



¿De dónde viene la Luna?

Luis A. Aguilar

Instituto de Astronomía

Universidad Nacional Autónoma de México

(aguilar@astrosen.unam.mx)



La Luna



Desde tiempo inmemorial, la Luna ha tenido una gran influencia sobre nosotros



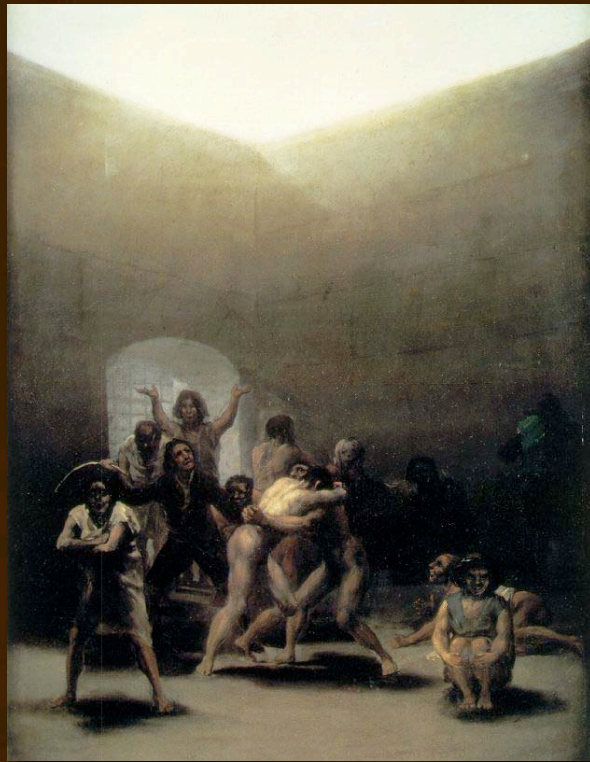
La Luna



Ha evocado pensamientos
románticos ...



La Luna



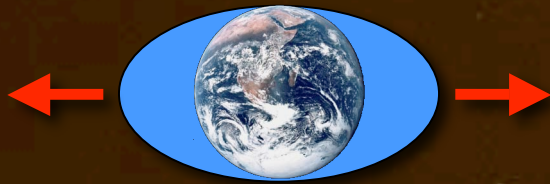
Los lunáticos. Goya

... y dado lugar a creencias extrañas.



La Luna

Es la responsable, junto con el Sol, de las mareas



La Luna

Es muy probable que desde la época de las cavernas el hombre haya notado la existencia de la Luna



¡Ya volvió a salir esa bola luminosa!



Escultura del Paleolítico,
Liguria, Italia

La Luna

Las fases de la Luna dieron lugar a uno de los intervalos en los que casi todas las culturas ha dividido el tiempo: el mes lunar.



La Luna



La Luna ilumina por igual el cielo nocturno en las grandes ciudades y en lugares remotos



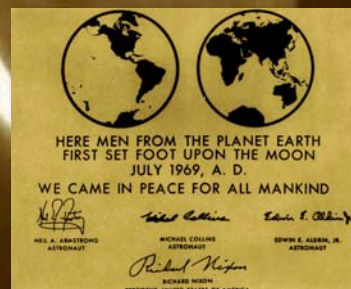
La Luna



En tiempos modernos, mucha gente ignora que la Luna, ¡también sale durante el día!

La Luna

La Luna es el único cuerpo celeste que hemos visitado



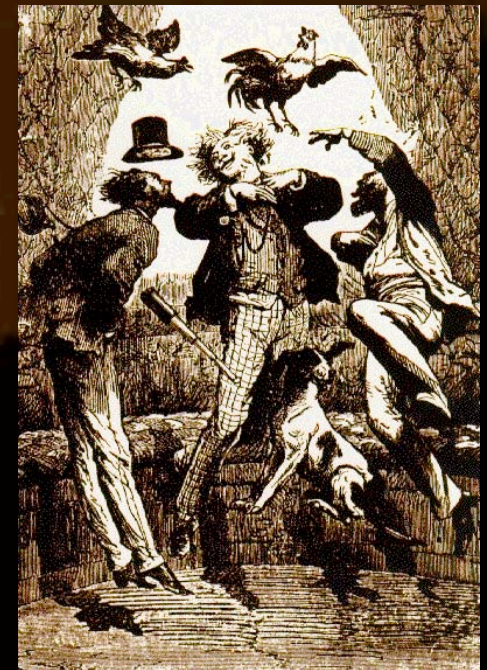
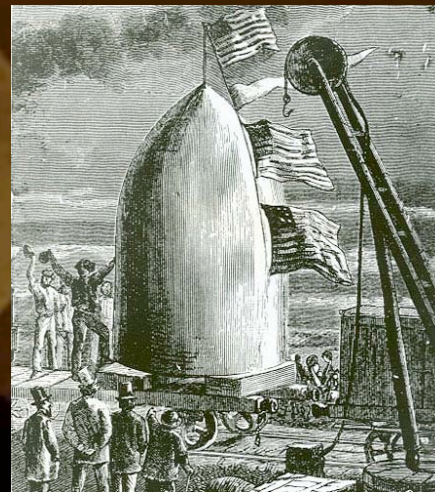
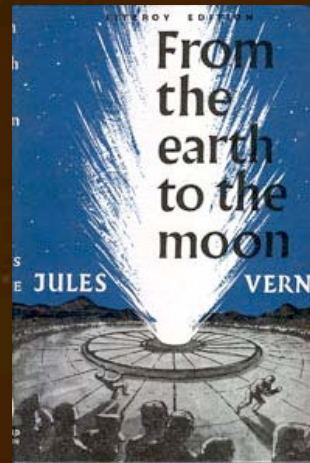
La Luna



Julio Verne

La Luna inspiró algunas de las primeras novelas del género que ahora llamamos ciencia-ficción

De la Tierra a la Luna (1865)



La Luna

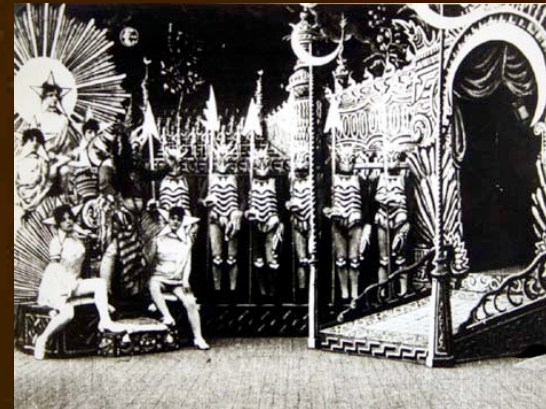
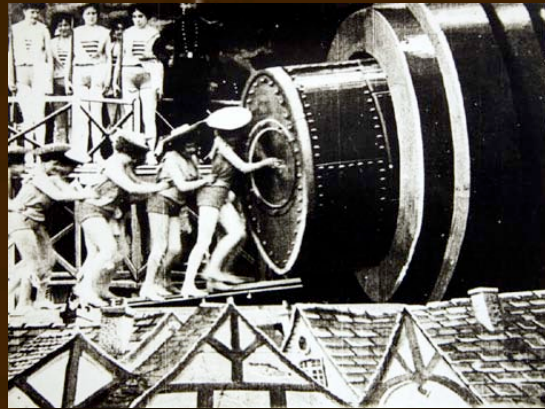


Georges Méliès



La primera película de ciencia-ficción fue hecha hace más de cien años y narra un viaje a la Luna

Le Voyage Dans La Lune (1902)



La Luna

Pero, ¿de dónde salió la Luna?



La Luna

No todos los planetas tienen luna.
Entre los planetas terrestres, sólo la
Tierra tiene un satélite de tamaño
apreciable.



Mercurio



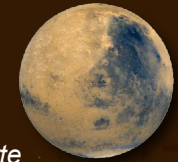
Venus



La Tierra



La Luna



Marte

La Luna

Aún cuando los planetas gigantes del Sistema Solar tienen muchas lunas, todas son muy pequeñas con respecto al planeta en torno al que giran. Solo nuestra luna es tan grande en comparación a su planeta.

Saturno

Júpiter

Neptuno



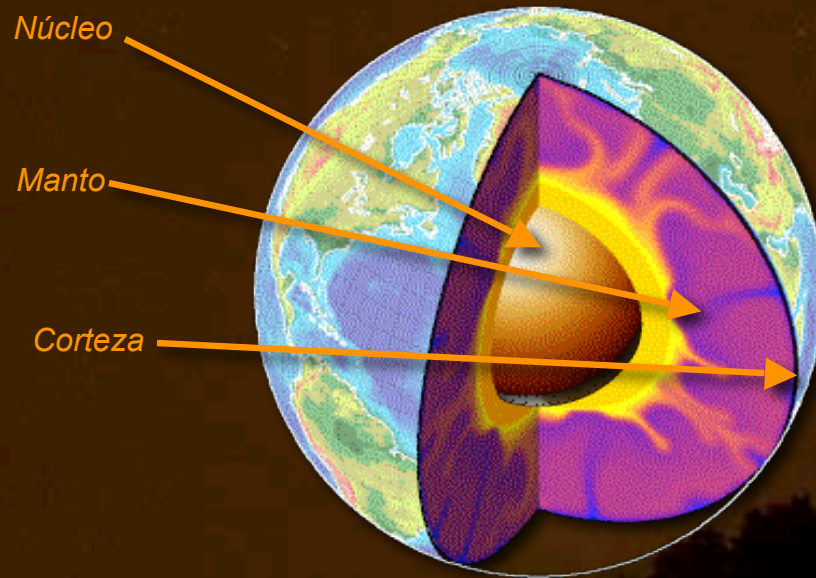
La Luna

Sabemos que la Tierra tiene unos 4,500 millones de años y que la Luna tiene la misma edad.

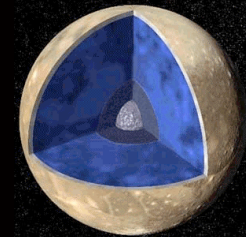


La Luna

La Tierra esta formada por un núcleo denso de fierro que contiene casi un tercio de la masa del planeta. El resto esta formado por un manto de rocas densas y una corteza delgada:



La Luna también tiene un núcleo rocoso, aunque es muy pequeño. El manto es muy similar en su composición al de la Tierra.



Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

Algunos dirán que por el internet ...

Sin embargo, esta no es una respuesta adecuada, porque, ¿de dónde sale la información que esta en el internet?



Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

Para averiguar como sabemos todo esto, tenemos que preguntarle a un científico ...

O mas bien a tres: a un Geólogo, a un Astrónomo y a un Físico.



Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

Empecemos con el Geólogo y la edad de la Tierra



Hace varios siglos, algunos geólogos notaron la existencia de capas donde la tierra ha quedado expuesta.

Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

Estas capas aparecen en muchos lados, si sabemos buscarlas. En algunos casos son muy rectas y paralelas, en otros aparecen dobladas y deformadas.

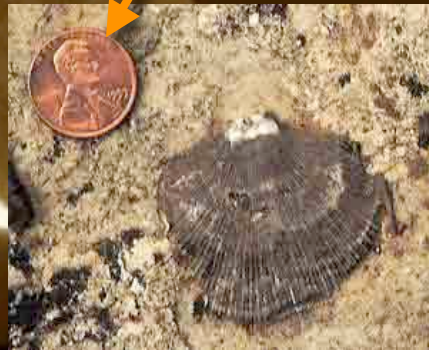


Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

Los geólogos notaron la existencia de fósiles dentro de estas capas. Muchos de estos fósiles correspondían a plantas o animales que ya no existen.

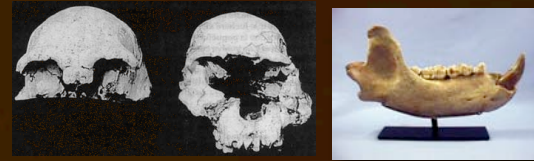


¡Este no es un fósil!



Pero, ¿cómo sabemos todo esto?

También notaron algo muy interesante: muchos de los fósiles que encontraban en una capa dada aparecían siempre asociados. Fósiles de otras capas rara vez se mezclaban.



Las eras geológicas

Muchas capas recibieron nombres basados en el lugar donde primero fueron identificadas, o donde aparecían más claramente.



Montañas de Jura, Suiza-Francia



Devon, Inglaterra

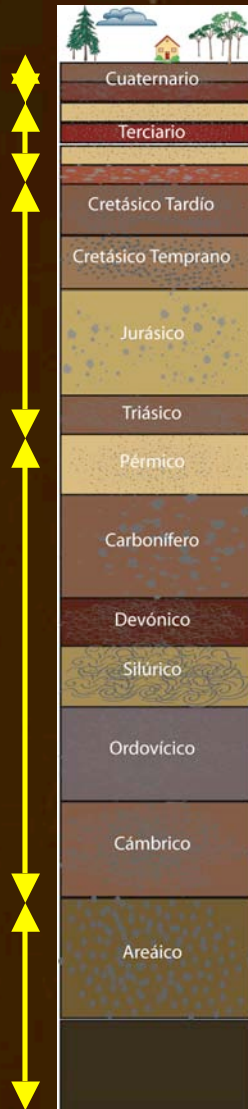


Cambria, País de Gales

Las eras geológicas

Era Cenozoica
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcáica

Era Cuaternaria



Las capas fueron organizadas en las llamadas eras geológicas.



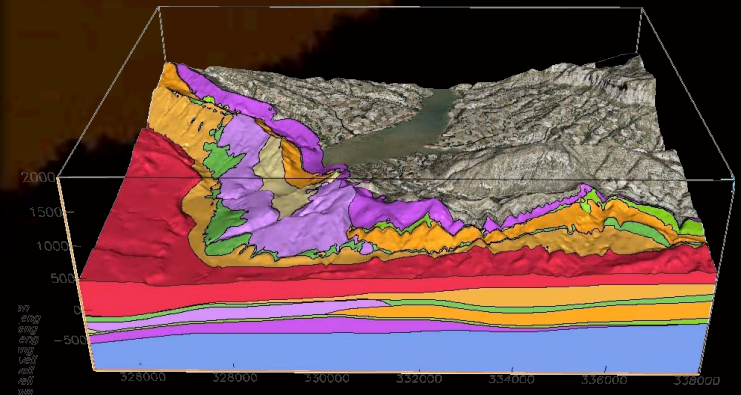
A las capas donde no se encontró rastros de fósiles se les agrupó en la llamada Era Arcáica.

Las eras geológicas

Era Cenozoica
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica
Era Cuaternaria



Era claro que las capas geológicas se habían formado a lo largo de la historia de la Tierra y representan un registro temporal



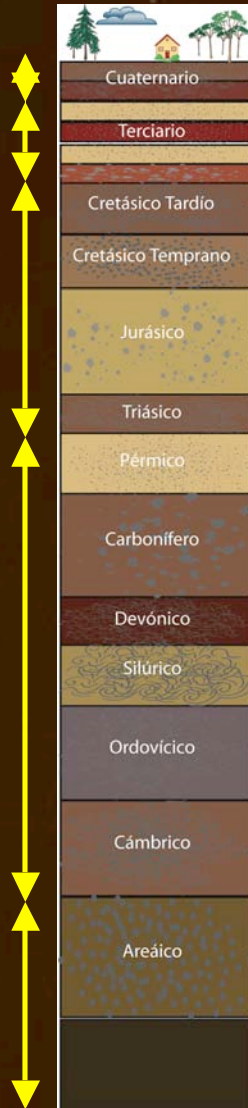
Las eras geológicas

Era claro que las capas geológicas se habían formado a lo largo de la historia de la Tierra y representan un registro temporal

Solo que había un problema:

¿A qué tiempo correspondía cada capa?

Era Cenozoica
Era Cuaternaria
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica



Las eras geológicas

Para resolver este problema, debemos encontrar primero una solución a la siguiente pregunta ...



¿Cuántos años tiene una roca?



Aquí debemos consultar a un Físico



El nos dirá que podemos usar la técnica del **fechado** radioisotópico

¿Cuántos años tiene una roca?

El fechado radio..., ¿qué?



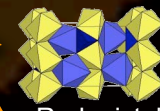
¿Cuántos años tiene una roca?



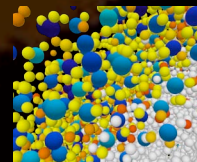
Matriz rocosa



Cuarzo



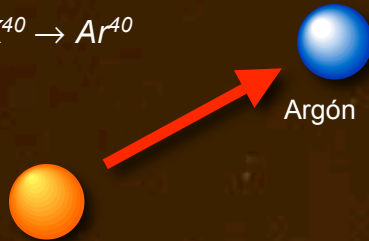
Red cristalina



Atomos

¿Cuántos años tiene una roca?

Decaimiento radioactivo

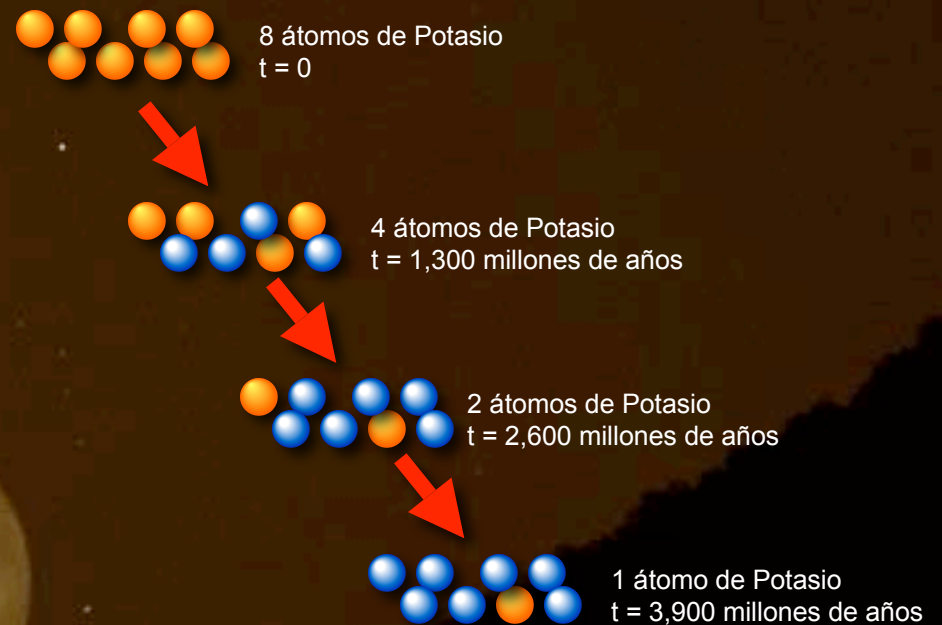


Potasio

Argón

Vida media: 1,300 millones de años

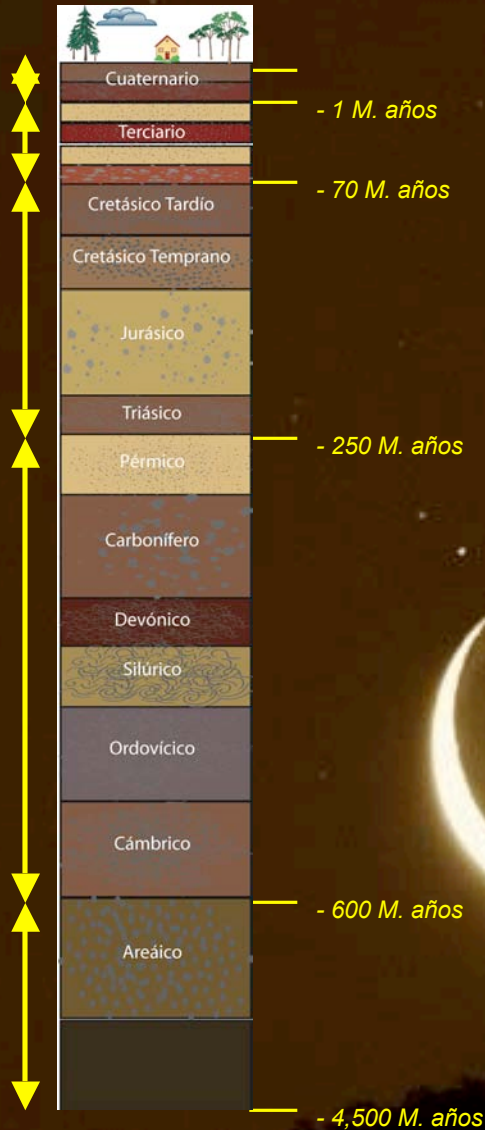
Fecha por radioisótopos



Un conteo de radioisótopos nos permite conocer el tiempo transcurrido desde que una roca se formó (solidificó).

Las eras geológicas

Era Cenozoica
Era Cuaternaria
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica



Al aplicar esta técnica se pudo saber al fin la edad a la que correspondía cada capa geológica.

Muy grande fue la sorpresa cuando resultó que la Tierra tenía 4,500 millones de años y que la Era Arcaica, donde no se encontraban fósiles, abarcaba el 86% de todo este tiempo.

Las eras geológicas

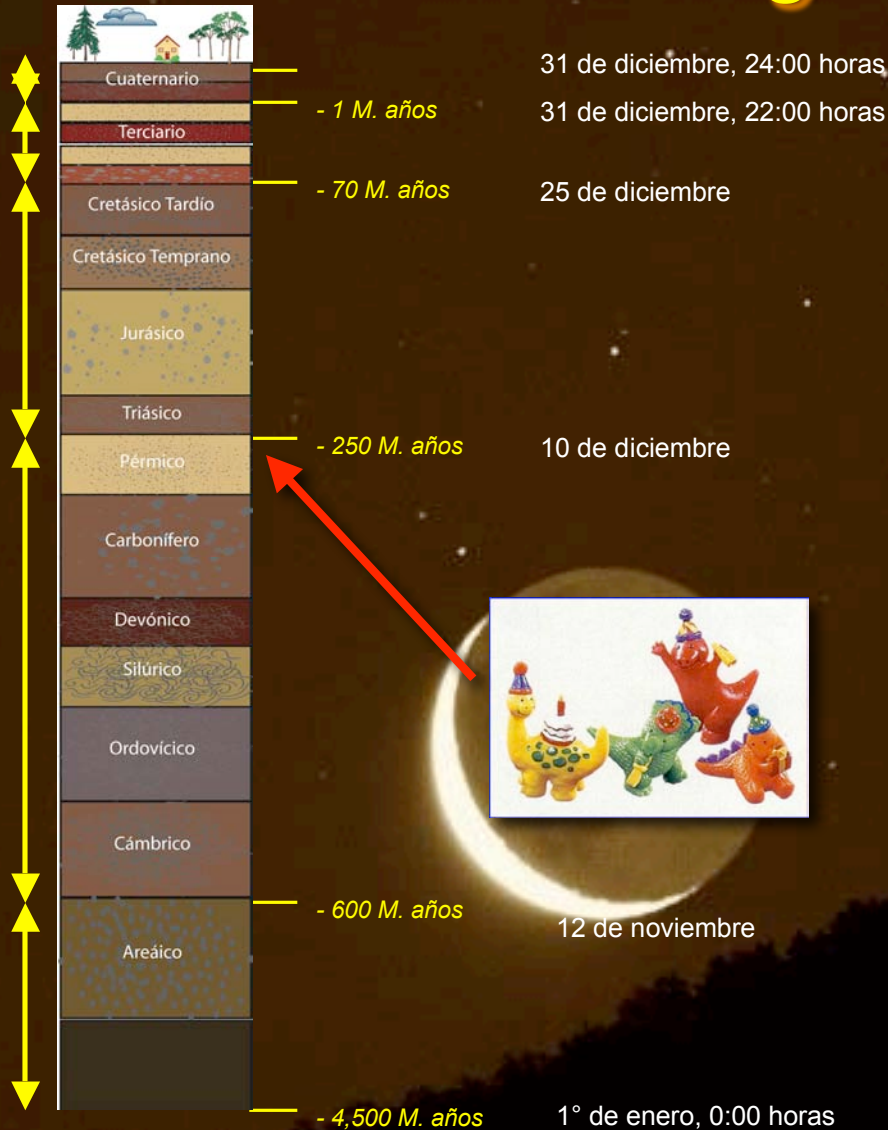
Era Cenozoica
Era Cuaternaria
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica



Podemos darnos una idea de estos tiempos tan enormes si hacemos una analogía con algo más familiar ... Imaginemos que comprimimos toda la edad de la Tierra en un año.

Las eras geológicas

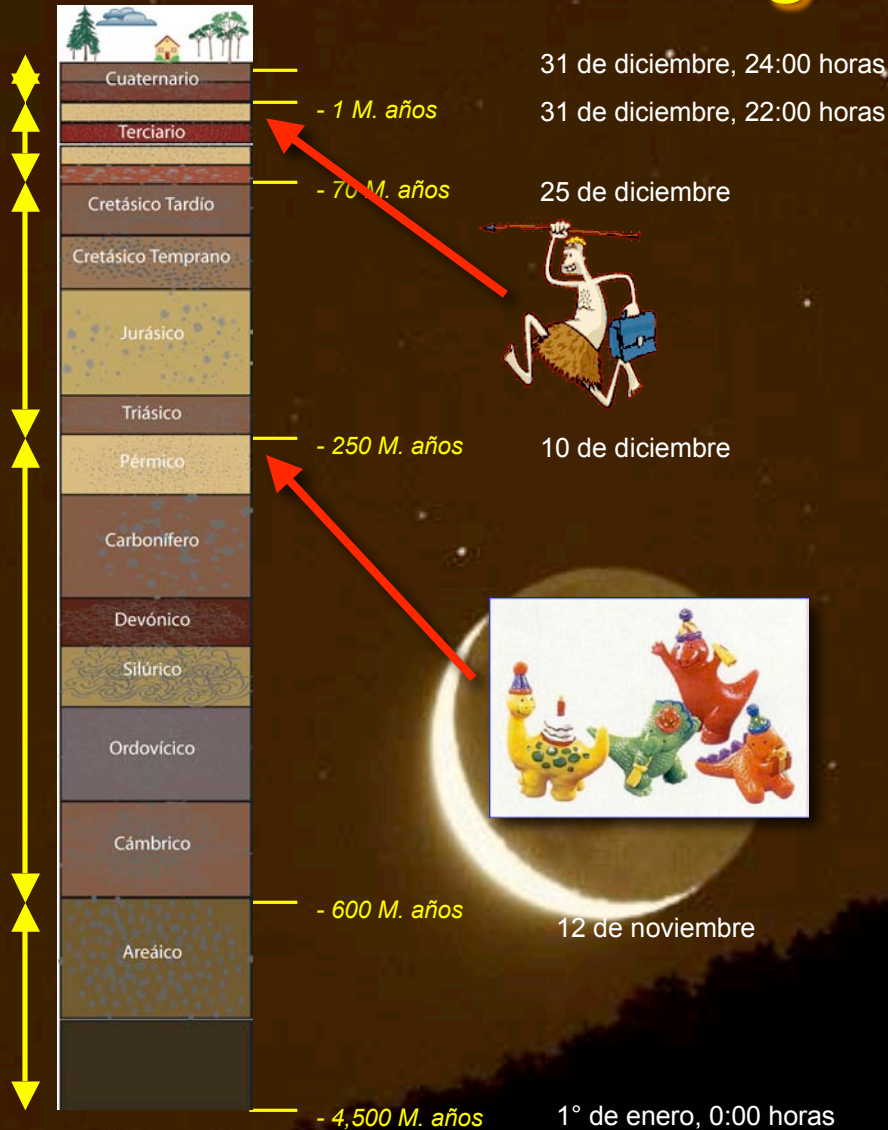
Era Cenozoica
Era Cuaternaria
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica



Resulta asombroso pensar que los dinosaurios aparecen apenas ¡justo a tiempo para las posadas!

Las eras geológicas

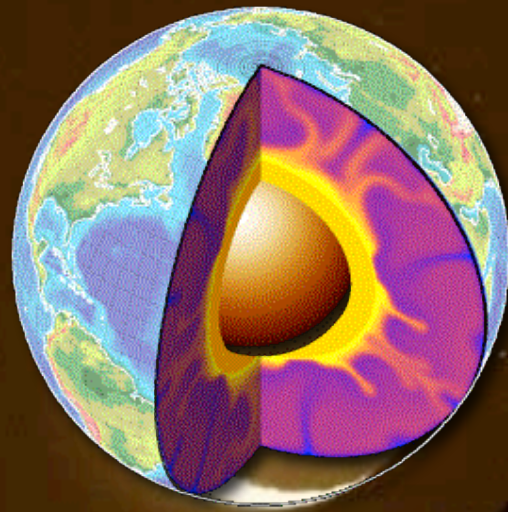
Era Cenozoica
Era Cuaternaria
Era Mesozoica
Era Paleozoica
Era Arcaica



Resulta asombroso pensar que los dinosaurios aparecen apenas ¡justo a tiempo para las posadas!
Y el hombre llega apenas a la fiesta de fin de año.

El interior de la Tierra

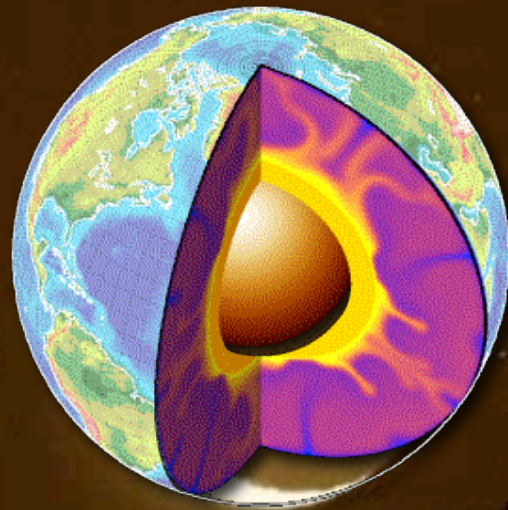
Y ¿cómo sabemos cómo es el interior de la Tierra?



El interior de la Tierra

Y ¿cómo sabemos cómo es el interior de la Tierra?

Aquí tenemos que consultar a un pájaro carpintero



El interior de la Tierra

¿No has notado que golpeando algo puedes “sentir” si ese algo es sólido o esta hueco?



El interior de la Tierra

¿No has notado que golpeando algo puedes “sentir” si ese algo es sólido o está hueco?

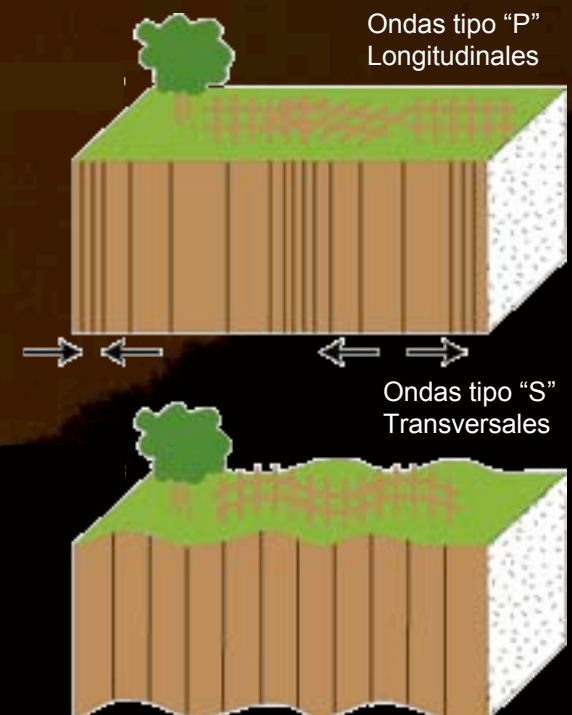
De hecho así es como lo hacen los pájaros carpinteros para encontrar los insectos y gusanos que comen y que se esconden dentro de la corteza de los árboles



El interior de la Tierra

Los geólogos hacen lo mismo que el pájaro carpintero, solo que de manera más movida

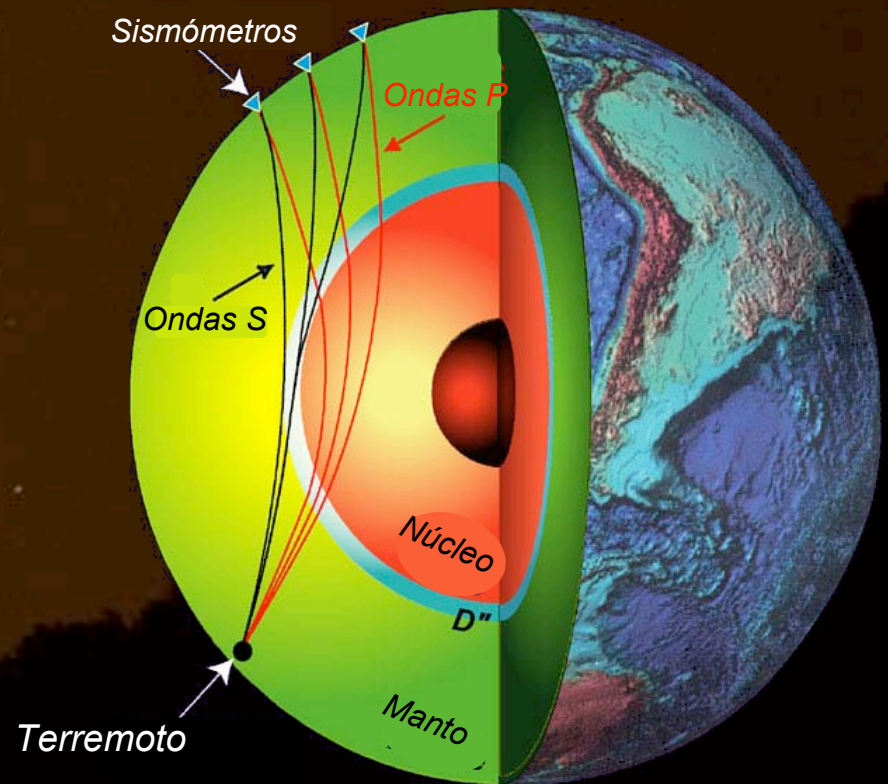
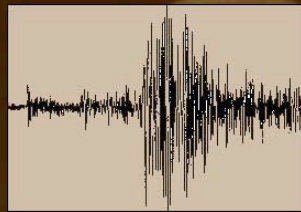
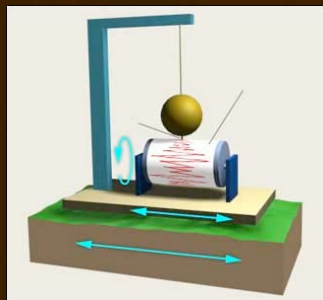
Cuando un terremoto sacude la tierra, se generan dos tipos de sacudidas, llamadas ondas sísmicas, que se transmiten por el suelo.



El interior de la Tierra

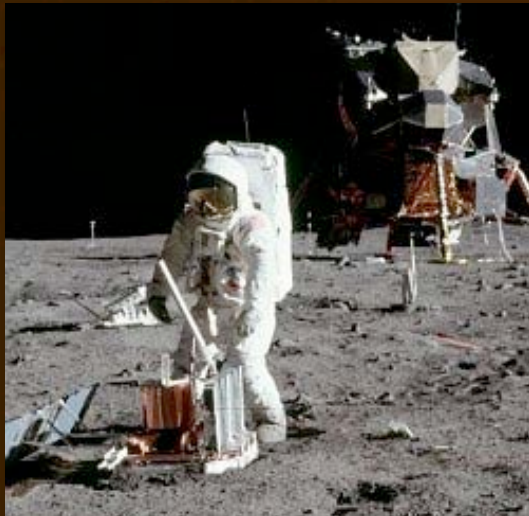
Las ondas sísmicas se transmiten por todo el interior de la Tierra y pueden ser detectadas en lugares muy remotos

“escuchando como suena” la Tierra usando sismómetros, podemos determinar como es la Tierra por dentro

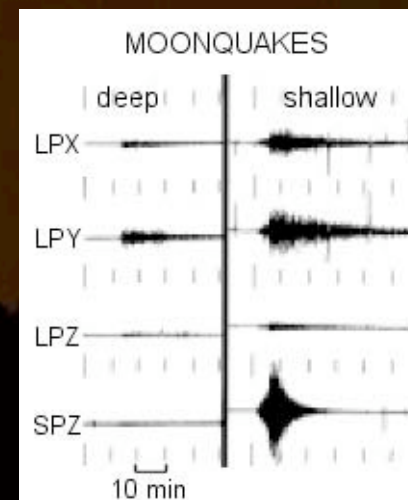


El interior de la Luna

El interior de la Luna fue determinado del mismo modo, solo que en este caso se usaron “lunamotos” registrados con unos sismógrafos dejados por los astronautas cuando visitaron la Luna



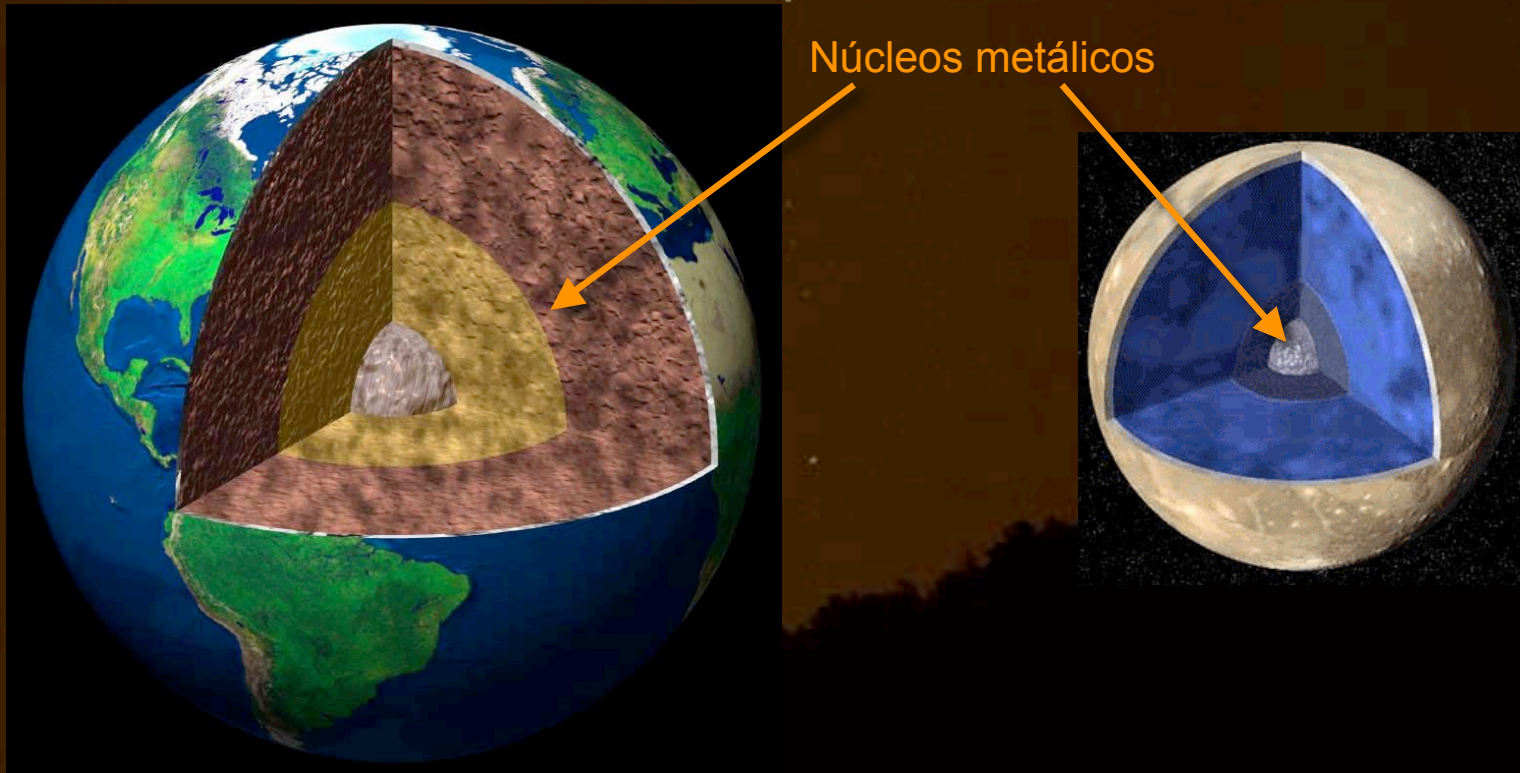
Astronauta “Buzz” Aldrin instalando un sismógrafo en la Luna



Registro de sismos lunares

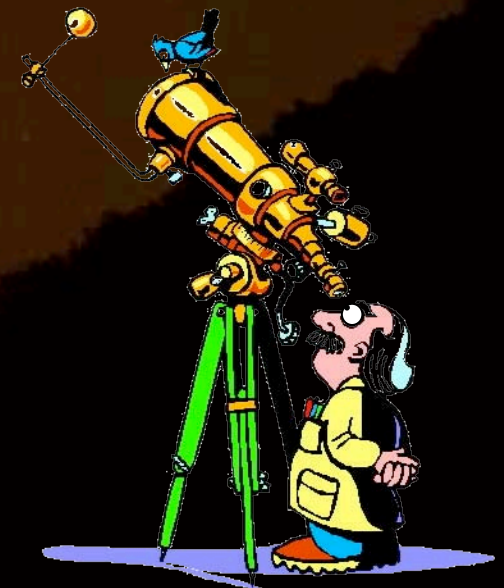
El interior de la Luna

De esta manera sabemos que la Tierra tiene un núcleo metálico grande, mientras que el de la Luna es muy pequeño



¿Cómo es la Luna?

Preguntemos ahora al Astrónomo algunos datos sobre la Luna



¿Cómo es la Luna?

La Luna fue el primer cuerpo celeste observado con el telescopio



Galileo Galilei

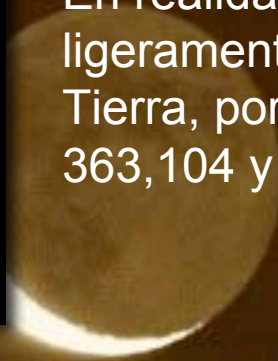


¿Cómo es la Luna?

La Luna está a una distancia de la Tierra igual a 30 veces el diámetro de nuestro planeta.

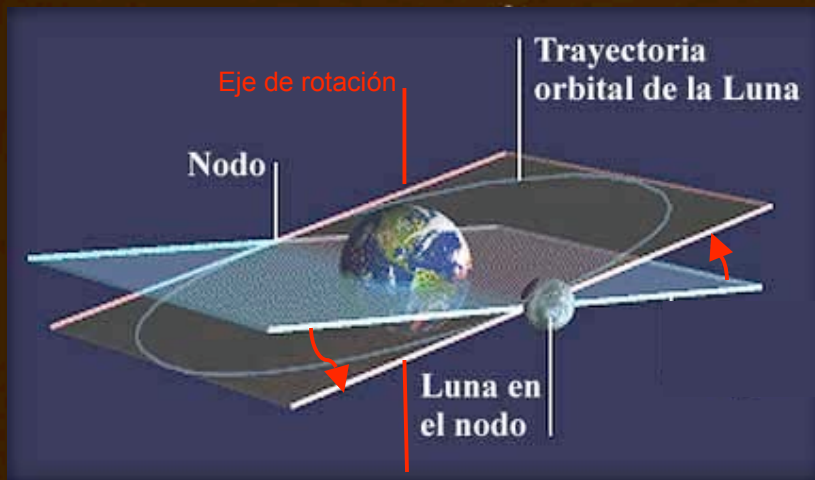


En realidad, la Luna sigue una trayectoria ligeramente elíptica alrededor de la Tierra, por lo que su distancia varía entre 363,104 y 405,696 kilómetros



¿Cómo es la Luna?

Además, el plano en el que se mueve la Luna alrededor de la Tierra tiene una inclinación que varía entre 18 y 29 grados con respecto al ecuador de la Tierra.



¿Cómo es la Luna?

Y ¿cómo sabemos todo esto?



¿Cómo es la Luna?

Durante las misiones Apolo a la Luna, los astronautas dejaron varios retroreflectores.



¿Cómo es la Luna?

Durante las misiones Apolo a la Luna, los astronautas dejaron varios retroreflectores. Los astrónomos reflejan láseres muy poderosos y miden el tiempo que tarda la luz en regresar.



El interior de la Tierra y la Luna

¡Y así es como podemos medir la distancia a la Luna!

De hecho, las mediciones son tan precisas que se ha podido determinar que la Luna se aleja de la Tierra 3.8 centímetros cada año.



El origen de la Luna

Bueno, pero ¿cómo se formó la Luna?



El origen de la Luna

George Darwin, hijo del famoso Charles Darwin, propuso a finales del siglo XIX la *teoría de fisión* para explicar el origen de la Luna.

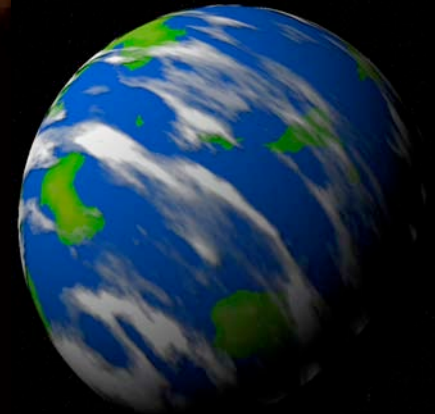


G.H. Darwin



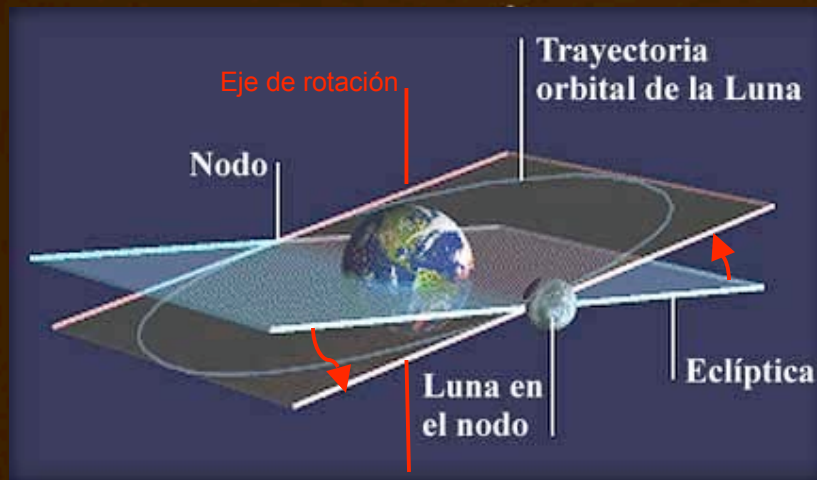
El origen de la Luna

Según esta teoría, cuando la Tierra acababa de formarse y estaba todavía muy caliente, giraba tan rápido, que un pedazo salió volando. Este pedazo es la Luna.



El origen de la Luna

Sin embargo, esta teoría pronto encontró una dificultad insalvable: Si la Luna salió despedida de la Tierra debido a su giro, ¿por qué la Luna gira en un plano que está inclinado con respecto al ecuador de la Tierra?



El origen de la Luna

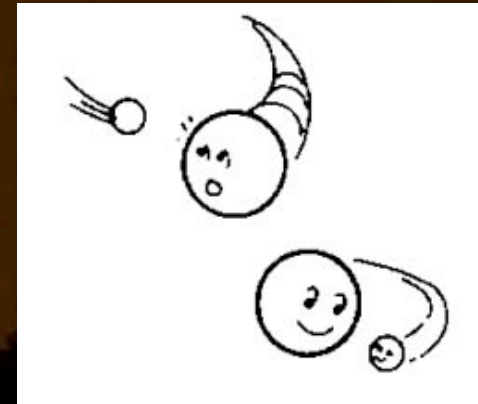
Poco después se propusieron dos teorías adicionales:

- *La teoría de captura*
- *La teoría de formación simultánea*



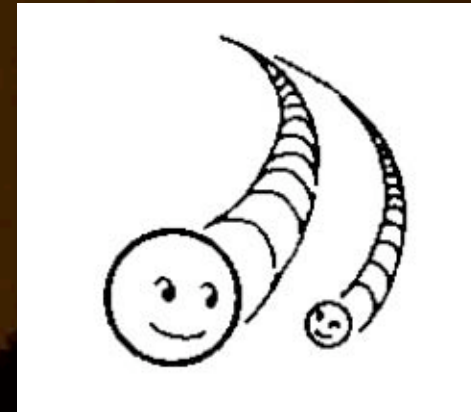
El origen de la Luna

La *teoría de captura* propone que la Luna se formó en algún otro lugar y fue capturada por la Tierra



El origen de la Luna

La *teoría de formación simultánea* propone que la Luna se formó justo a un lado de la Tierra y al mismo tiempo



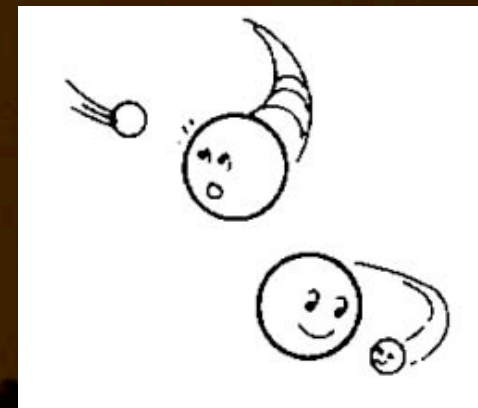
El origen de la Luna

Si la *teoría de formación simultánea* fuese correcta, la Tierra y la Luna deben tener exactamente la *misma composición*.

Si la *teoría de captura* es la correcta, entonces su composición debe ser *muy diferente*.



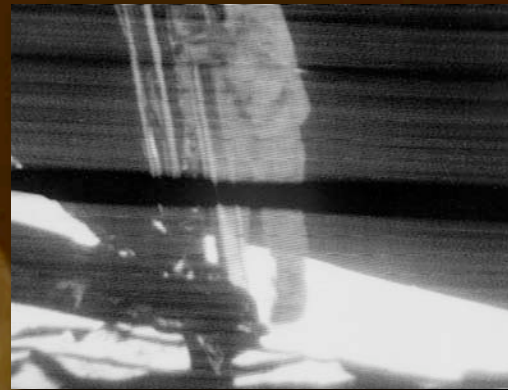
Teoría de formación simultánea



Teoría de captura

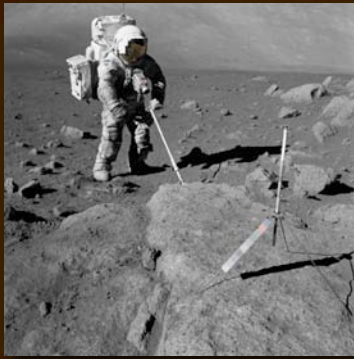
El origen de la Luna

Una de las razones más importantes que tenían los científicos para apoyar el programa Apolo a la Luna, era precisamente traer rocas lunares y decidir de una vez por todas, cual era la teoría correcta.

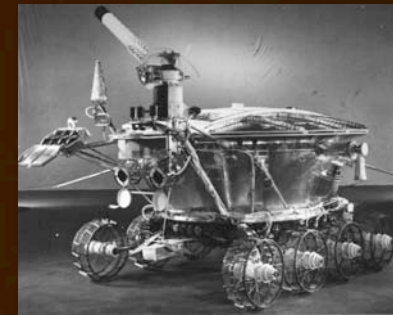


El origen de la Luna

No solo los astronautas americanos trajeron rocas lunares. Los soviéticos enviaron a la Luna un robot que recolectó rocas lunares y las trajo a la Tierra.



Un geólogo en la Luna



Sonda soviética *Lunokhod*



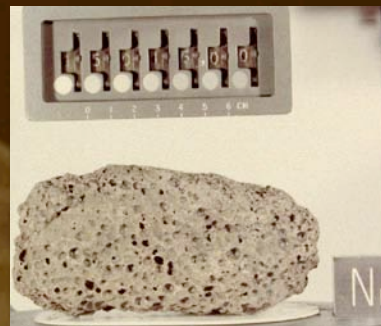
Valija usada para traer rocas lunares

El origen de la Luna

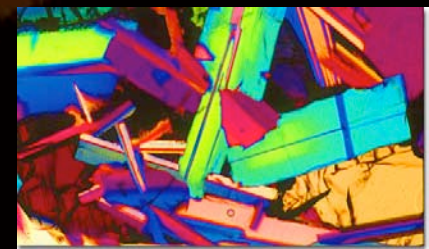
Los científicos esperaban con mucha impaciencia los resultados del análisis de las rocas lunares



Equipo para manipular rocas lunares



Roca lunar

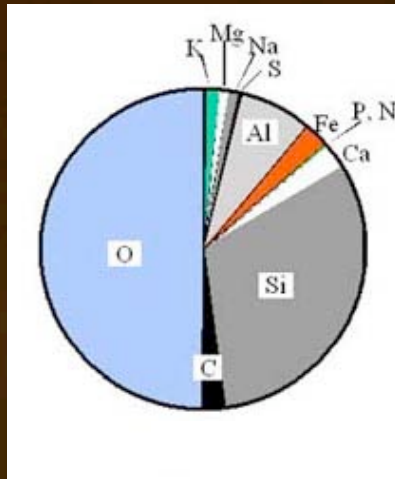


Microfotografía de una muestra de roca lunar

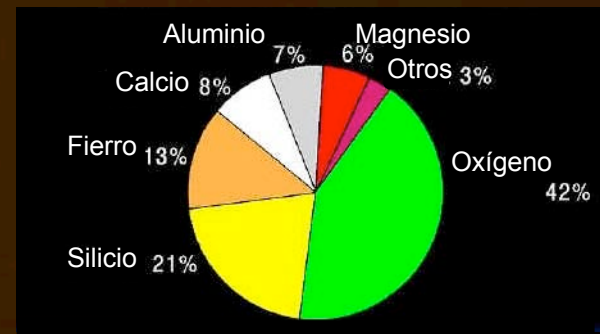
El origen de la Luna

Los resultados indicaron que las rocas lunares eran muy similares a las de la Tierra.

Composición del suelo terrestre



Composición del suelo lunar

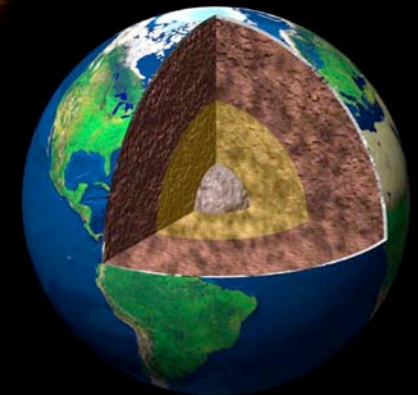
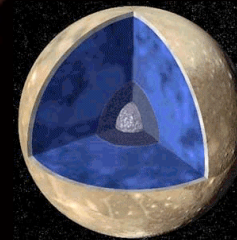
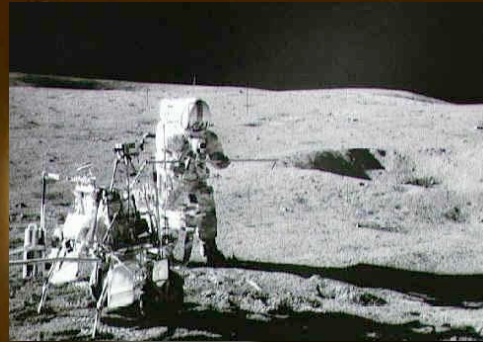
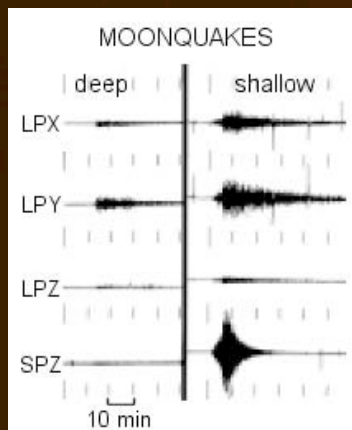


Esto favorecía la teoría de formación simultánea

El origen de la Luna

Sin embargo, algo peculiar ocurrió ...

Cuando los resultados de los sismógrafos dejados en la Luna se conocieron, éstos indicaban que el núcleo metálico de la Luna era ¡muy pequeño comparado con el de la Tierra!



El origen de la Luna

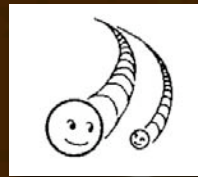
Pero si la Luna y la Tierra se formaron al mismo tiempo y en el mismo lugar, ¿cómo puede ser que su contenido de metales sea tan distinto?



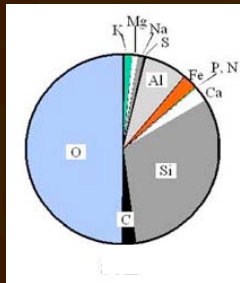
El origen de la Luna

Repasemos la evidencia:

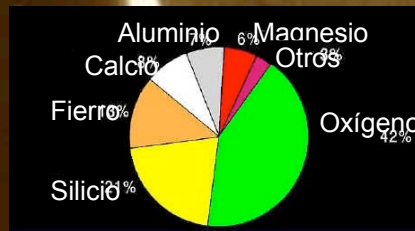
La composición química es muy similar, esto favorece la teoría de formación simultánea



Composición del suelo terrestre



Composición del suelo lunar



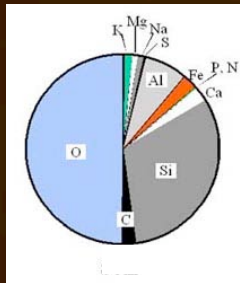
El origen de la Luna

Repasemos la evidencia:

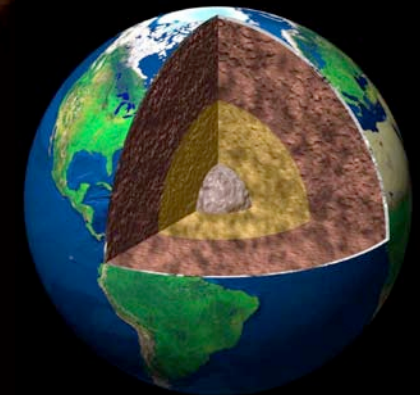
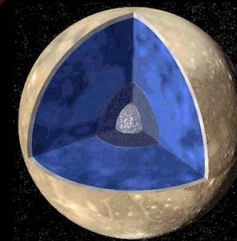
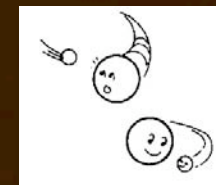
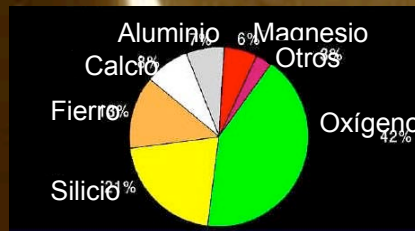
La composición química es muy similar, esto favorece la teoría de formación simultánea

Pero el contenido metálico es totalmente diferente, esto favorece la teoría de captura

Composición del suelo terrestre

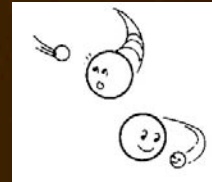
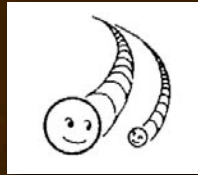


Composición del suelo lunar



El origen de la Luna

¿Quién tiene la razón?



El origen de la Luna

Como alguna vez dijeron por ahí:

Ni el uno ni el otro, ¡sino todo lo contrario!

Y ¿entonces?



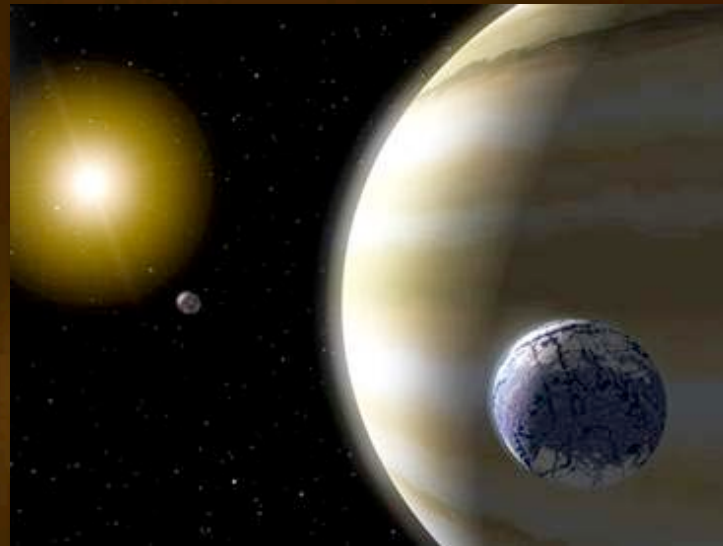
El origen de la Luna

Lejos de resolver el problema, las muestras lunares incrementaron el debate sobre el origen de la Luna



La formación de planetas

Para entender lo que ocurrió a continuación, debemos revisar las teorías sobre formación de planetas ...



La formación de planetas

Para entender lo que ocurrió a continuación, debemos revisar las teorías sobre formación de planetas ...

Existen grandes nubes de gas en el espacio interestelar. Las estrellas se forman a partir de estas nubes. Al formarse una nueva estrella, se forma una nube de gas alrededor. Este gas gira y con el tiempo forma granos de polvo. Los granos de polvo forman rocas, asteroides y con el tiempo planetas.



La formación de planetas

Para entender lo que ocurrió a continuación, debemos revisar las teorías sobre formación de planetas ...

Animación por computadora de la formación de un sistema planetario



La formación de planetas

Para entender lo que ocurrió a continuación, debemos revisar las teorías sobre formación de planetas ...

Animación por computadora de la formación de un sistema planetario

Un resultado de este proceso de formación de planetas es que las colisiones son inevitables



La formación de planetas

Para entender lo que ocurrió a continuación, debemos revisar las teorías sobre formación de planetas ...

Este modelo de formación planetaria no es una mera utopía. Ya se han observado varios discos de gas y polvo alrededor de estrellas jóvenes

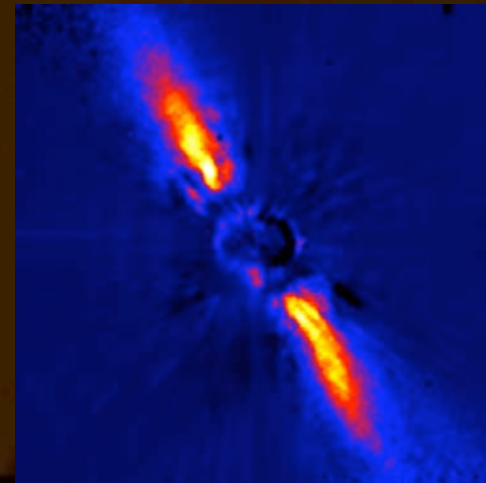


Imagen infrarroja del disco de gas y polvo alrededor de la estrella β -Pictoris. Observatorio de Grenoble.

El origen de la Luna

Volvamos ahora al problema del origen de la Luna

Recordemos que el problema es como explicar que la Luna y la Tierra tienen la misma composición en sus rocas, y sin embargo diferente contenido metálico.



El origen de la Luna

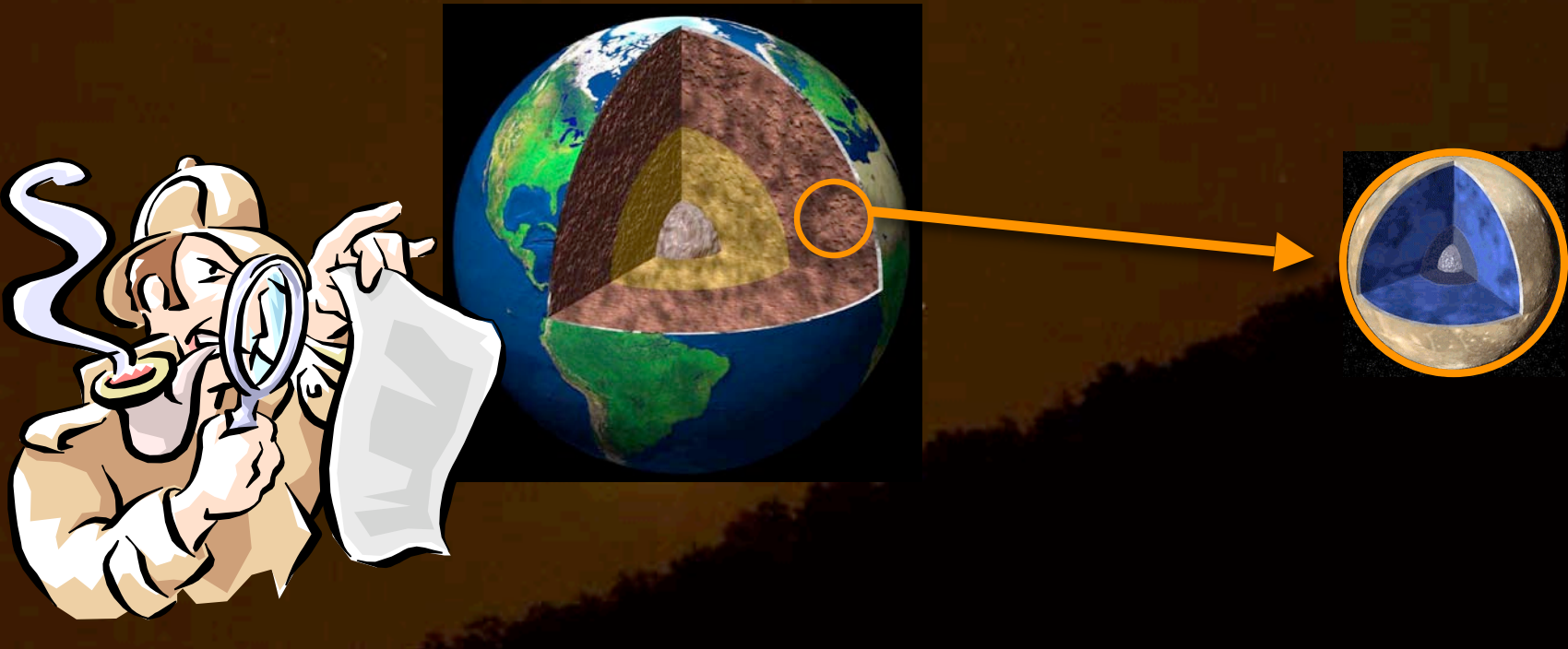
De hecho, la Luna es como un pedazo del manto y corteza de la Tierra pero sin el núcleo metálico.



El origen de la Luna

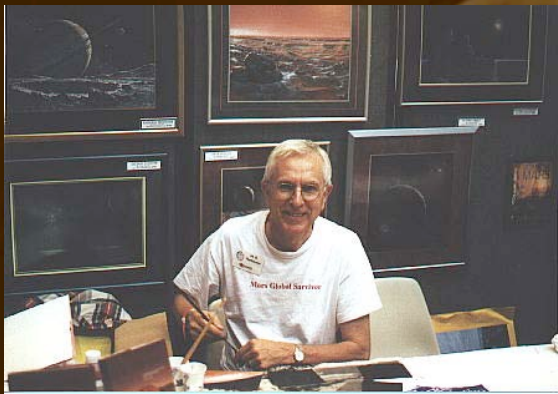
Sherlock Holmes, ese gran detective de la ficción afirmó una vez:

*“Cuando has eliminado todo lo imposible,
lo que queda, por improbable que parezca,
debe ser la verdad”*



El origen de la Luna

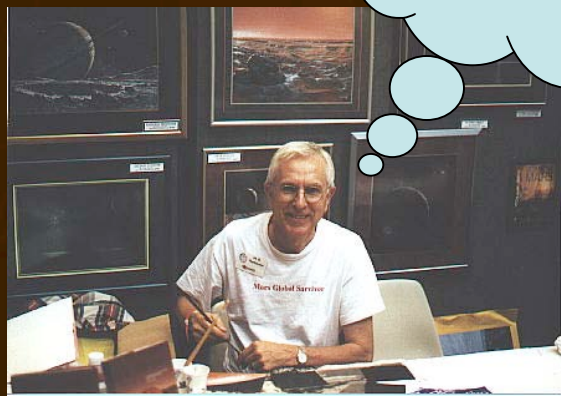
En 1975, un joven (en aquella época) investigador americano, *William Hartmann*, propuso una teoría que para muchos era una “idea chiflada”.



William K. Hartmann

El origen de la Luna

En 1975, un joven (en aquella época) investigador americano, *William Hartmann*, propuso una teoría que para muchos era una “idea chiflada”.



William K. Hartmann

Y ¿qué tal si le arrancamos a la Tierra un pedazo de manto y corteza y con esto formamos a la Luna?

Con esto la Tierra y la Luna tendrían la misma composición, pero la Luna tendría muy pocos metales.

El origen de la Luna

Pero, ¿no habíamos dicho ya que la teoría de fisión no funciona?



Si, pero en la teoría original de fisión era la rotación la que desprendía a la Luna y es por esto mismo que esta teoría no funciona.

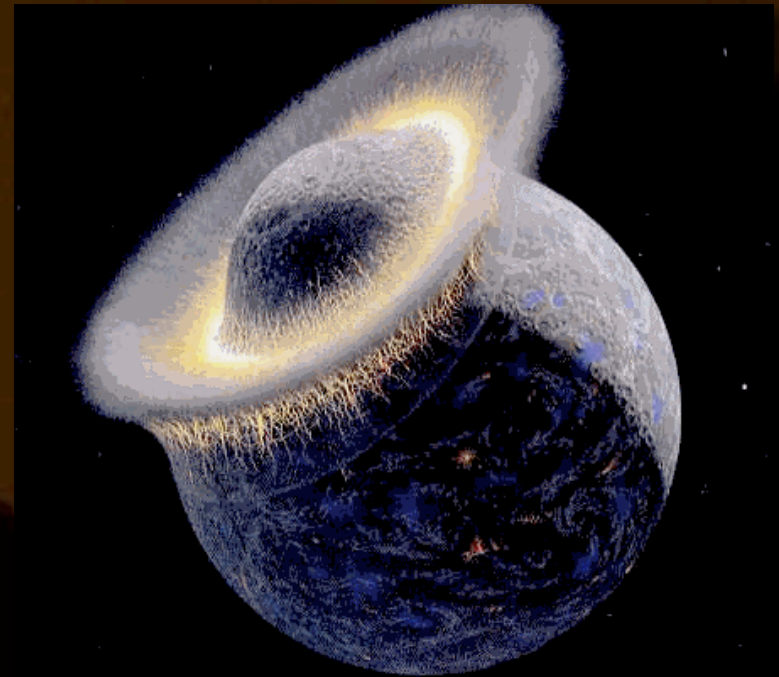


El origen de la Luna

¿Qué tal si usamos algo diferente para desprender a la Luna?

¡Algo como el choque con un asteroide enorme!

Solo que el asteroide tendría que ser tan enorme que sería mas bien un planetóide, ¡como del tamaño de Marte!



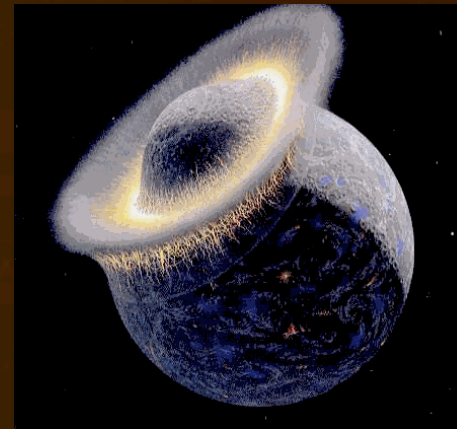
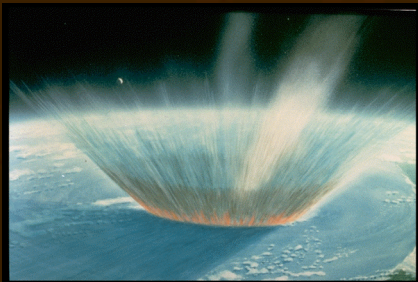
El origen de la Luna

La idea de Hartmann fue recibida con mucho escepticismo



El origen de la Luna

Después de todo, estamos hablando de un objeto ¡gigantesco!



Para ponerlo en perspectiva, el asteroide que se cree propició la extinción de los dinosaurios se estima que tenía 10 kilómetros de diámetro.

El objeto que necesitaba Hartmann era del tamaño de Marte, o sea como la mitad del diámetro de la Tierra

El origen de la Luna

Sin embargo, recordemos que los planetas se forman a partir de colisiones de objetos más pequeños



El origen de la Luna

Un astrónomo muy respetado, Alastair Cameron decidió investigar si la idea de Hartmann era algo factible

La herramienta que usó Cameron fue la computadora. El realizó una serie de simulaciones del choque entre objetos del tamaño de la Tierra y de Marte.

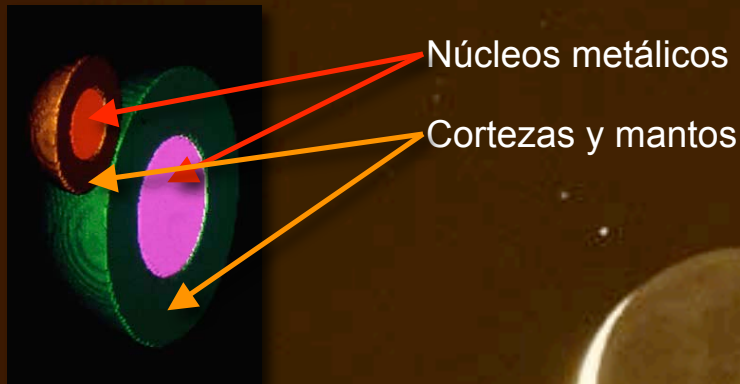


Alastair Cameron



El origen de la Luna

Cameron y otros investigadores descubrieron que arreglando la colisión de cierta manera, ¡podían arrancarle a la Tierra un trozo de manto y corteza sin afectar el núcleo metálico.



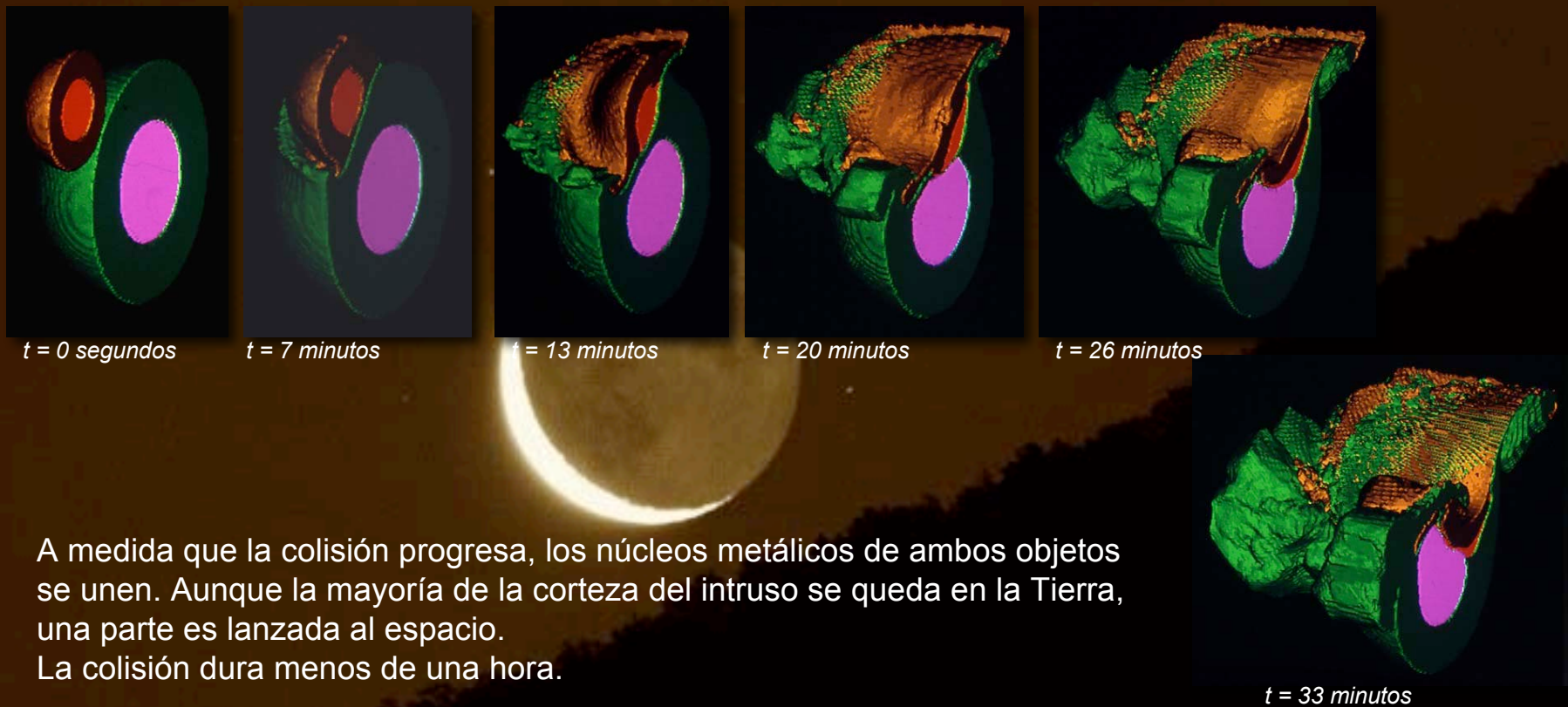
t = 0 segundos



El origen de la Luna

Cameron y otros investigadores descubrieron que arreglando la colisión de cierta manera, ¡podía arrancarle a la Tierra un trozo de manto y corteza sin afectar el núcleo metálico.

Simulación realizada por J. Melosh (U. de Arizona)



A medida que la colisión progresa, los núcleos metálicos de ambos objetos se unen. Aunque la mayoría de la corteza del intruso se queda en la Tierra, una parte es lanzada al espacio. La colisión dura menos de una hora.

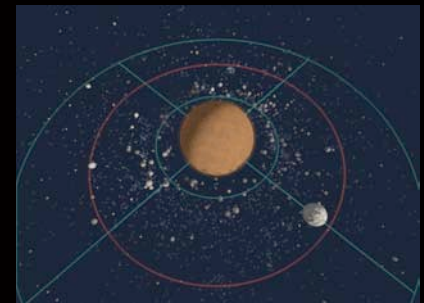
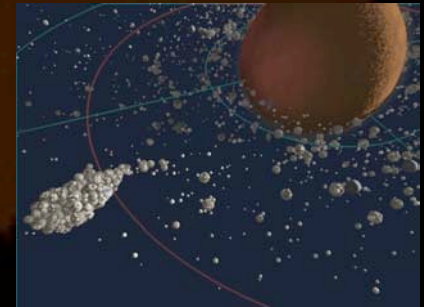
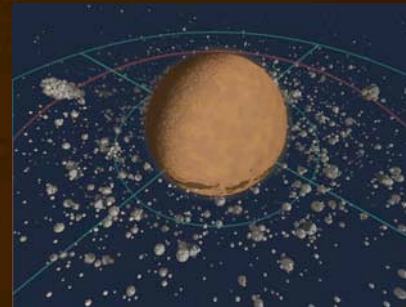
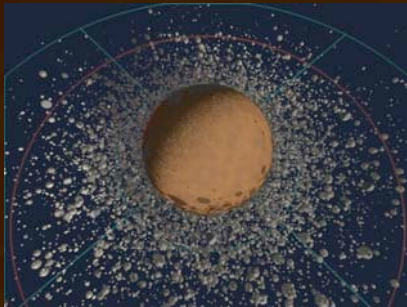
El origen de la Luna

Pero y ¿qué pasa con el material que es arrojado al espacio?

Simulaciones posteriores revelaron que este material forma un anillo alrededor de la Tierra.

Sin embargo, en poco tiempo se forma un objeto del tamaño de la Luna que barre todo el material en el anillo.

¡La Luna ha nacido!



Simulación de Eiichiro Kokubo. Observatorio Astronómico de Japón

El origen de la Luna

Estudios muy detallados han mostrado que la “idea chiflada” puede no solo explicar los resultados obtenidos del análisis de las rocas lunares y de los sismógrafos en la Luna, sino que puede explicar muchas cosas más:

- Bajo contenido de agua y materiales volátiles en la Luna
- Edad de la Tierra y la Luna
- Velocidad de rotación de la Tierra
- Distancia actual entre la Tierra y la Luna



La teoría del impacto se ha convertido en el modelo más aceptado para explicar el origen de la Luna.

De hecho, ya hasta se le dio nombre al planetoide que chocó con la Tierra:

Theia

El origen de la Luna

Al planetoide que chocó con la Tierra para dar lugar a la Luna se le ha dado el nombre de *Theia*.

Theia era una titán de la mitología griega. Fue la madre de Selene, diosa de la Luna.



Theia

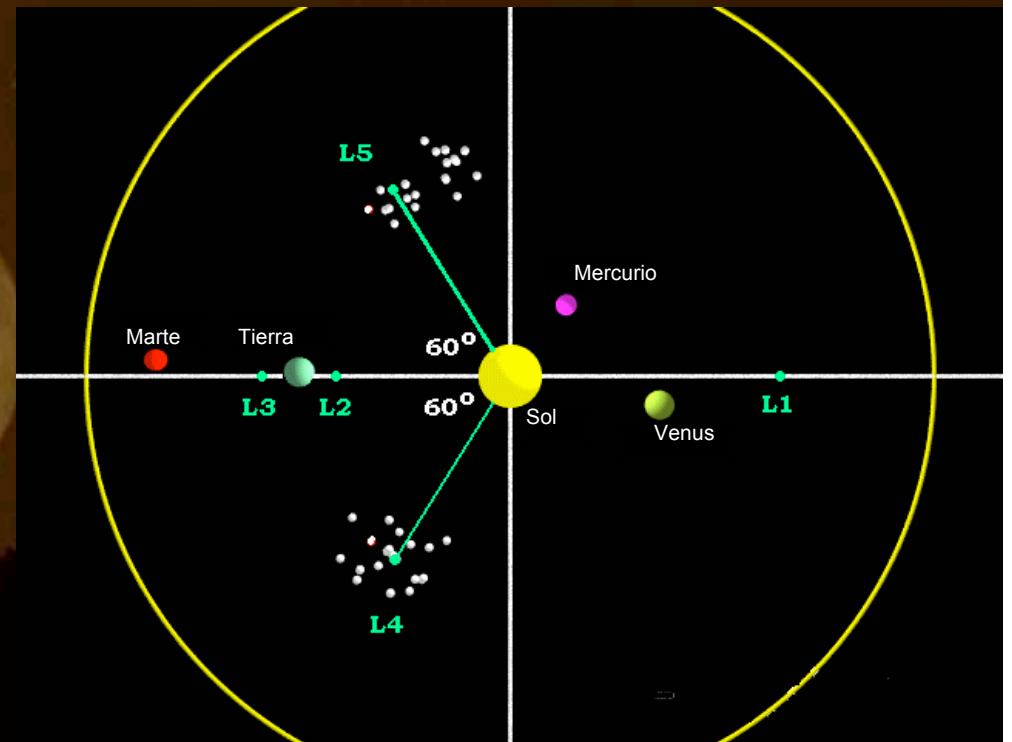


Selene en un mosaico ateniense del siglo V antes de nuestra era

El origen de la Luna

Y ¿de dónde salió Theia?

En el sistema Tierra-Sol, existen 5 puntos, llamados *puntos de Lagrange*, donde las fuerzas de gravitación de la Tierra y el Sol, así como la acción centrífuga de rotación se cancelan y un objeto en esos puntos no experimenta fuerza alguna.

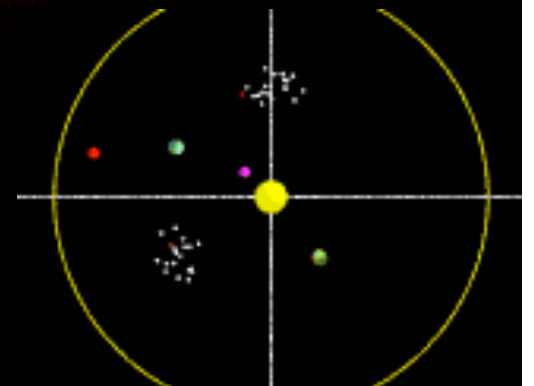


El origen de la Luna

Y ¿de dónde salió Theia?

Dos de los puntos de Lagrange, en particular, son estables. Esto quiere decir que asteroides situados en estos puntos pueden permanecer ahí indefinidamente y crecer con el tiempo por medio de colisiones.

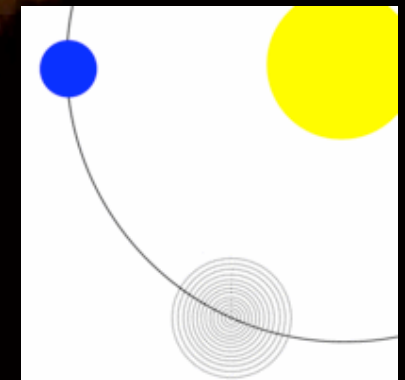
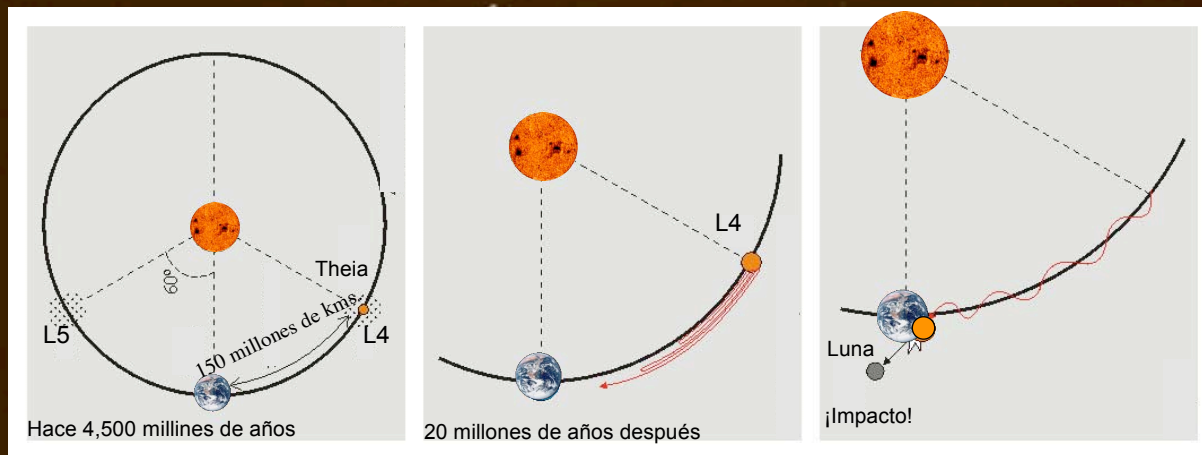
Estos puntos forman triángulos equiláteros con la Tierra y el Sol en los otros vértices del triángulo.



El origen de la Luna

Y ¿de dónde salió Theia?

Se cree que Theia creció en uno de estos puntos estables. Sin embargo, al crecer, su fuerza de gravedad desestabilizó el sistema y Theia empezó a oscilar alrededor de su punto de equilibrio hasta que chocó con la Tierra.



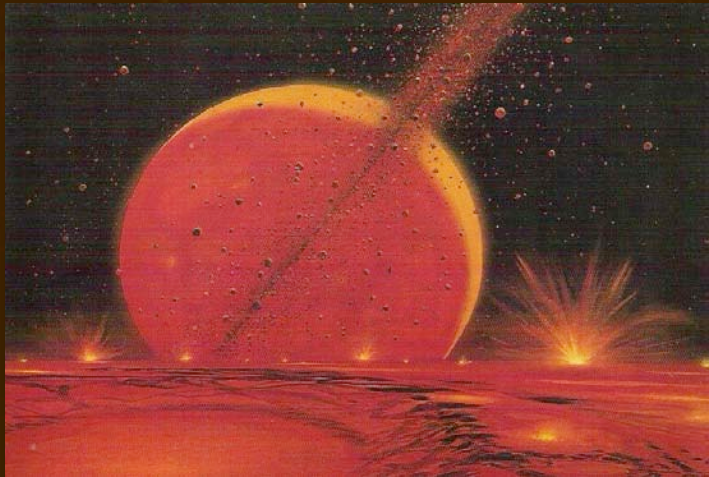
El origen de la Luna

El impacto ocurrió cuando la Tierra tenía menos de 100 millones de años. Como comparación, esto es análogo a algo que le ocurre a una persona de 46 años cuando tenía meses de edad.



El origen de la Luna

El impacto derritió toda la corteza terrestre. La Tierra estaba cubierta por un océano de lava.



El origen de la Luna

Al momento de su formación, la Luna estaba a una distancia de solo 1.2 veces el diámetro de la Tierra.

Debido al impacto, la Tierra giraba tan rápido que un día duraba alrededor de 6 horas.



El origen de la Luna

La Luna estaba tan cerca, que su tamaño aparente en el cielo era 44 veces más grande



© Jim Cline, 2003
Jim Cline 2002

El origen de la Luna

Con el tiempo, la superficie de la Tierra se enfrió ...



National Geographic

El origen de la Luna

Con el tiempo, la superficie de la Tierra se enfrió,
y mucho, muchísimo tiempo después, la vida apareció.



National Geographic



National Geographic

El origen de la Luna

Hace como un millón de años aparecieron unas criaturas extrañas que con el tiempo empezaron a preguntarse ¿qué es ese objeto brillante que ilumina el cielo nocturno?



FIN

