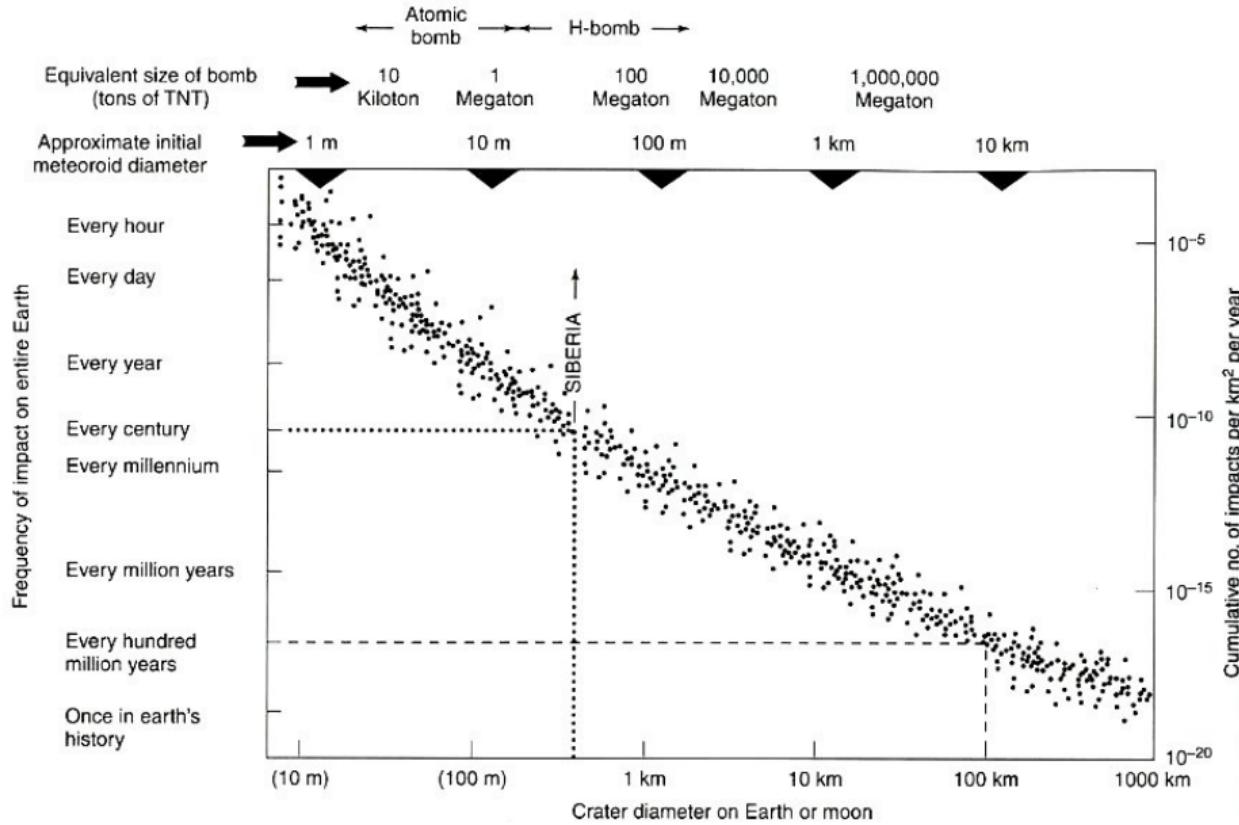
Formación de los Maria

Bombardeo intenso de Asteroides



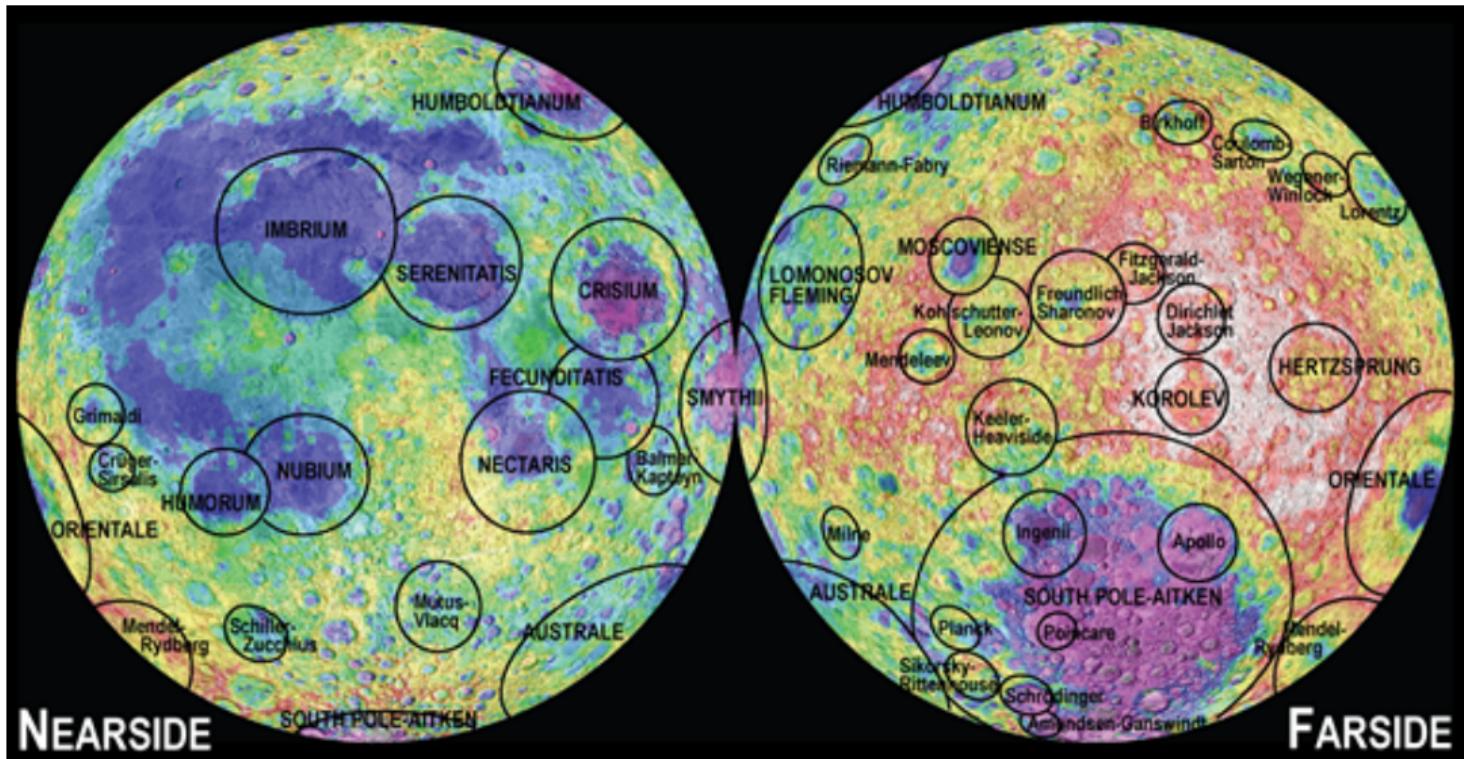
- Muy poco después del gran impacto que formó la Luna, los cuerpos del sistema solar interior (incluida la Luna) sufrieron frecuentes impactos muy violentos de grandes asteroides
- La tasa de impactos se ha ido reduciendo desde entonces

Efecto del impacto de asteroides en la Luna



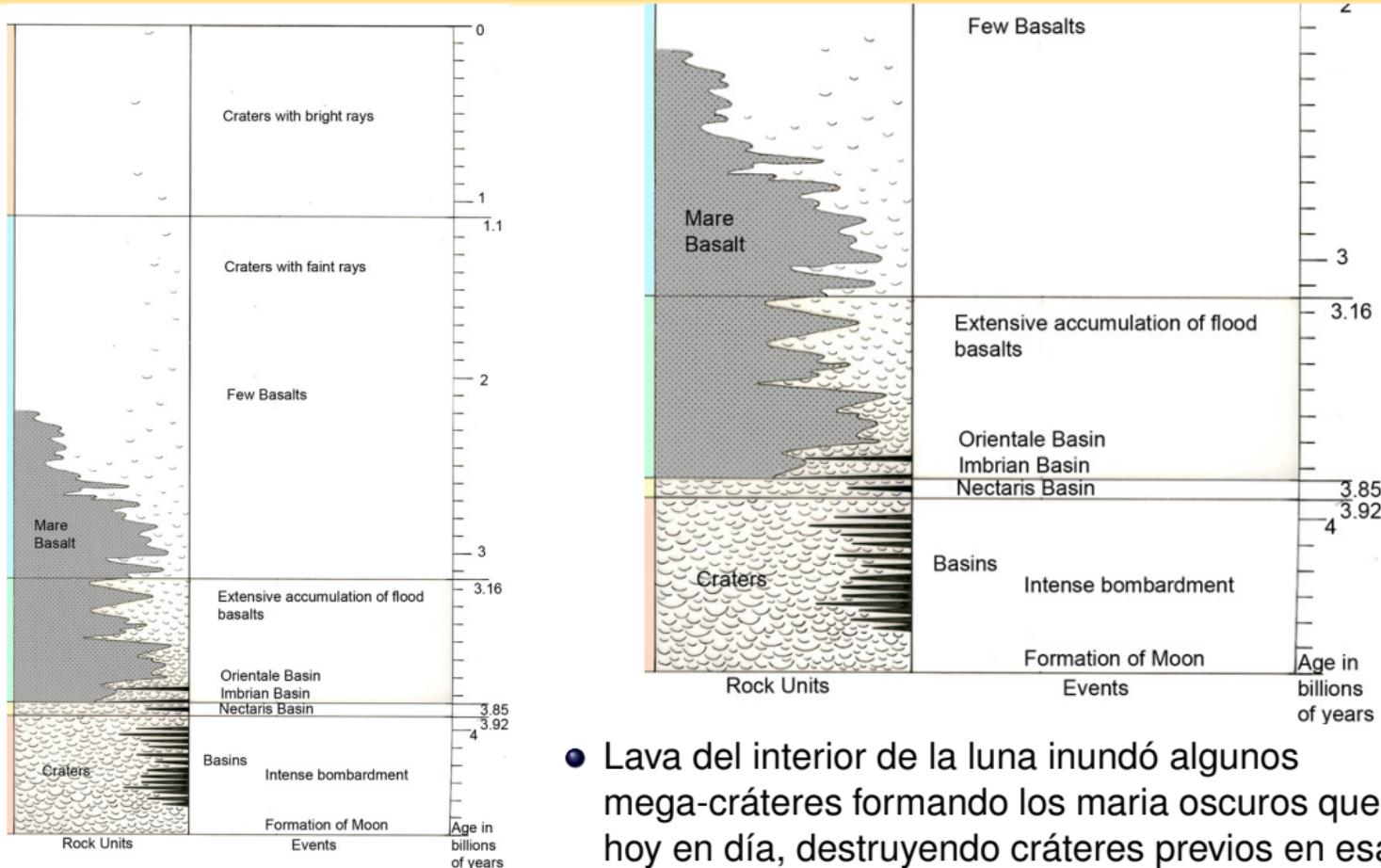
- El diámetro del cráter generado por un impacto es típicamente 10 veces más grande que el diámetro del impactador.

Cuencas de impacto



- Todas las cuencas de impacto y la mayor parte de los cráteres grandes que actualmente se observan en la Luna se crearon durante el período del bombardeo

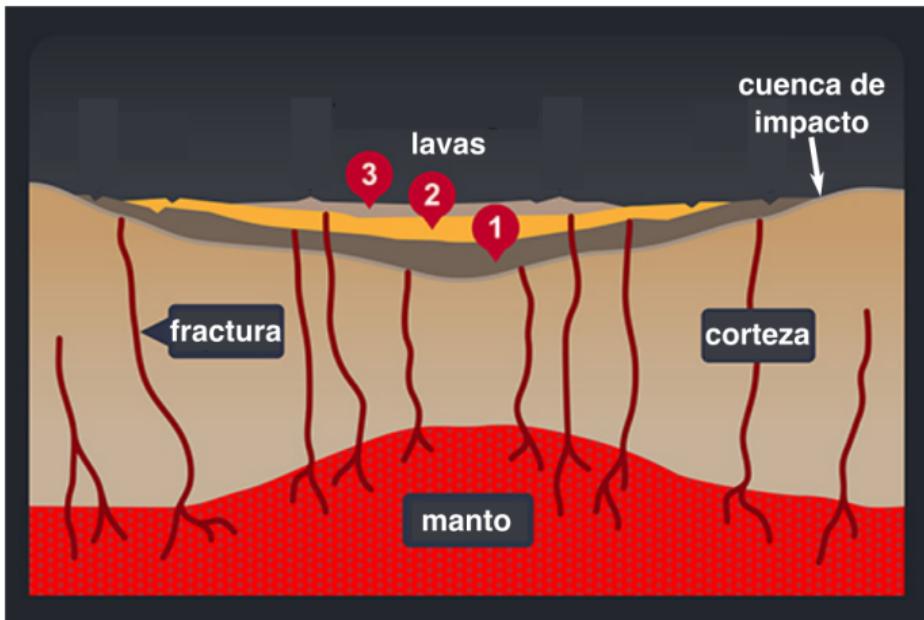
Formación de los Maria



- Lava del interior de la luna inundó algunos mega-cráteres formando los maria oscuros que vemos hoy en día, destruyendo cráteres previos en esa zona.

Formación de los Maria

Magma del manto inunda parte de las cuencas generadas por el bombardeo intenso

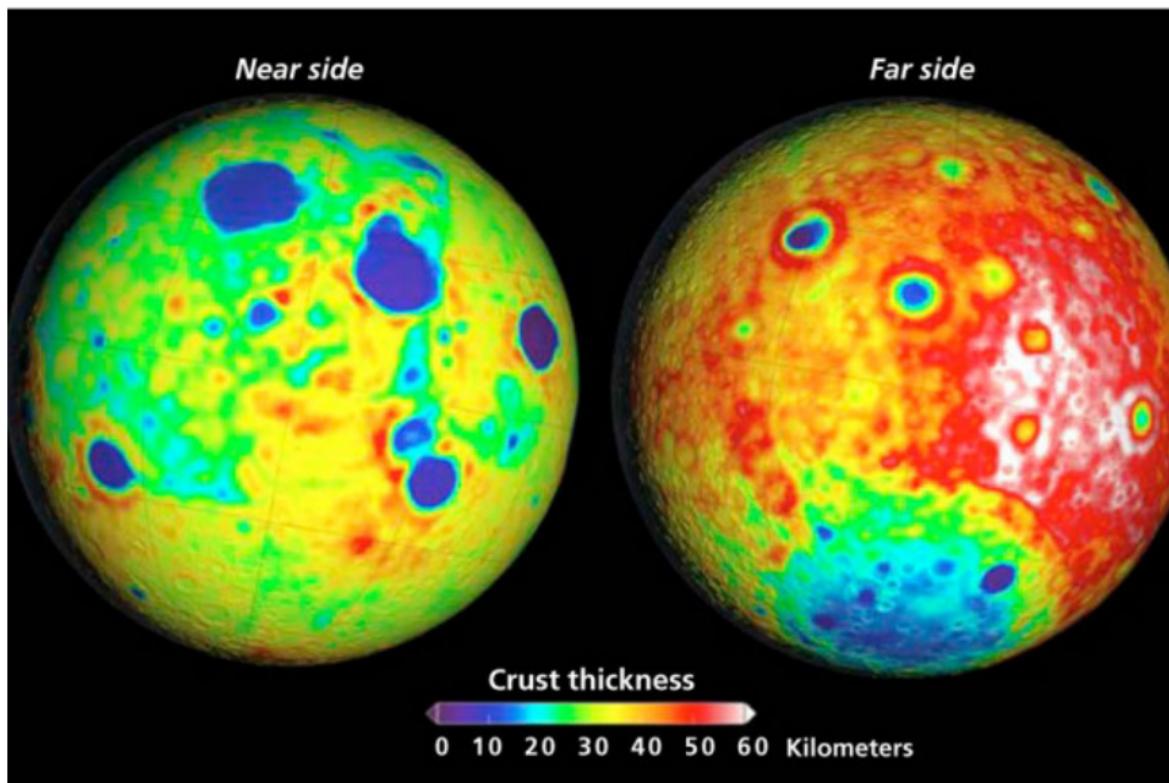


- ① inundación vieja de lava
- ② inundación intermedia de lava
- ③ inundación joven de lava

- La lava basáltica fue fluyendo a lo largo de diversos períodos, durante milenios, mucho después de que se formaran las cuencas de impacto.
- Las zonas inundadas por lava son más jóvenes que las Tierras Altas circundantes

Grosor de la Corteza de la Luna

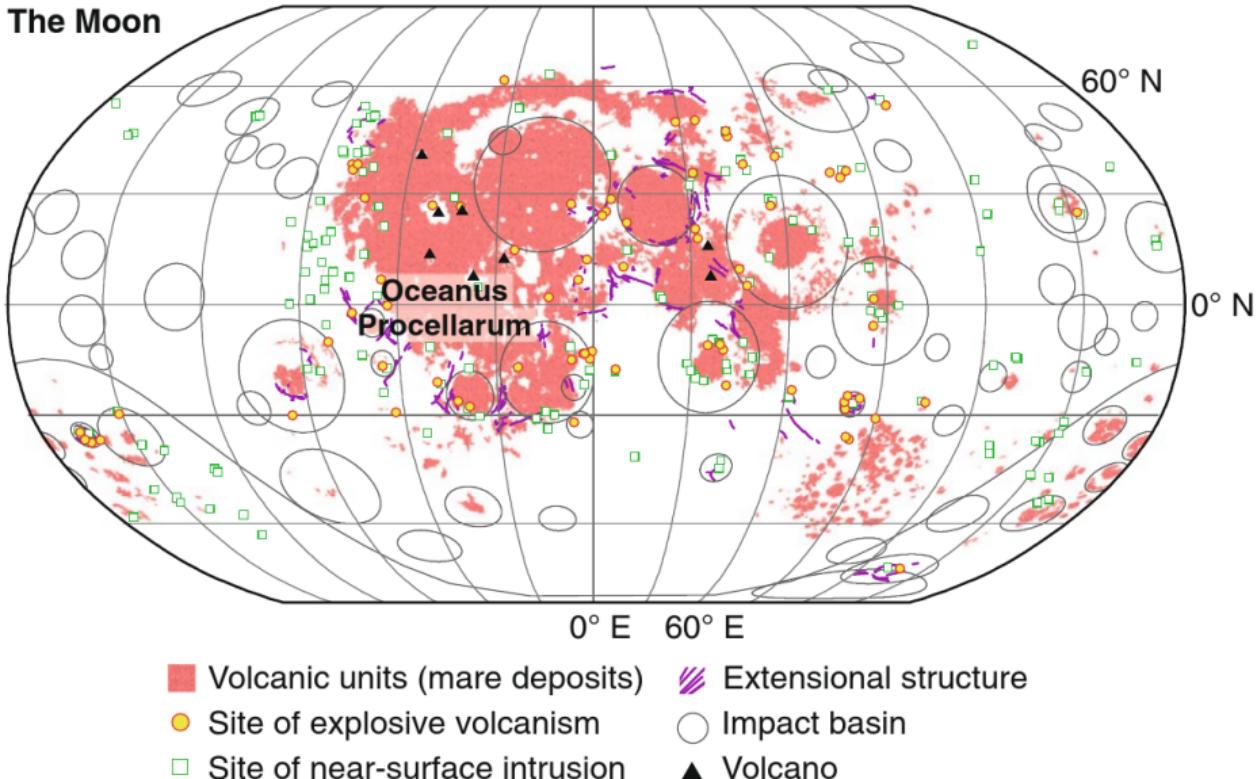
La corteza de la cara oculta se mucho más gruesa



- La corteza es mucho más gruesa en la cara oculta de la Luna que en su lado visible
- Esto explica la casi ausencia de marias en la cara oculta

Localización de los Maria

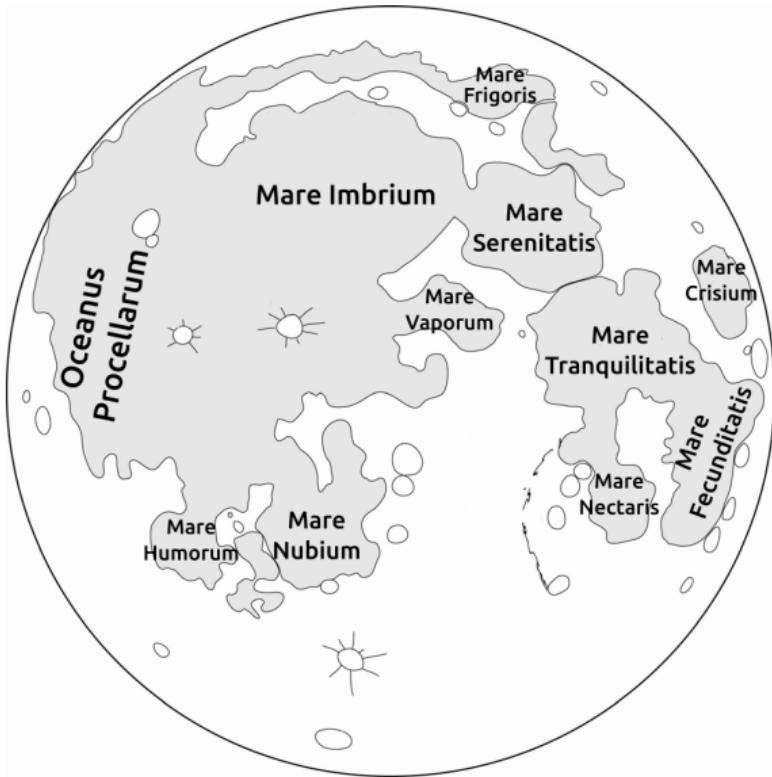
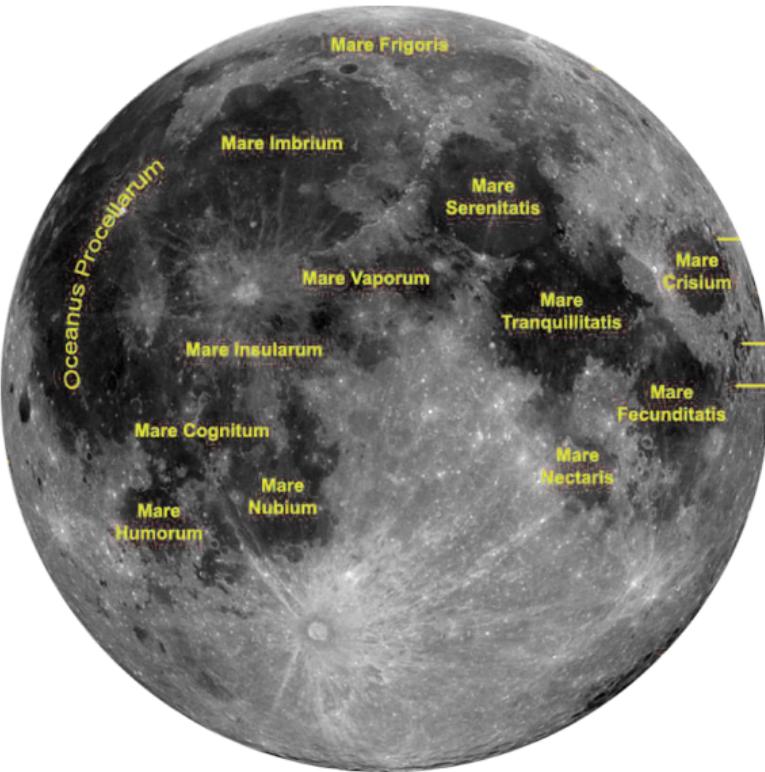
The Moon



- Los Maria tienen menos cráteres de impacto porque son más recientes que las Tierras Altas

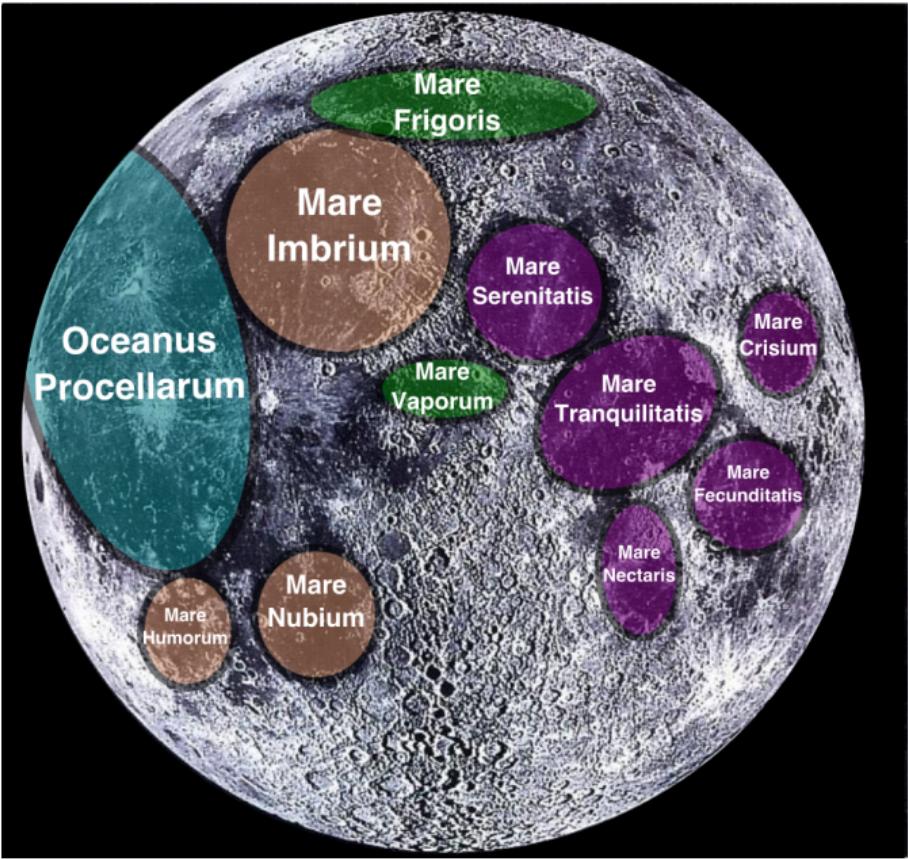
5. Nociones de Geografía Lunar

El Relieve Lunar: Maria



- Los Maria cubren cerca del 16% de la superficie lunar (30% de la cara visible)
- Los Maria son relativamente planos y contienen pocos cráteres

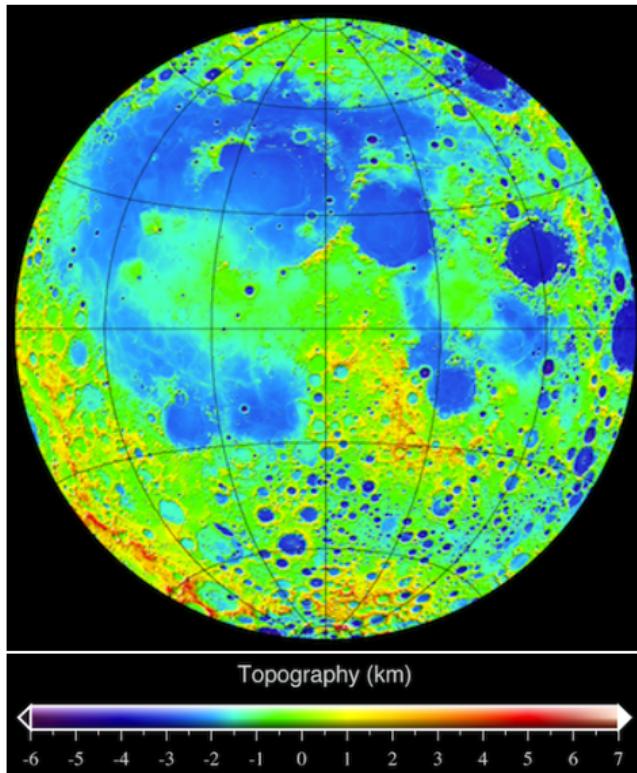
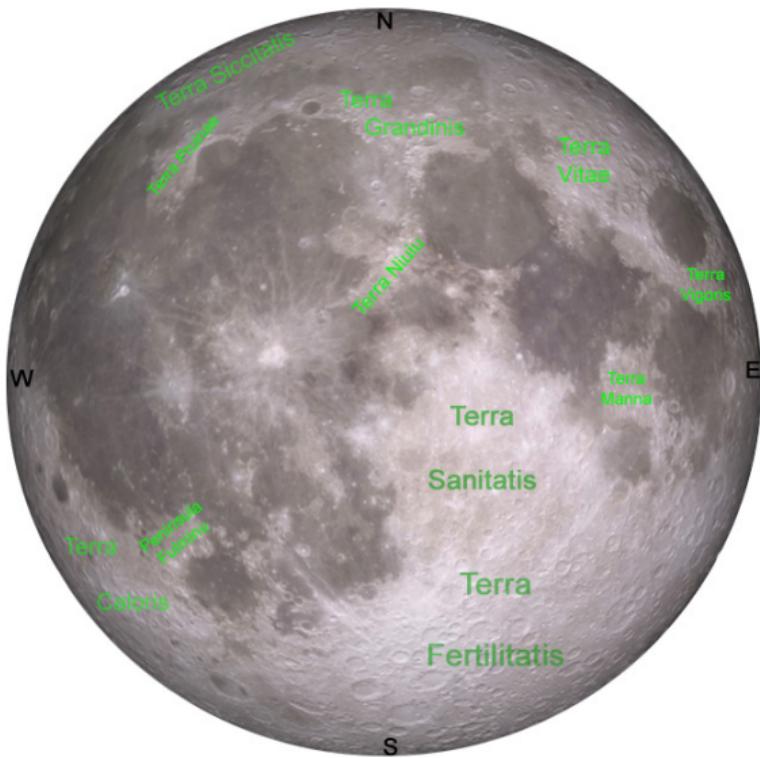
Los nombres de los Maria



- Los Maria tienen nombres poéticos inspirados en estados del tiempo o mentales.

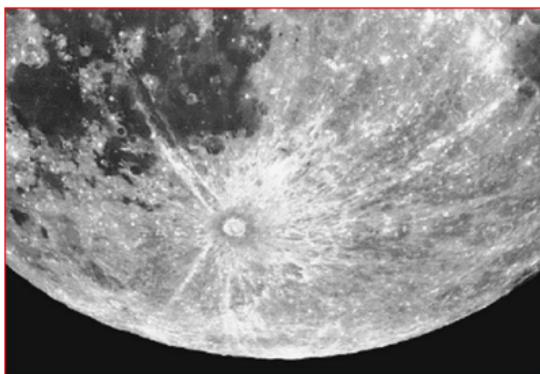
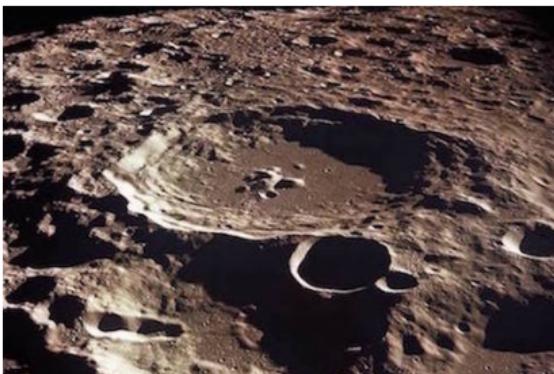
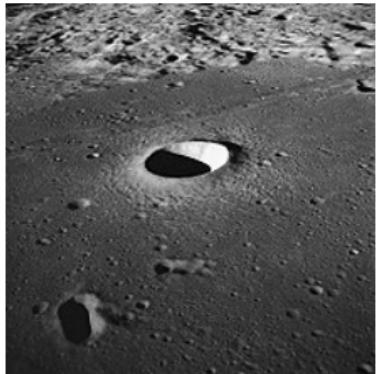
- Maria del Oeste
 - **Oceanus Procellarum** (Tormentas)
 - **Mare Imbrium** (Lluvias)
 - **Mare Humorum** (Humedad)
 - **Mare Nubium** (Nubes)
- Maria del Centro
 - **Mare Frigoris** (Frio)
 - **Mare Vaporum** (Vapores)
- Maria del Este
 - **Mare Serenitatis** (Serenidad)
 - **Mare Tranquillitatis** (Tranquilidad)
 - **Mare Fecunditatis** (Fecundidad)
 - **Mare Crisium** (Crisis)
 - **Mare Nectaris** (Néctar)

Tierras Altas: cráteres y montañas



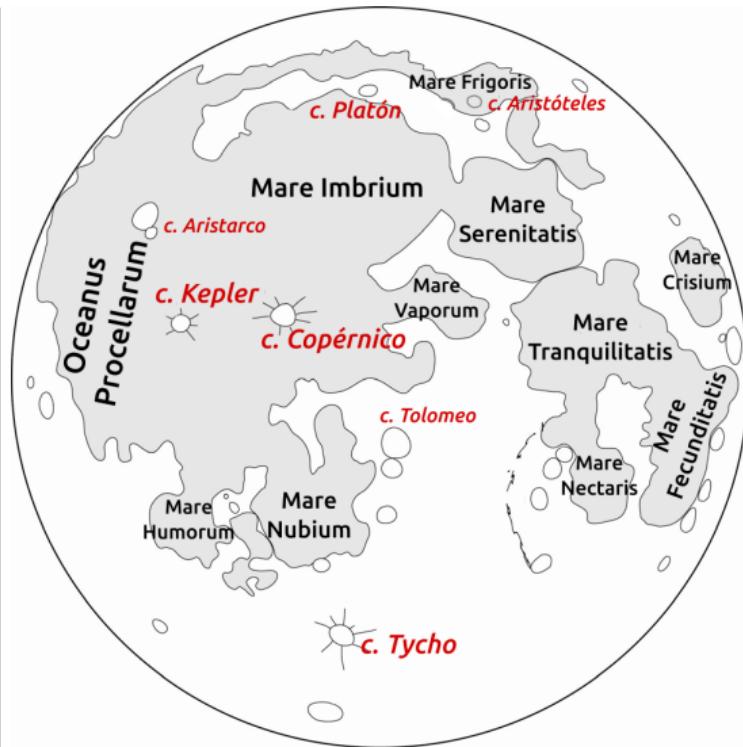
- Las tierras altas presentan la mayor cantidad de cráteres de impacto
- También contienen cadenas montañosas (usualmente en el borde de los mares)

Los Cráteres Lunares



- Hay cráteres de todos los tamaños; desde pocos metros hasta más de 1000km.
- El tamaño del cráter depende de la masa, velocidad y ángulo del impactador (por regla general el diámetro del cráter suele ser 10 veces más grande que el impactador que lo generó).
- Los cráteres suelen ser circulares.
- Los cráteres grandes suelen tener una "montaña" en el centro (o un anillo de montañas en el centro en los cráteres muy grandes)
- La inmensa mayoría de los cráteres se formaron en una edad temprana de la Luna
- Los más nuevos suelen tener sistemas de "rayos". Los rayos están formados por material eyectado en el impacto (Ejemplos: Tycho, Copernicus, Kepler)
 - Con el tiempo los sistemas de rayos tienden a desaparecer al ser erosionados

Los cráteres más importantes

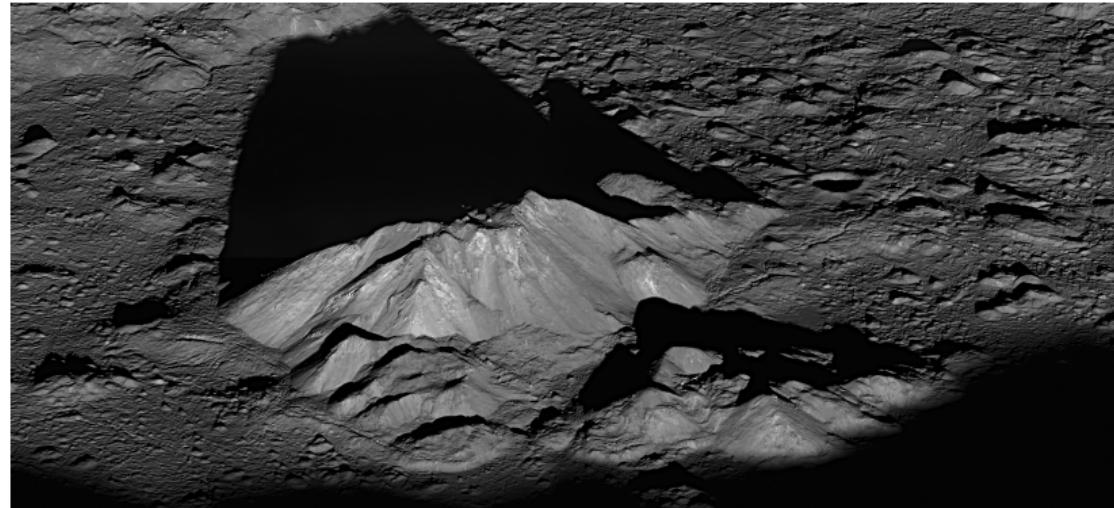


- Los cráteres tienen diámetros desde cerca de un metro hasta 1000 kilómetros.
- Cráteres importantes con rayos: Tycho, Copérnico, Kepler, ...
- Cráteres importantes sin rayos: Platón, Tolomeo, Aristóteles, Aristarco, ...

Las Montañas



Pico central del cráter Tycho:



- Las cadenas de montañas están típicamente son el borde de algunos Maria.
- También hay montañas aisladas (típicamente son el pico central de cráteres grandes)
- Algunos volcanes antiguos (actualmente no hay actividad "geológica" en la Luna como la hay en la Tierra)

6. Una Brevísma Introducción a la Geología Lunar

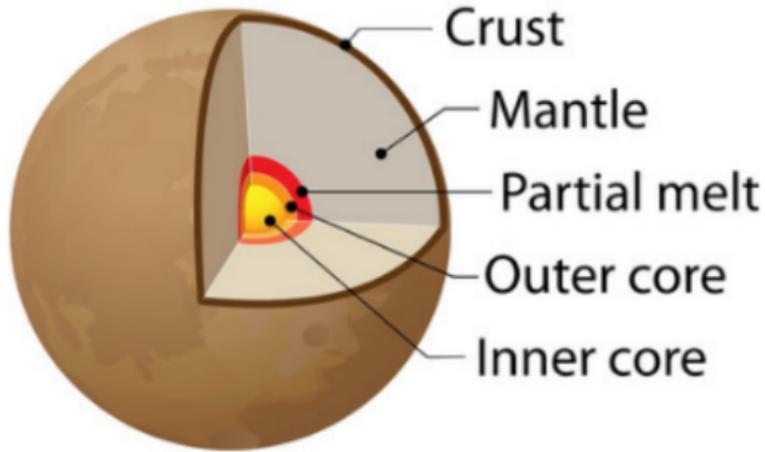
Geología de la Luna



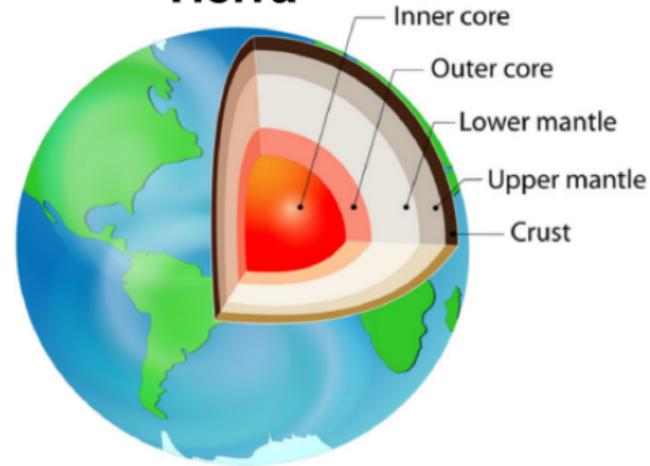
- ¿Es la Luna geológicamente activa?
- ¿De que está hecha la Luna?
- ¿Son las rocas lunares distintas a las de la Tierra?
- ¿Qué tipo de rocas hay en la superficie de la Luna?

El Interior de la Luna

Luna



Tierra



- El interior de la Luna es similar al de la Tierra; consta de un núcleo metálico, un manto y una corteza (ambos compuestos de silicatos).
- El núcleo lunar es mucho más pequeño que el terrestre y más frío.
- El calor producido por el núcleo lunar (debido a la radiación de átomos radioactivos) es mucho menor que en la Tierra y no puede mantener una geología activa (como si ocurre en la Tierra).

Rocas de la Superficie Lunar



- Las rocas de la Luna están formadas por cristales o granos de uno o más minerales, al igual que las rocas terrestres
- Los minerales de las rocas lunares pertenecen a la familia de los **silicatos**.
- Las rocas lunares y las terrestres son prácticamente indistinguibles ya que han tenido un origen común.

Rocas de la Superficie Lunar: Basaltos, Anortositas y Brechas

En la superficie de la Luna encontramos tres tipos distintos de rocas:

① Basaltos

- Rocas **oscuras y muy densas** con **alto contenido de hierro y magnesio**
- Predominantemente en los **Maria**
- Su origen son las lavas que invadieron gran parte de las cuencas de los Marias.

② Anortositas

- Rocas **claras y poco densas** con **alto contenido de sílice** con grandes cristales
- El mineral predominante en estas rocas es la Plagioclasa
- Predominantemente en las **Tierras Altas**
- Son los materiales más antiguos de la superficie lunar

③ Brechas

- roca compuesta de fragmentos pequeños de roca unidos por un cemento natural



● Anorthosite

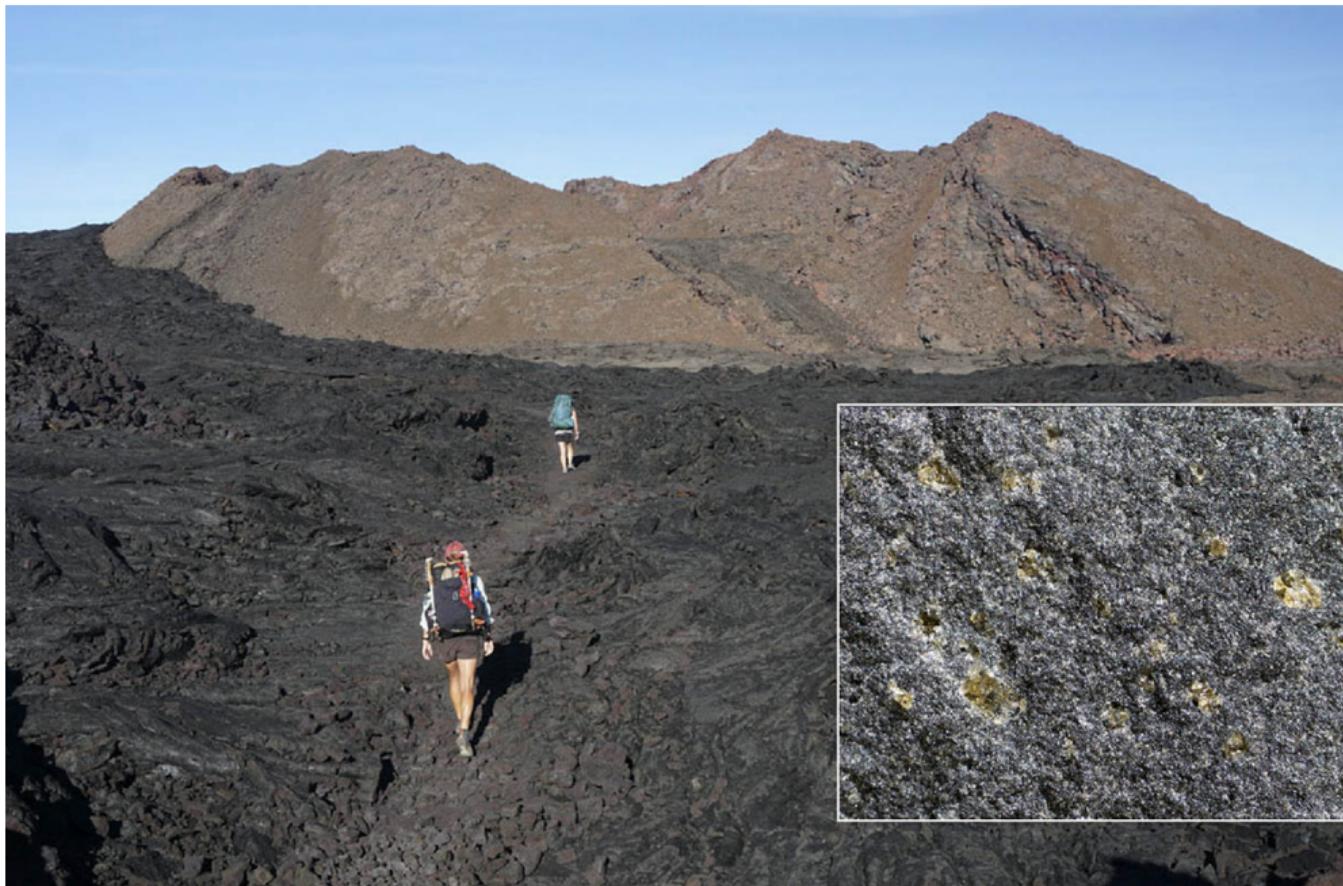


● Basalt

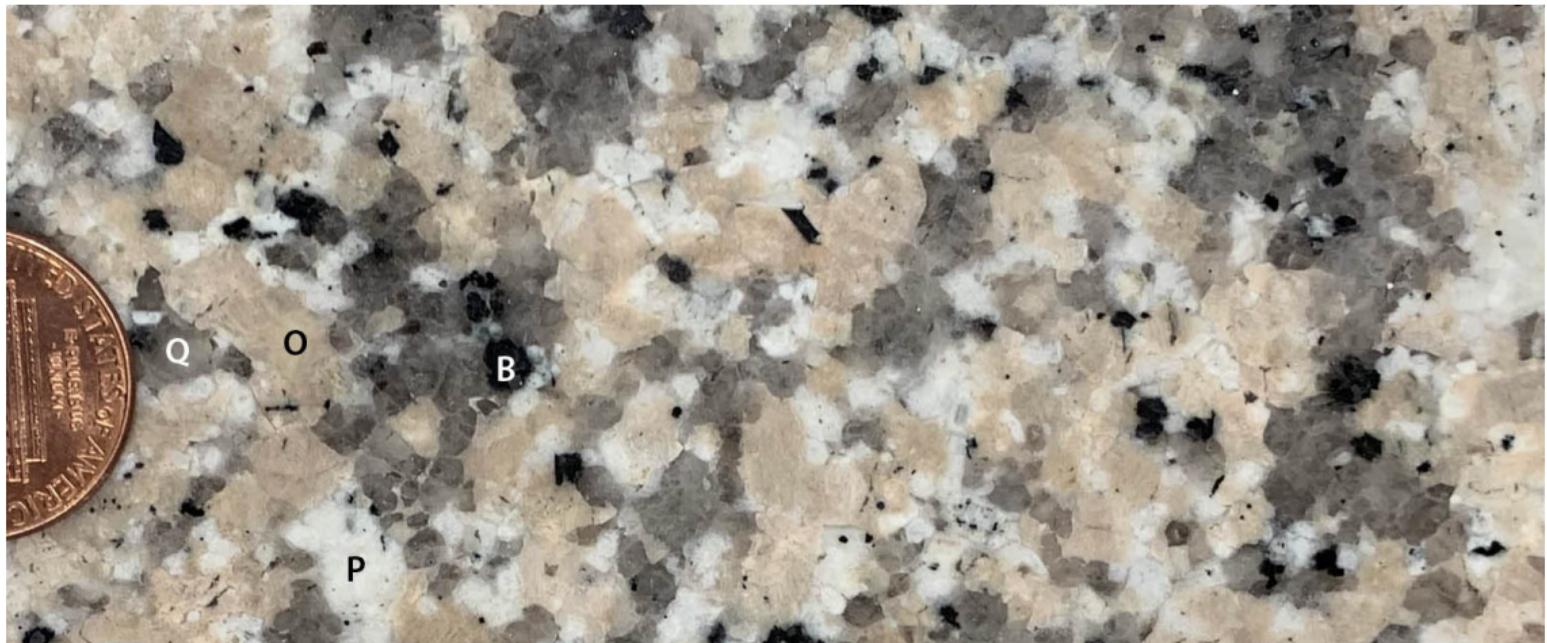


● Breccia

Basaltos



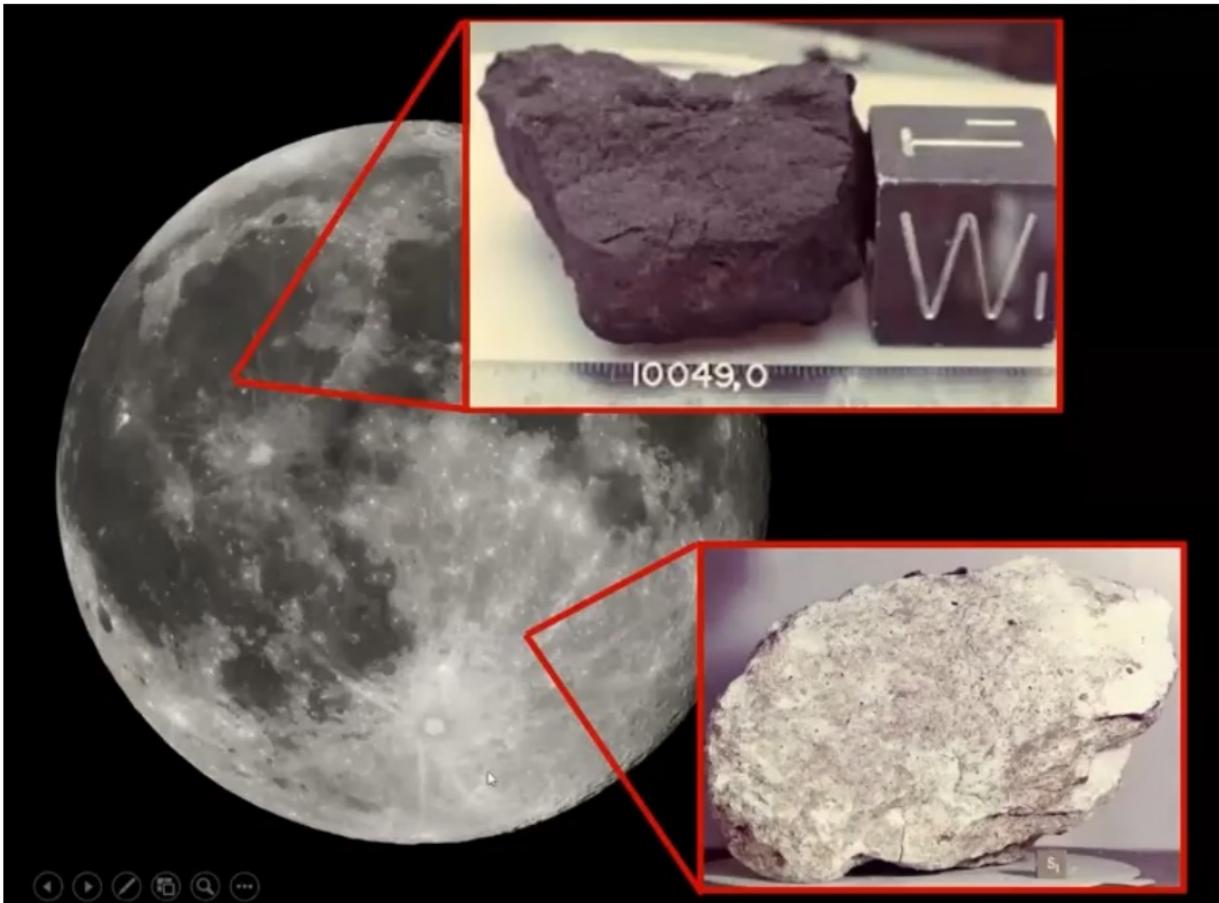
Anortositas



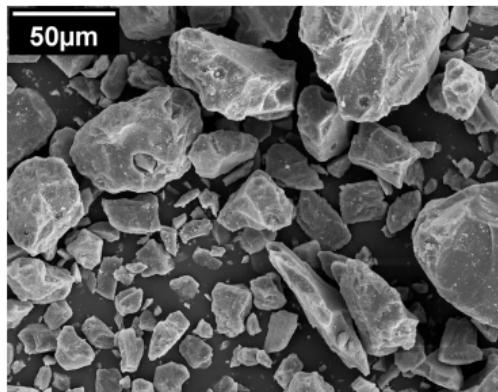
Composición típica de minerales del granito (terrestre):

- P = Plagioclasas (material más claro, casi blanco)
- Otros minerales: Q = Cuarzo, O = Ortoclasa, y B = Mica Biotita.

Composición de los Maria y de las Tierras Altas



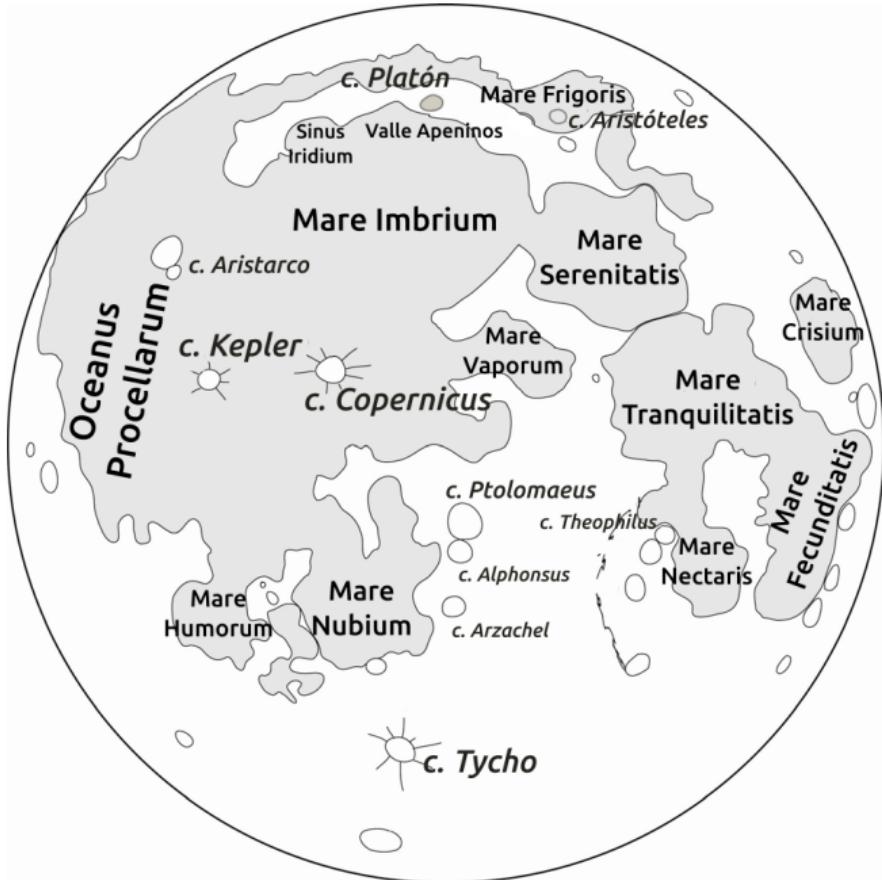
Regolito lunar es un sedimento



- El regolito es una capa superficial de sedimento que cubre grandes partes de la Luna (o de cualquier otro planeta rocoso!).
- Esta capa está compuesta de fragmentos de roca, granos minerales y otros depósitos superficiales.

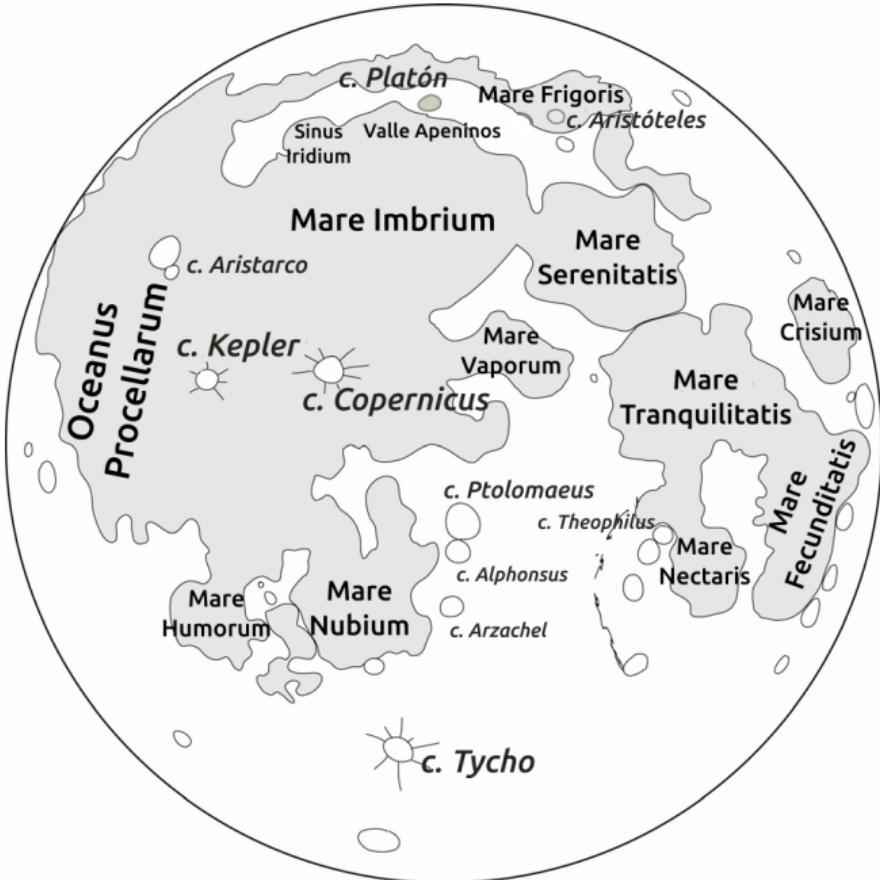
Resumen de la charla

Resumen de la charla



- El diámetro de la Luna es cuatro veces más pequeño que el de la Tierra
- La distancia entre la Luna y la Tierra es igual a 30 diámetros terrestres
- La Luna tarda 29,5 días en dar una vuelta alrededor de la Tierra y en este período se producen las fases de la Luna.
- La Luna nos muestra siempre la misma cara

Resumen de la charla



- La Luna se formó al impactar contra la Tierra un planeta del tamaño de Marte.
- La superficie de la luna hay dos tipos de regiones: los Maria oscuros y las Tierras Altas claras.
- Los Maria son planicies bajas cubiertas de basalto oscuro y con pocos cráteres
- Las Tierras Altas son de color gris claro y contienen infinidad de cráteres y también cadenas de montañas.
- La cara oculta de la luna prácticamente no tiene Maria y está completamente cubierta de cráteres.