

07 - La Luna

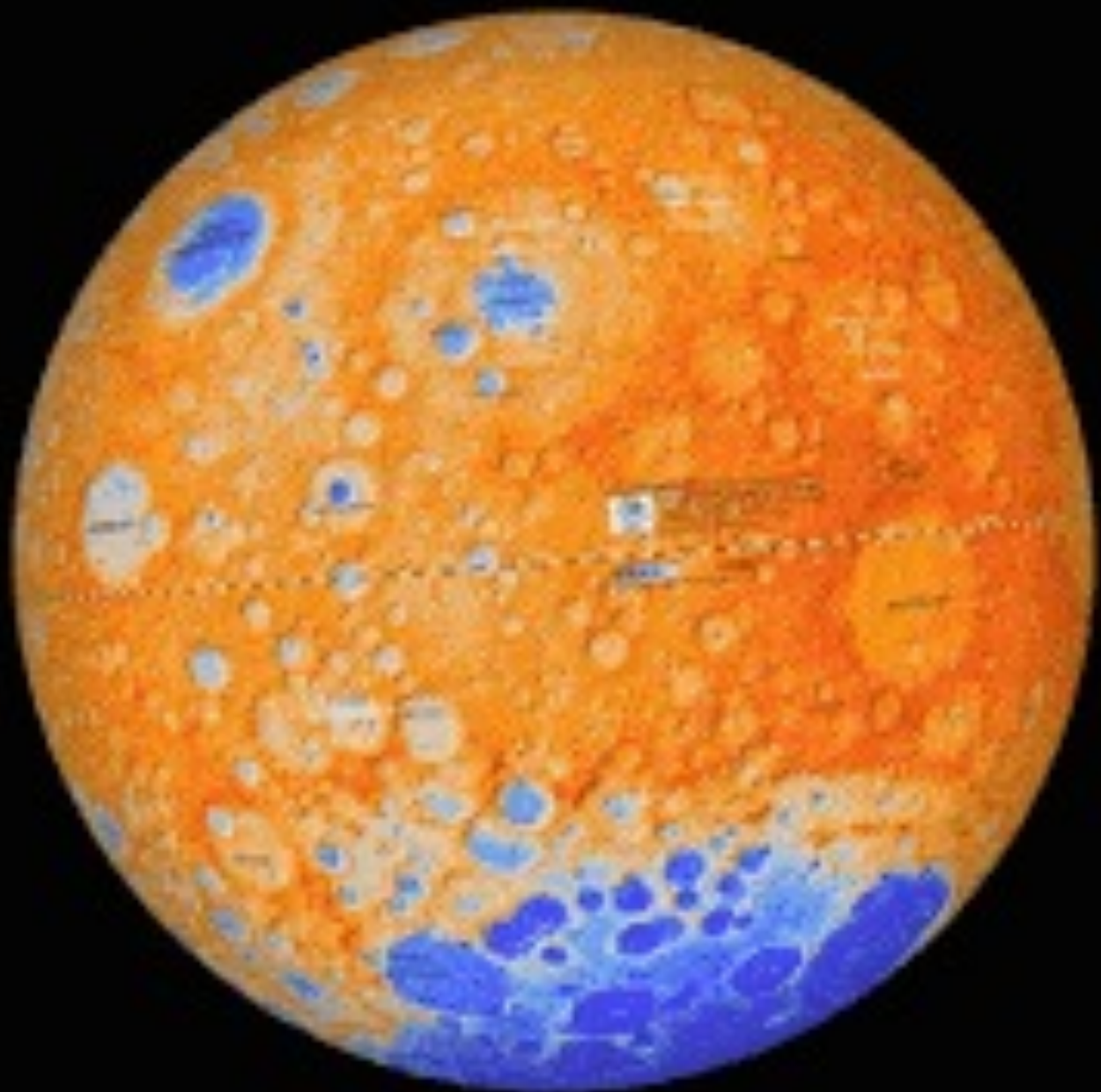
Tamaños



La Luna ☾

- Distancia promedio entre Tierra y Luna = 3.8×10^8 m (~1.3 segundos de luz)
- Radio $R_{\text{L}} = 1.7 \times 10^6$ m
- Masa $M_{\text{L}} = 7.3 \times 10^{25}$ g
- Período de rotación = período orbital 27.3 días
- $M_{\text{E}}/M_{\text{L}} = 81$
- $R_{\text{E}}/R_{\text{L}} = 4$

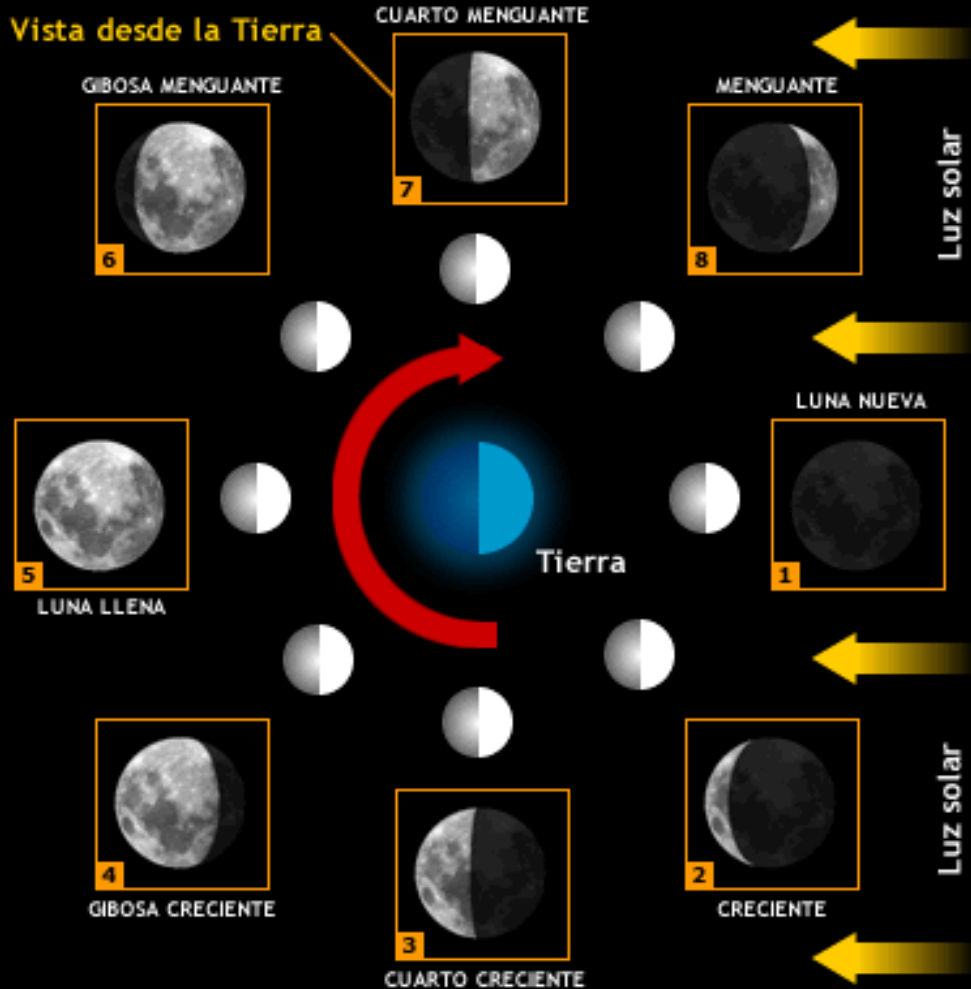




Fases de la Luna

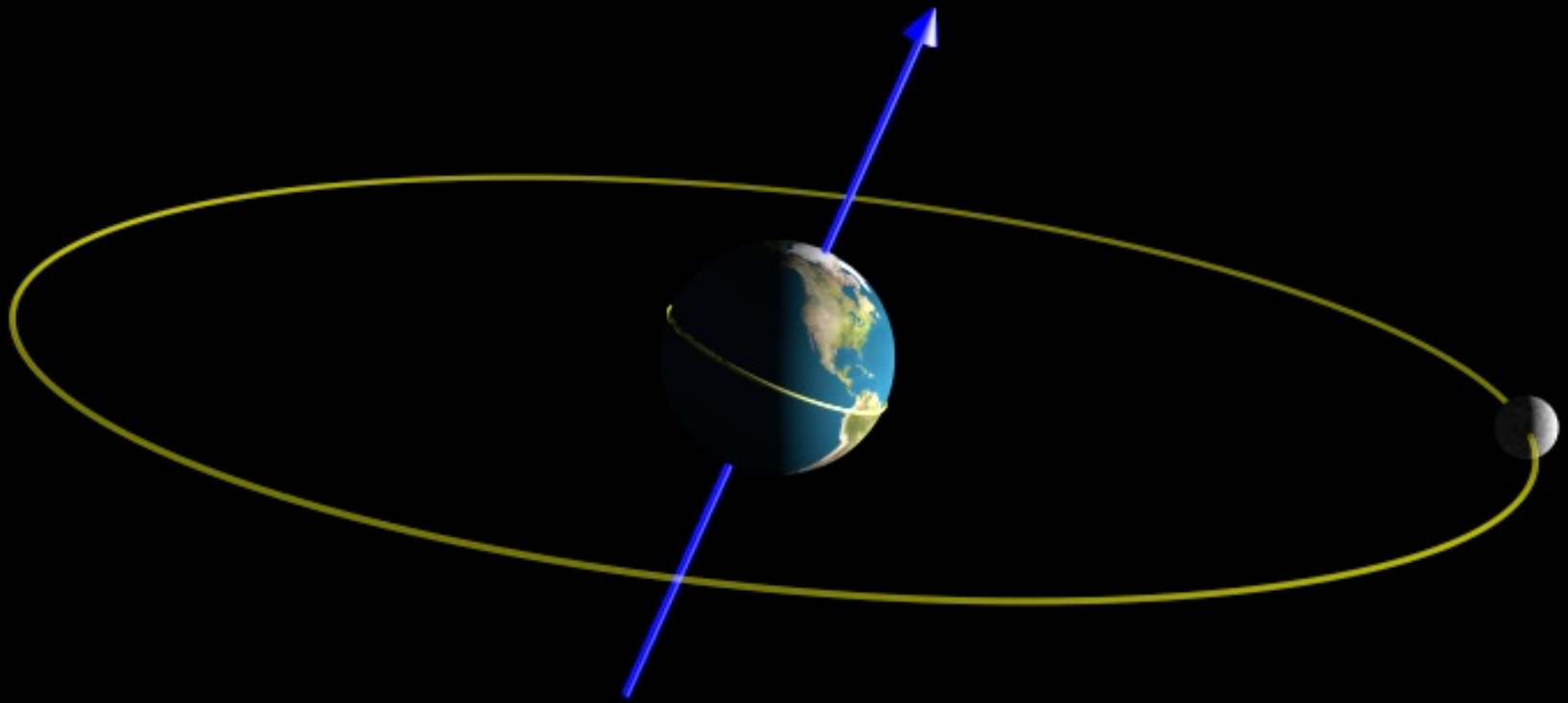
Las fases de la Luna

La perspectiva desde el Hemisferio Sur terrestre



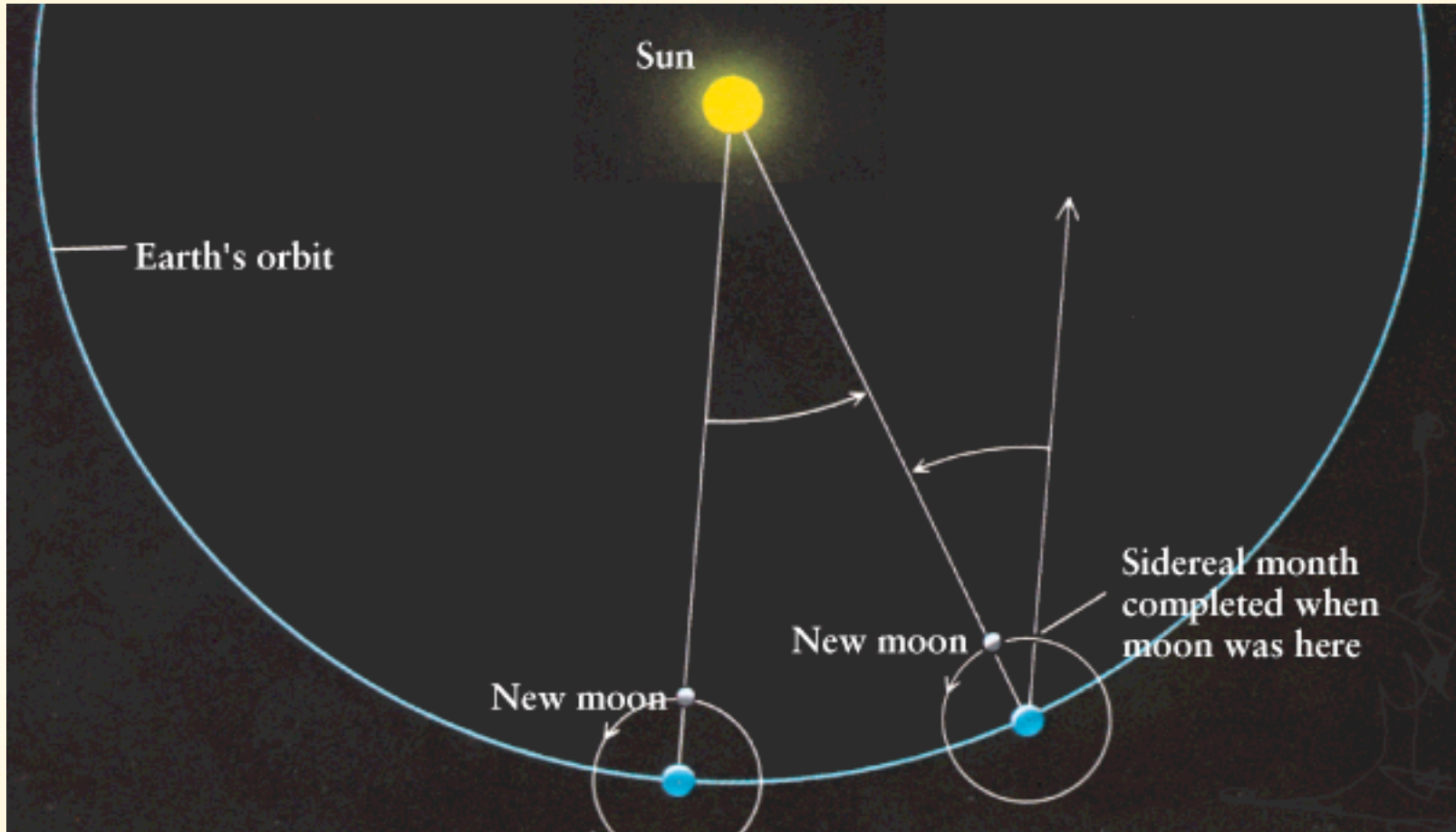
La Luna necesita 27,3 días para girar una vez alrededor de la Tierra.

Pero el tiempo entre dos lunas llenas es 29.5 días.



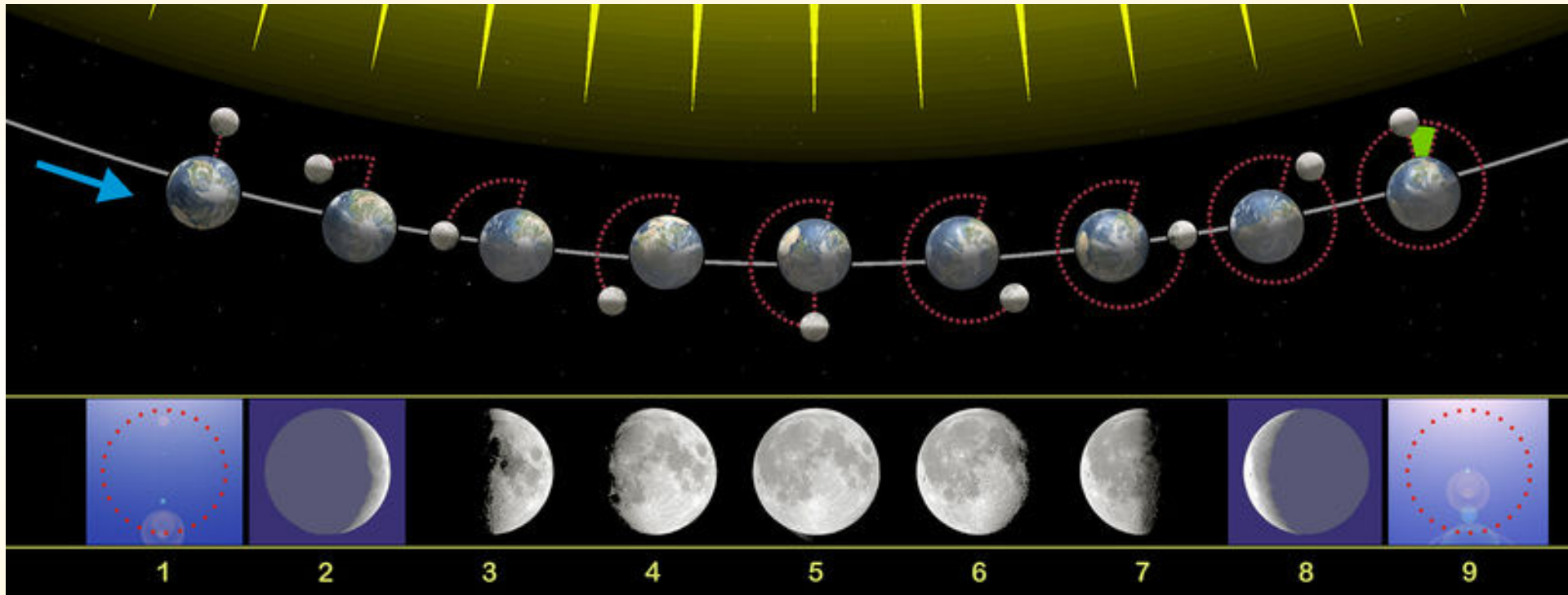


Mes Sideral vs. Sinódico



Mes sideral = 27.3 dias

Mes sinodico = 29.5 dias

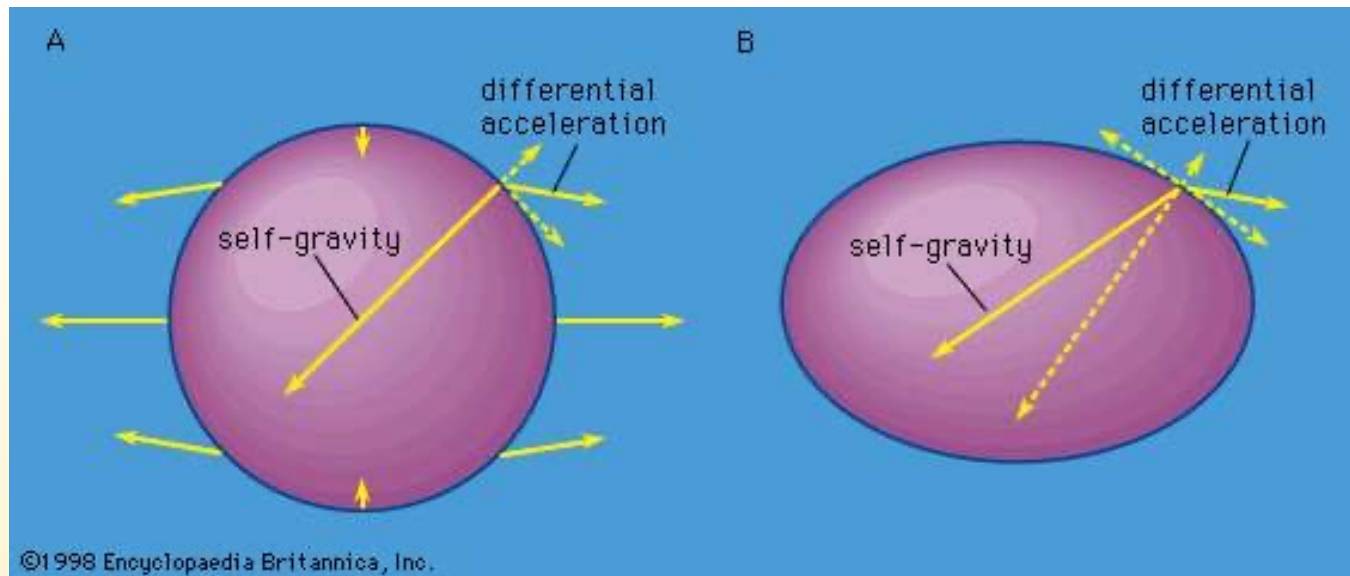


¿Qué son las mareas?



Definición General:

Una marea es una **distorsión** en la forma de un cuerpo inducida por la atracción gravitacional de otro objeto cercano.



Específicamente en la Tierra, el término marea también se usa para describir **el aumento y la caída del nivel del mar** causados principalmente por los efectos combinados de las fuerzas gravitacionales ejercidas por la Luna y el Sol.





Atracción gravitacional de la Luna



Para simplificar, examinaremos solo el efecto de la Luna.

$$F = \frac{GM_{Tierra}M_{Luna}}{d^2} = aM_{Tierra}$$

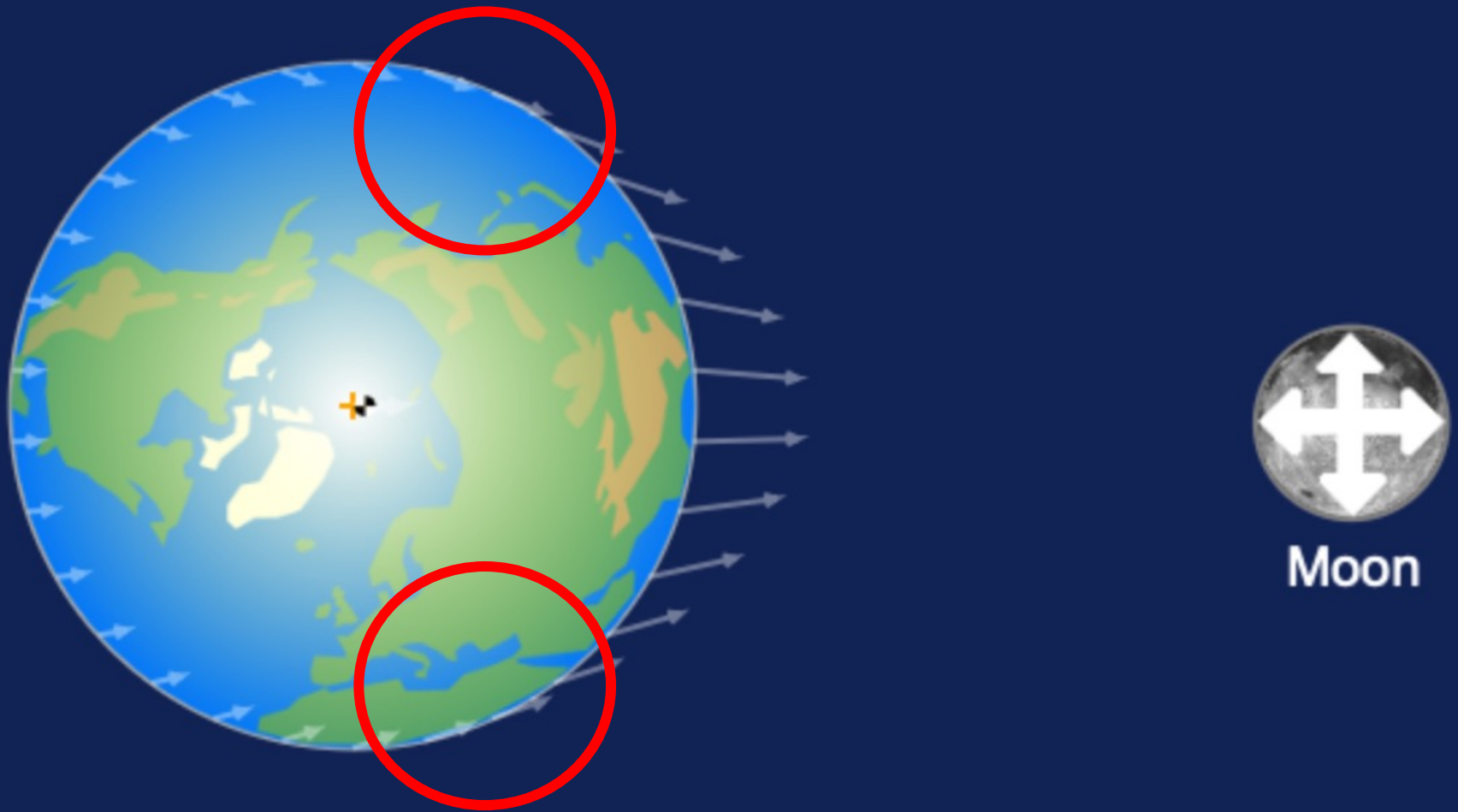
Calculamos la aceleración de un cuerpo que yace en la superficie de la Tierra debido a la atracción gravitacional de la Luna:

$$a_g = G \cdot \frac{m_{Luna}}{d^2} = 6.675 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \frac{7.349 \cdot 10^{22} kg}{(385000 \cdot 1000m)^2} = 3.31 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s^2}$$

La aceleración gravitacional causada por la Tierra actuando sobre cada cuerpo en la superficie es $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

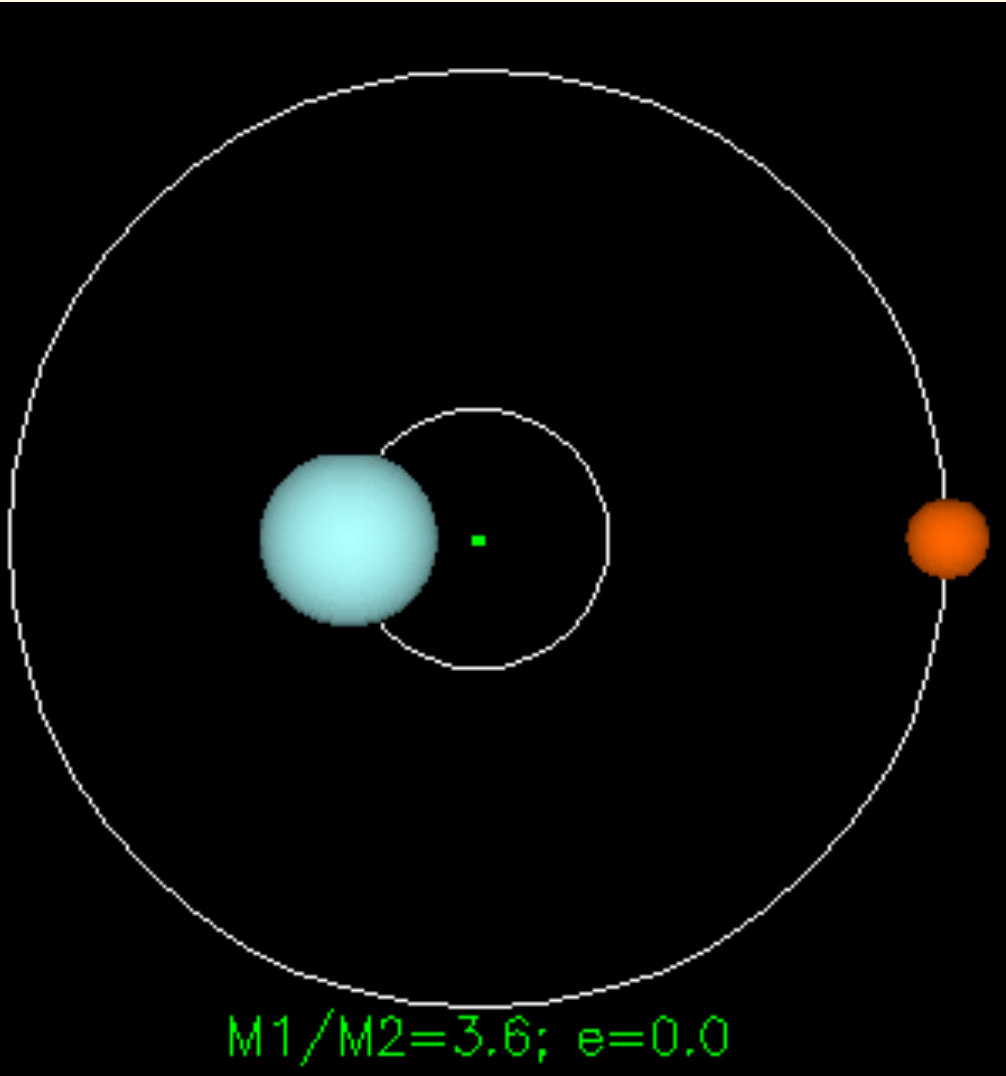
Esto es mucho más de lo que causa la Luna.

Por lo tanto, la luna no puede levantar agua de la superficie.



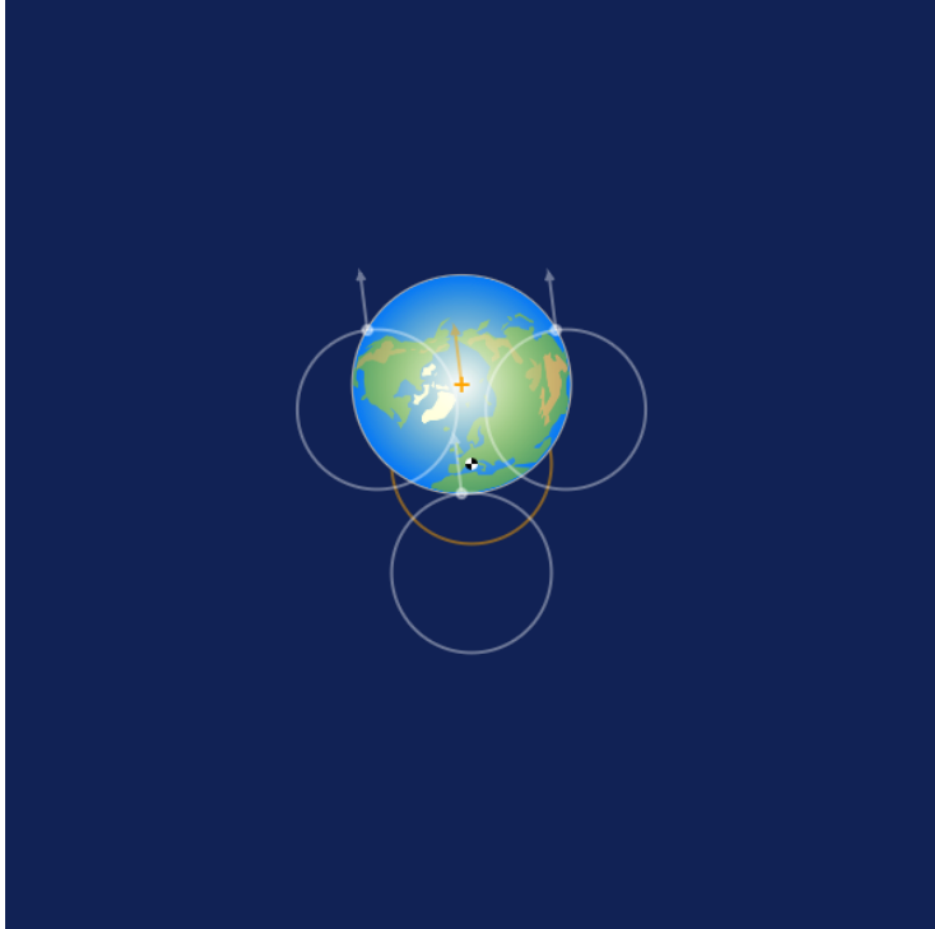
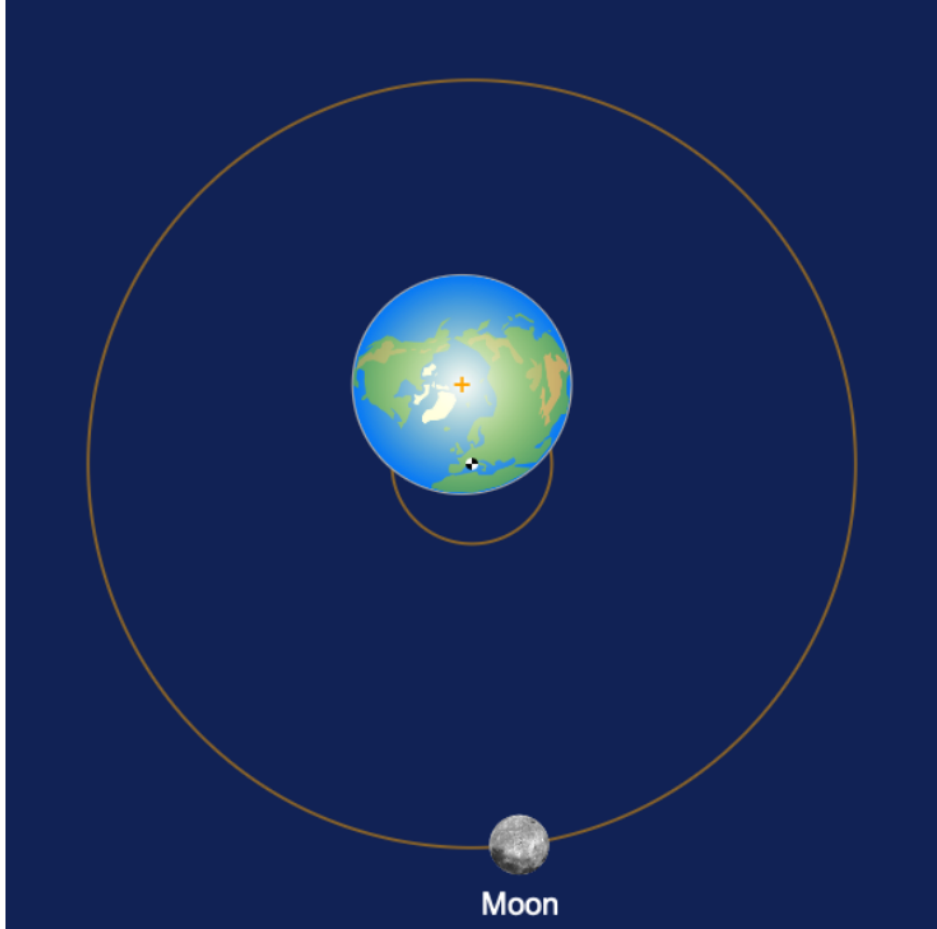
Pero la luna podría atraer agua hacia ella.
Esto provocaría un abultamiento de marea único en el
lado de la Tierra hacia la Luna.

La Luna orbita alrededor de la Tierra.



NO

En realidad, tanto la Tierra como la Luna orbitan alrededor de su centro de masa común.



La distancia promedio de la Luna y la Tierra es de 385000 km. La distancia del centro de masa común desde el centro de la Tierra se puede calcular con la siguiente ecuación:

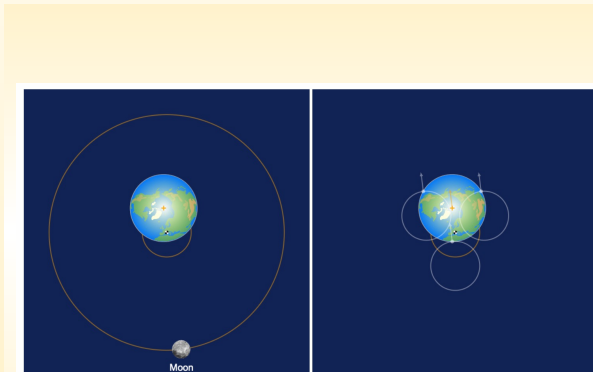
$$r_{cm} = 385000km \cdot \frac{m_{Luna}}{m_{Tierra} + m_{Luna}} = 4678km$$

Lo primero que podemos notar es que el centro de masa común del sistema Luna-Tierra todavía está dentro de la Tierra a una profundidad de 1700 km debajo de la superficie terrestre.

Si ahora trazamos un punto en la superficie de la Tierra, descubriremos que cada punto sigue un camino circular con el mismo radio que la distancia entre el centro de la Tierra y el centro de masa común. Cada uno de estos caminos tiene un centro diferente.

El centro de la Tierra describe una órbita de radio r_{cm}
casi circular alrededor del centro de masa común con
la **velocidad angular** ω .

$$\omega = \frac{2\pi}{27.32 \cdot 86400s} = 2.662 \cdot 10^{-6} \frac{1}{s}$$



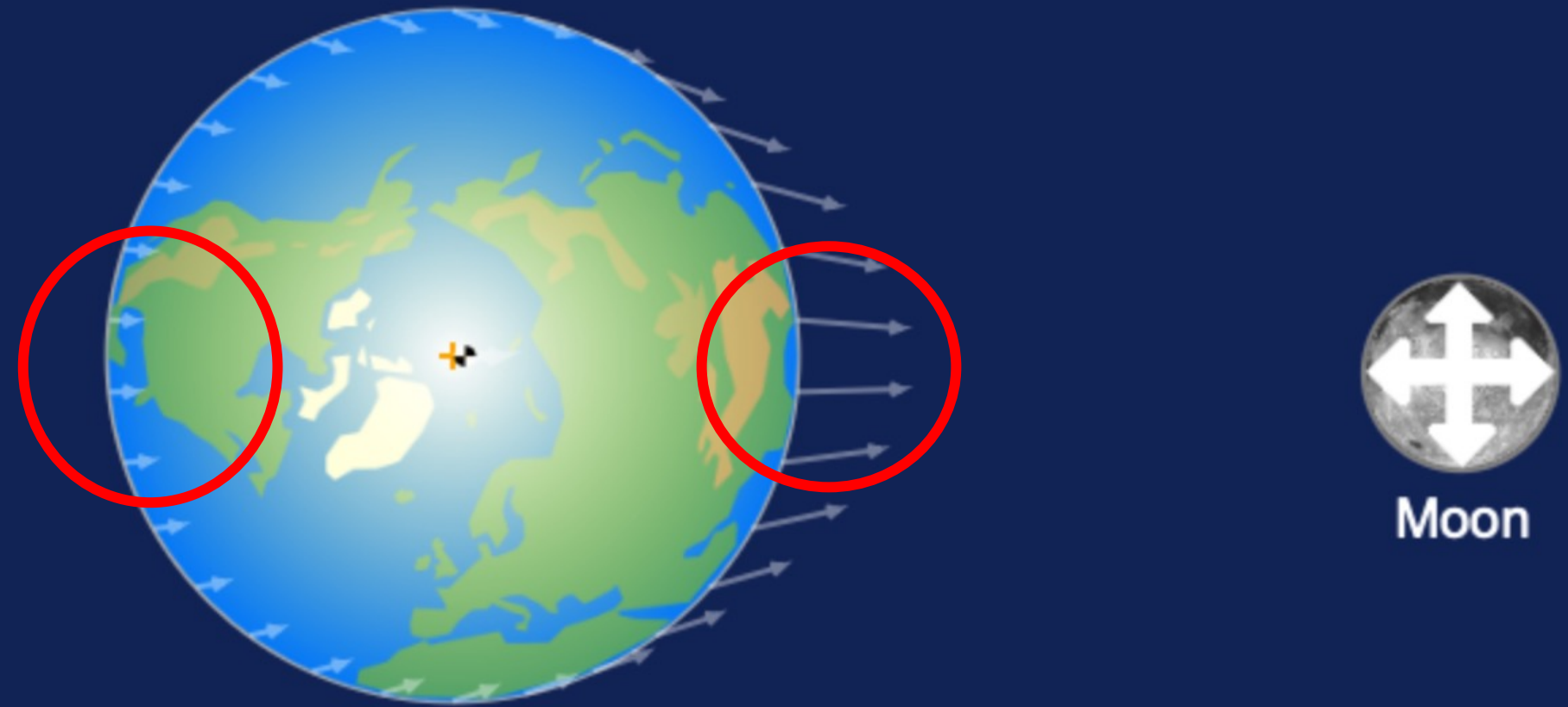
Cada uno de los puntos en y dentro de nuestra Tierra (no giratoria) está experimentando la misma

aceleración centrífuga de

$$a_{cf} = \omega^2 \cdot r_{cm}$$

$$a_{cf} = \left(2.662 \cdot 10^{-6} \frac{1}{s} \right)^2 \cdot 4678 \cdot 1000m = 3.31 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s^2}$$

Esta es exactamente la misma aceleración que la fuerza gravitacional de la Luna. Entonces estas dos fuerzas están en perfecto equilibrio y ni la Luna choca contra la Tierra ni la Tierra cae hacia la Luna.

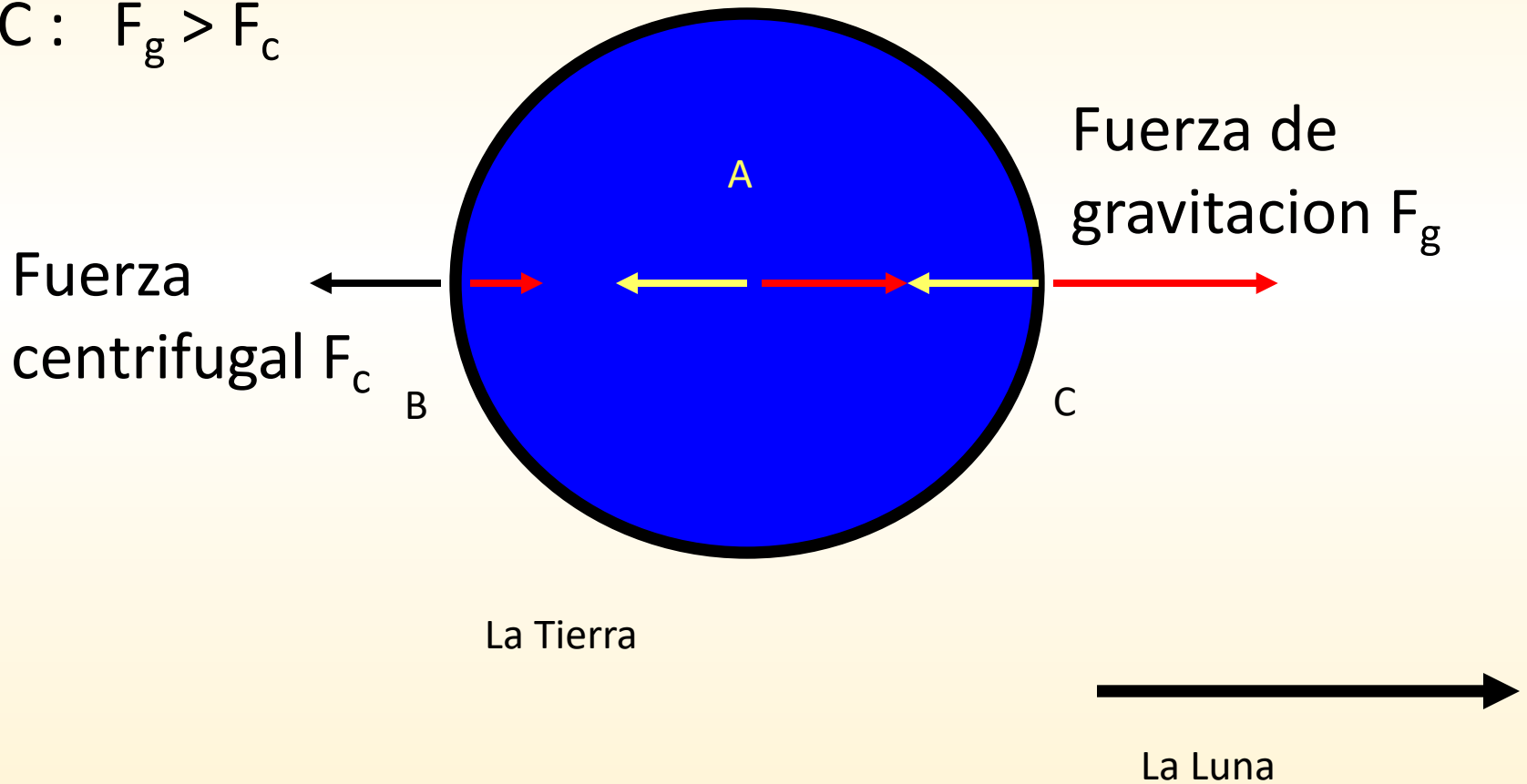


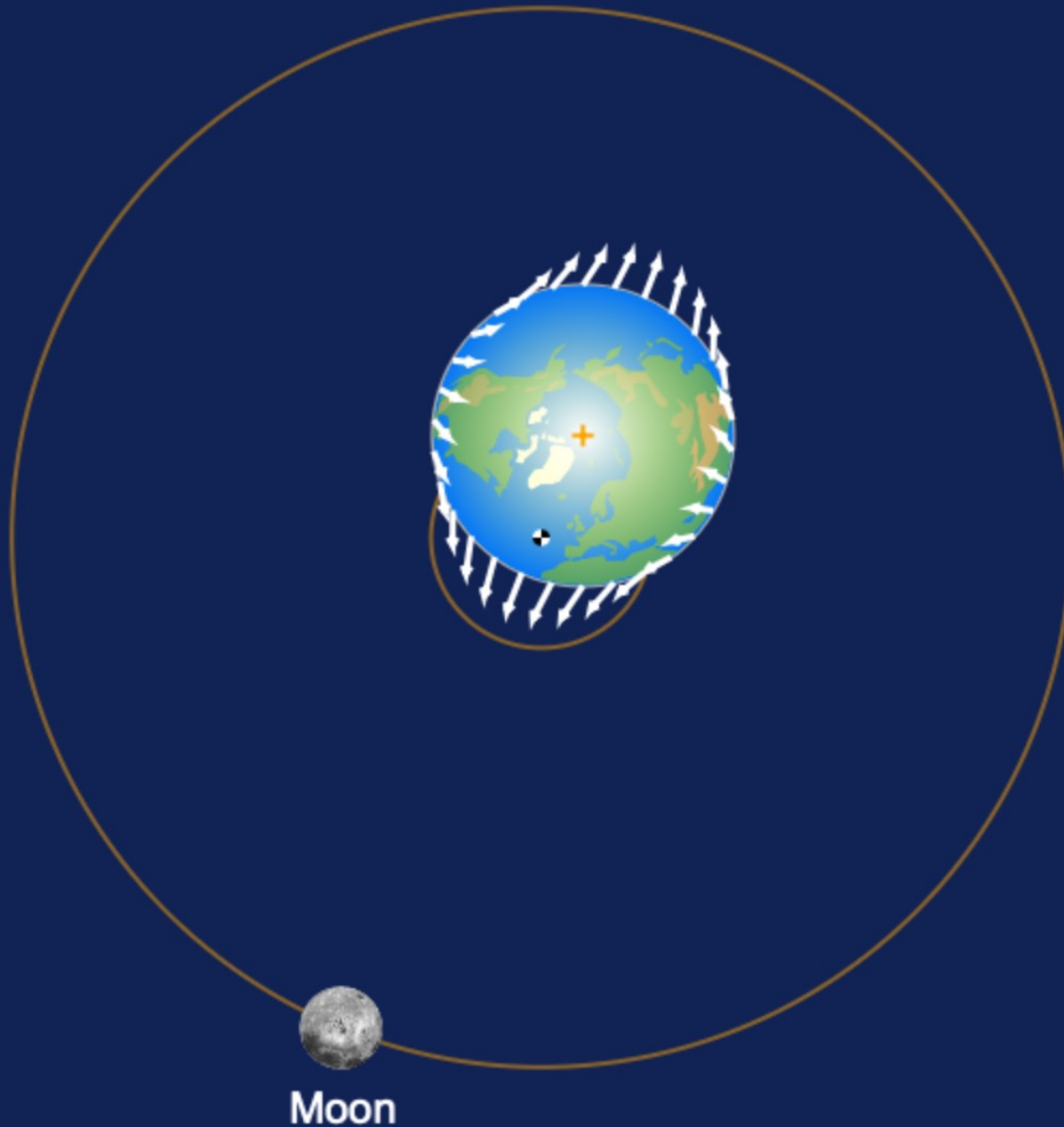
Si bien la aceleración centrífuga es la misma en cualquier punto de la Tierra, la gravedad de la Luna es diferente en cada punto según su distancia a la Luna.

A : $F_g = F_c$

B : $F_g < F_c$

C : $F_g > F_c$





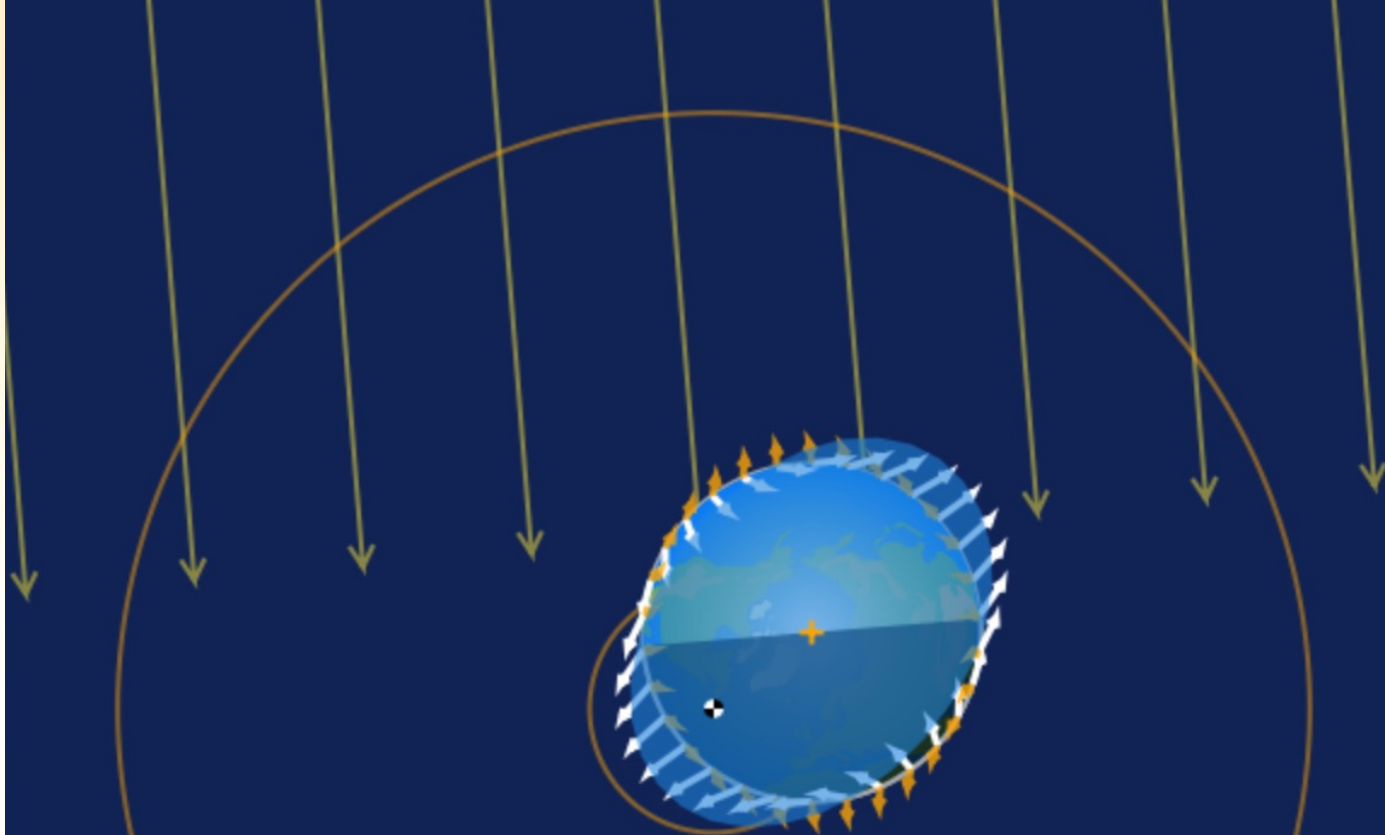
Aquí vemos las aceleraciones combinadas de ambas fuerzas y es claramente visible que obtenemos DOS bultos de marea.

La Tierra necesita 24 horas para completar una rotación alrededor de su eje. La Luna tarda 27.32 días en completar una sola órbita alrededor de la Tierra. En un solo día, la Luna recorre una distancia angular de:

$$360^{\circ} / 27.32d = 13.18^{\circ}$$

En consecuencia, un lugar en la Tierra tendrá la misma posición con respecto a la Luna después de 24 horas y 52 minutos.

Observar el tiempo entre dos eventos de marea alta o baja en la mayoría de los sitios oceánicos en la Tierra produce 12 horas y 25 minutos. Eso es casi exactamente la mitad del número anterior - entonces existen 2 bultos de marea.



Los mismos principios explicados aquí también se aplican al efecto gravitacional del Sol en la Tierra.

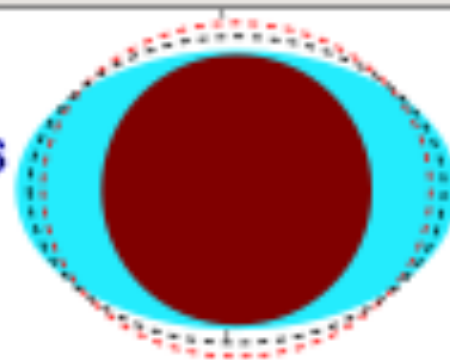
Moon El efecto de marea causado por el Sol es un poco más pequeño que el efecto causado por la Luna.



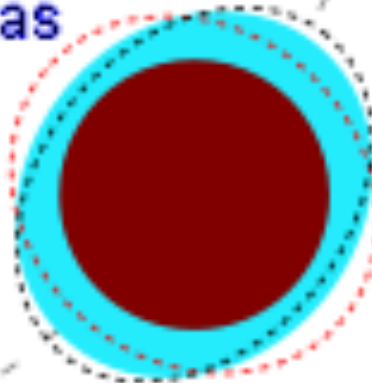
Si el Sol, la Luna y la Tierra están alineados a lo largo de una línea recta, la aceleración de las mareas es más fuerte ya que los efectos de la Luna y el Sol se suman (**mareas vivas**).

Si el Sol, la Tierra y la Luna están formando un triángulo de 90 grados, la fuerza de marea es más baja (**mareas muertas**).

Mareas vivas



Mareas muertas



Referencia:

La mayor parte del texto y las imágenes están tomadas de este sitio web:

https://beltoforion.de/article.php?a=tides_explained

El sitio web está en inglés pero traté de traducir la parte importante del texto. Vale la pena visitar el sitio web. La mayoría de las imágenes que uso aquí son de hecho animaciones, que no pude copiar.

Wikipedia:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Marea>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Aceleraci3n de marea](https://es.wikipedia.org/wiki/Aceleraci3n_de_marea)

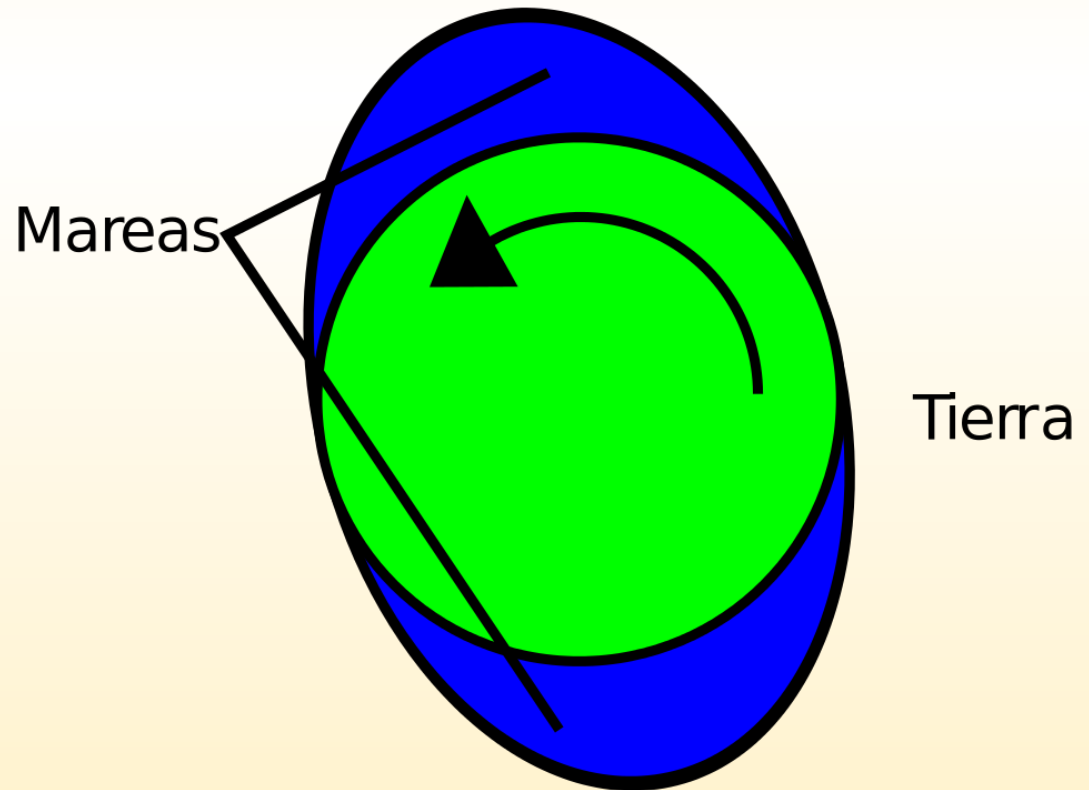
[https://es.wikipedia.org/wiki/Acoplamiento de mar
ea](https://es.wikipedia.org/wiki/Acoplamiento_de_mar_ea)

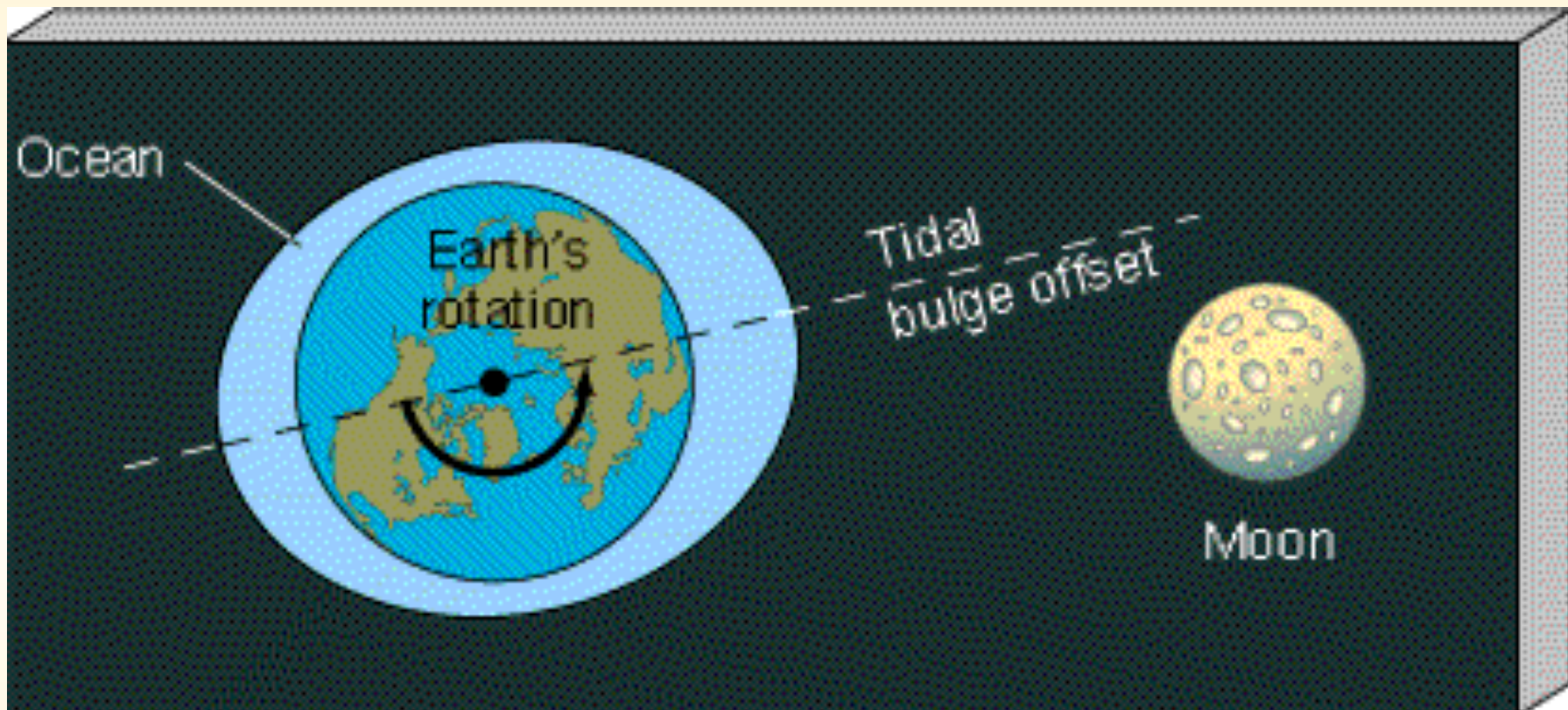
Acoplamiento de marea

Influencia de y sobre la rotación de la Tierra

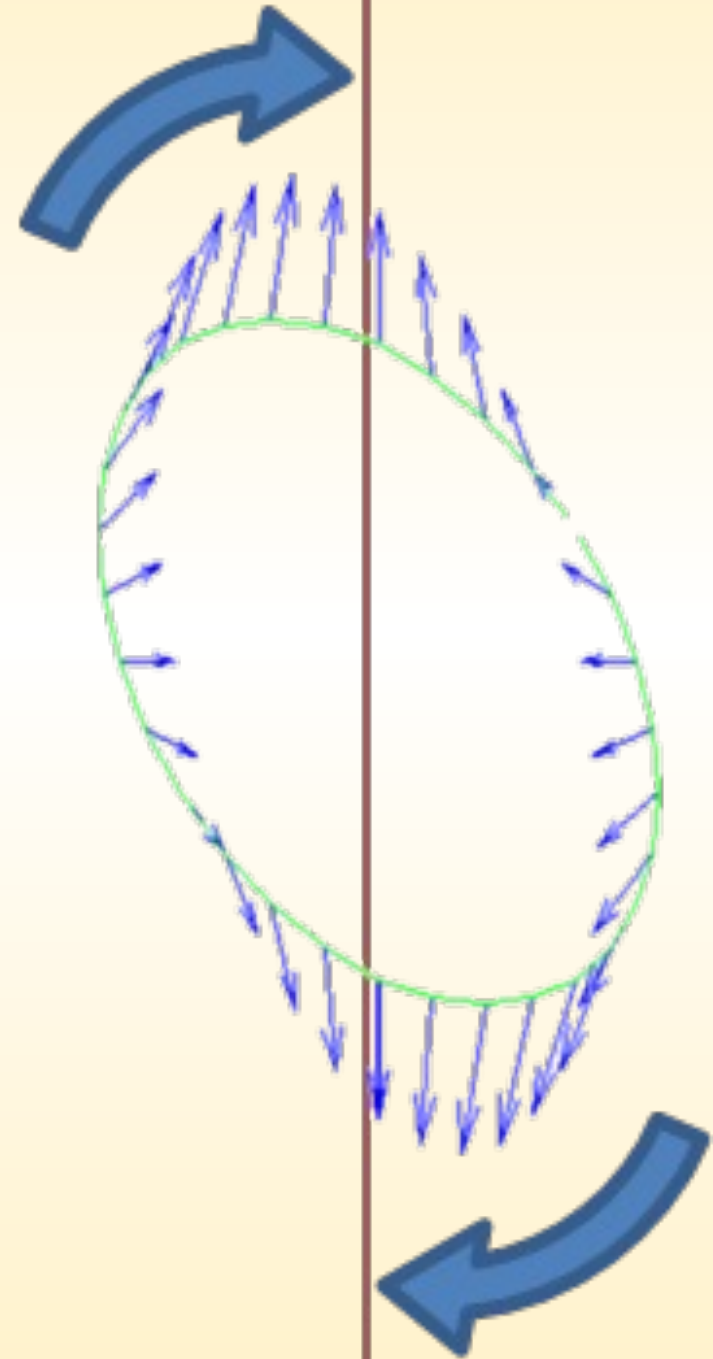


El abultamiento producido por la marea, está sincronizado con la órbita lunar, aunque visualmente, el abultamiento de la marea se dispone algo más adelantado con respecto a la posición lunar, debido al efecto de la rotación terrestre en sentido antihorario.





Este desplazamiento o inclinación del bulto de la marea está causando una fuerza resultante que intenta ralentizar la rotación de la Tierra.



Como consecuencia directa, existe una sustancial cantidad de masa en forma de agua desplazada con respecto a la perpendicular formada por la línea directa entre la Tierra y la Luna, este desfase, entendido como una porción del empuje gravitacional entre la Tierra y la Luna, obliga a este sistema planetario a autorregularse para mantenerse estable, dando lugar con ello a dos consecuencias: la rotación terrestre se desacelera progresivamente (**acoplamiento de mareas**), y la Luna se aleja de la Tierra también progresivamente (constancia del momento angular en el sistema).

Este proceso produce consecuencias más allá de las descritas. Un día solar, cuyo tiempo nominal es de 86400 segundos de duración, está continuamente alargándose con relación a cuando fue establecido por primera vez en el Sistema Internacional de Unidades. A través de relojes atómicos. (La unidad del Segundo, ya era algo más corta en aquel entonces con relación a su valor actual de tiempo astronómico.)

Esta pequeña diferencia, acumulada día tras día, nos lleva a incrementar la diferencia entre el tiempo universal coordinado o UTC, y el tiempo atómico, medido a través de relojes atómicos de gran precisión. Estos desajustes, hacen que cada cierto tiempo haya que realizar un eventual ajuste para resincronizar ambos tiempos.

A parte del efecto de las mareas oceánicas, también existe un componente en la desaceleración terrestre causado por la flexión de la corteza terrestre, aunque tiene un valor dentro del total de la desaceleración producida poco significativo de sólo un 4% diluido, en parte, por la disipación de fuerzas en forma de calor.

Si ignorásemos efectos secundarios de la aceleración de marea, esta aceleración continuaría progresivamente hasta igualar los períodos rotacionales orbitales de la Tierra y la Luna. Esto, eventualmente, haría que la Luna estuviese algo más adelantada del lugar fijo que le correspondería en la Tierra.

Una situación similar a esta, ya se da en el sistema de Plutón y su satélite Caronte.

La aceleración de marea, es uno de los ejemplos en la dinámica del Sistema Solar de la llamada **perturbación secular de una órbita**.

El bulto tidal gira rápidamente y NO está alineado con la Luna. Hay roce en contra de la rotación - el día es 1.6 ms más largo cada siglo.

Para conservar el momento angular, la Luna se aleja ~ 4 cm/yr, y entonces se mueve más lento.

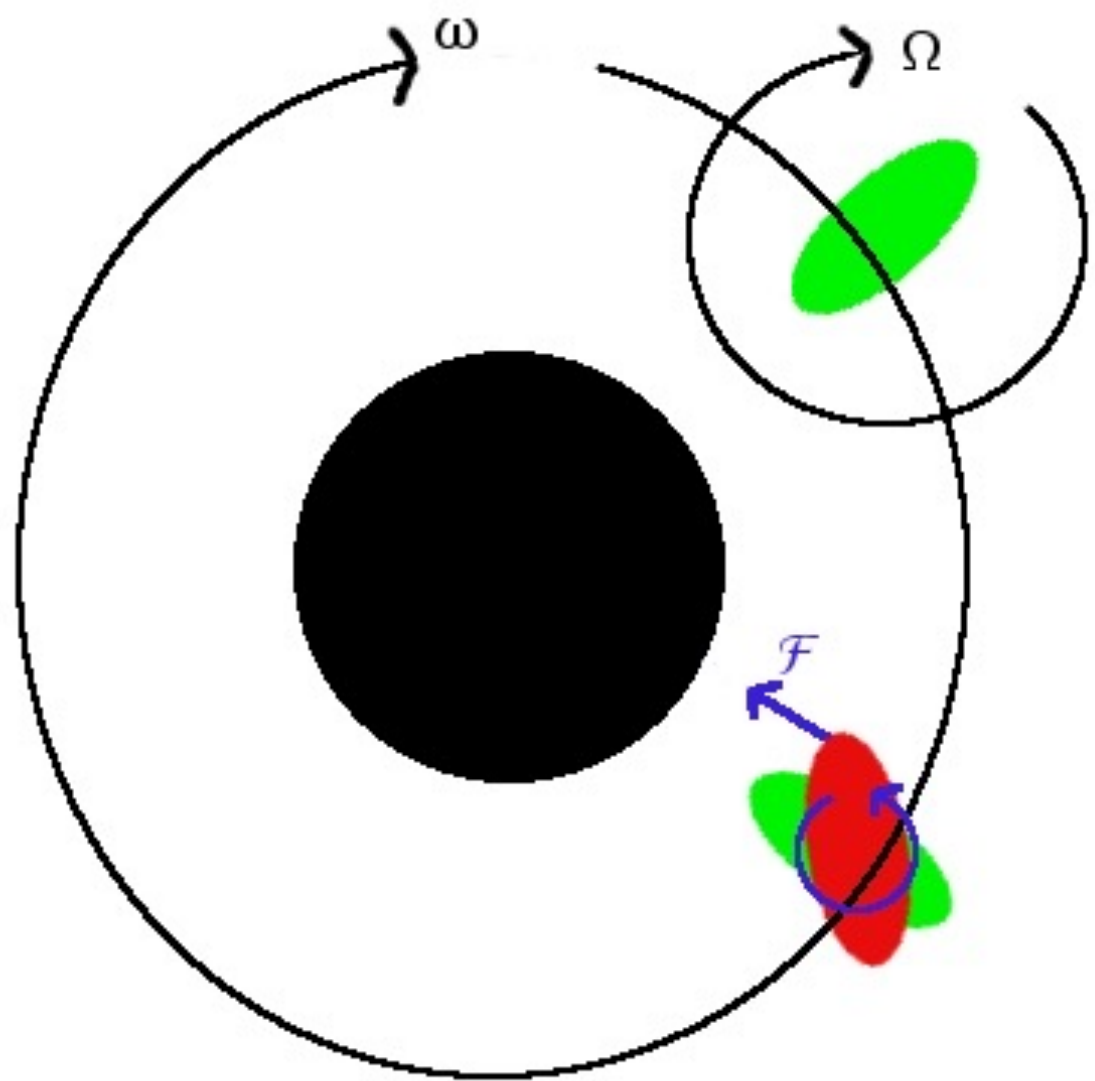
Eventualmente: día=mes (~ 47 'días'): la Luna siempre se ubica por encima del mismo punto.

Acoplamiento de Marea

Hemos visto que obtenemos una deformación de la distribución del agua del océano en la superficie de la Tierra debido a los efectos de las mareas.

Esto, en un grado mucho menor, también es cierto para la Tierra en su conjunto y la Luna en su conjunto.

Los objetos astronómicos no son cuerpos completamente rígidos y se deforman bajo la fuerza gravitacional de otros cuerpos.

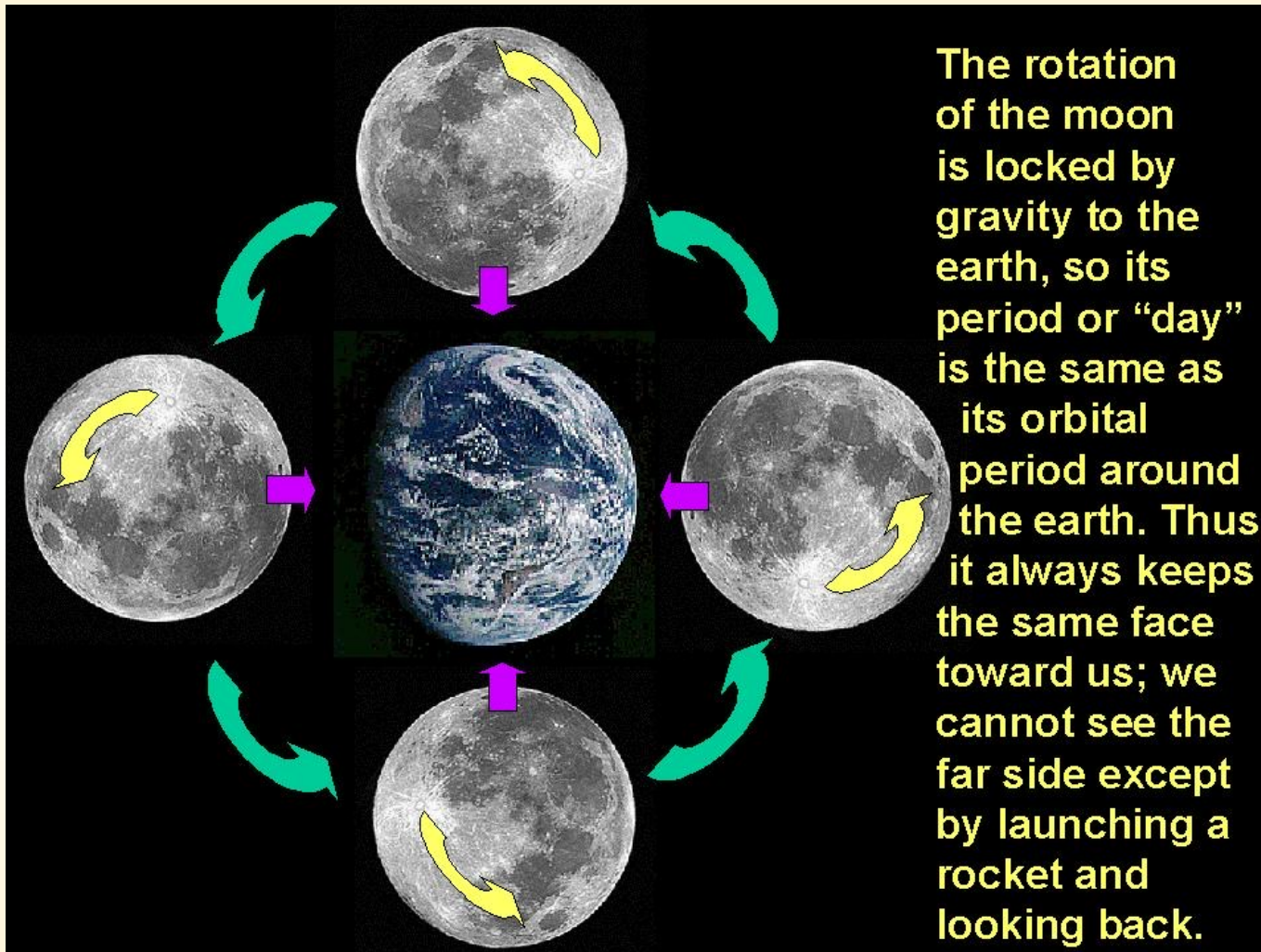


Este efecto del **frenado de mareas** finalmente está conduciendo a un efecto conocido como **acoplamiento de mareas**.

En esa situación, tenemos que el período de rotación es igual al período orbital (**resonancia rotación – órbita** de 1:1) y los cuerpos se enfrentan entre sí siempre con el mismo lado.

Este proceso ya está terminado en el caso de la Luna. Por eso siempre vemos el mismo lado de la Luna. También está terminado en el sistema Plutón-Caronte.





The rotation of the moon is locked by gravity to the earth, so its period or "day" is the same as its orbital period around the earth. Thus, it always keeps the same face toward us; we cannot see the far side except by launching a rocket and looking back.

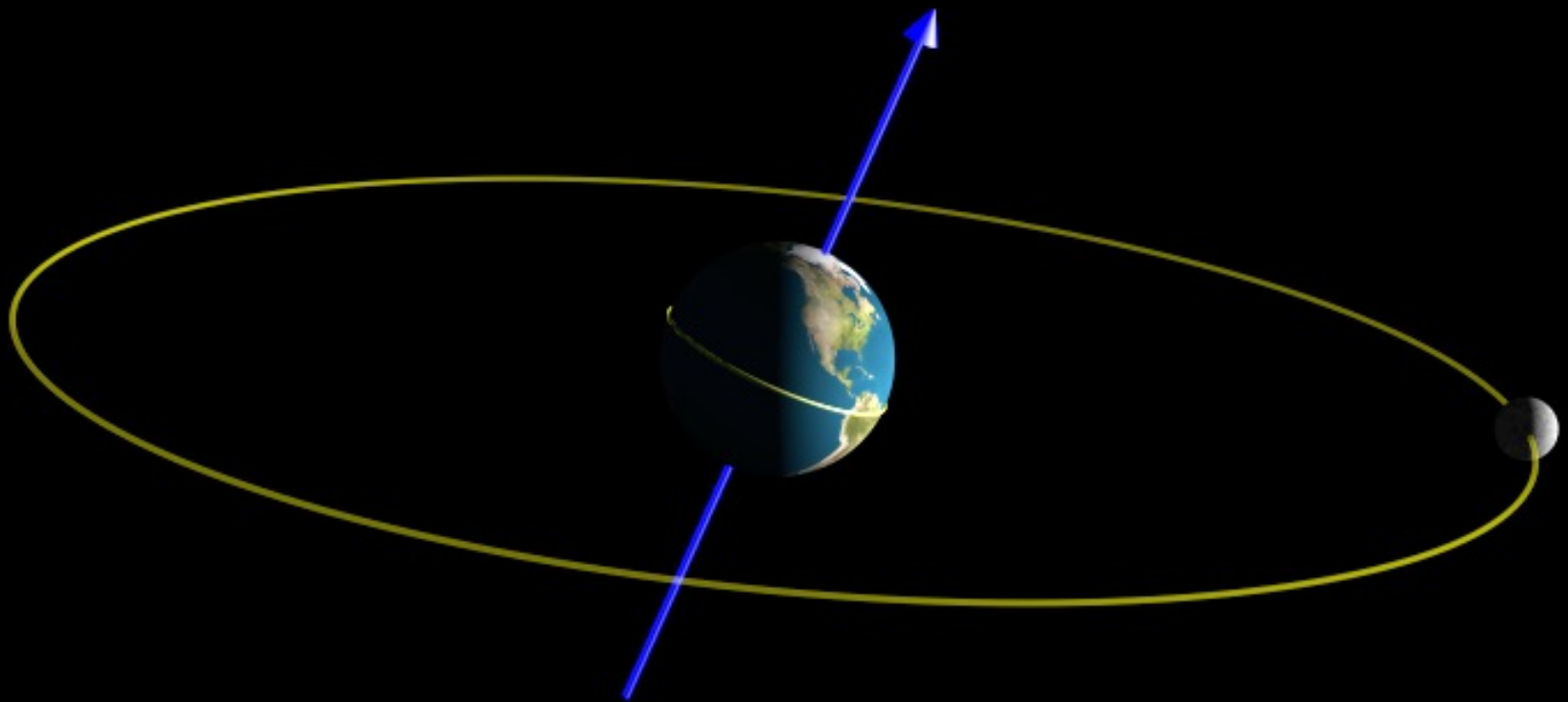
Resonancia rotación-órbita

Finalmente, en algunos casos donde la órbita es excéntrica y el efecto de mareas es relativamente débil, el cuerpo más pequeño puede terminar con una resonancia orbital, en vez de acoplado por mareas. Aquí, la proporción entre el periodo de rotación y el periodo orbital es una fracción bien definida diferente a 1:1. Un caso bien conocido es la rotación de Mercurio — su órbita está acoplada alrededor del Sol con una resonancia 3:2.

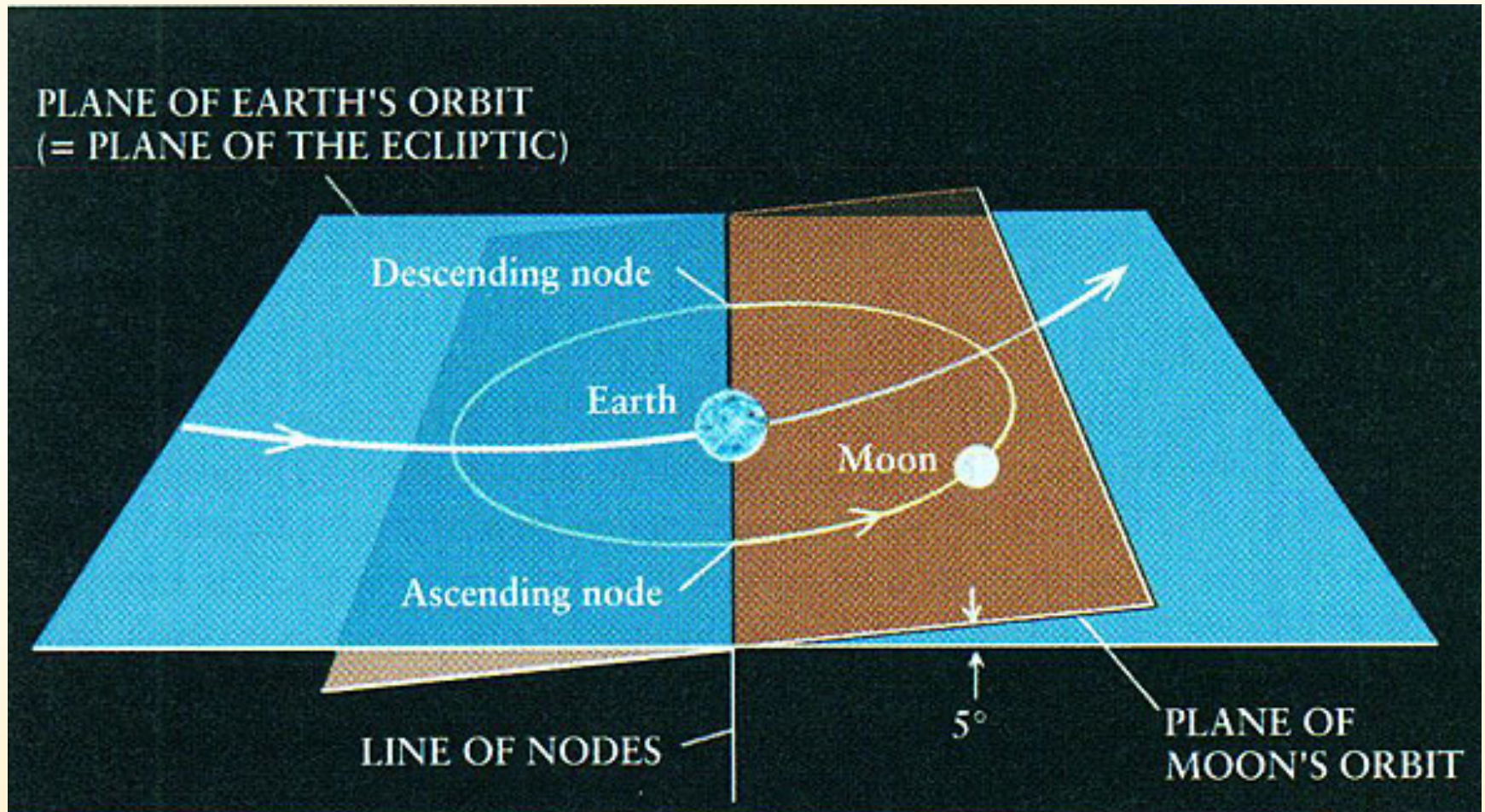
22 - Los eclipses

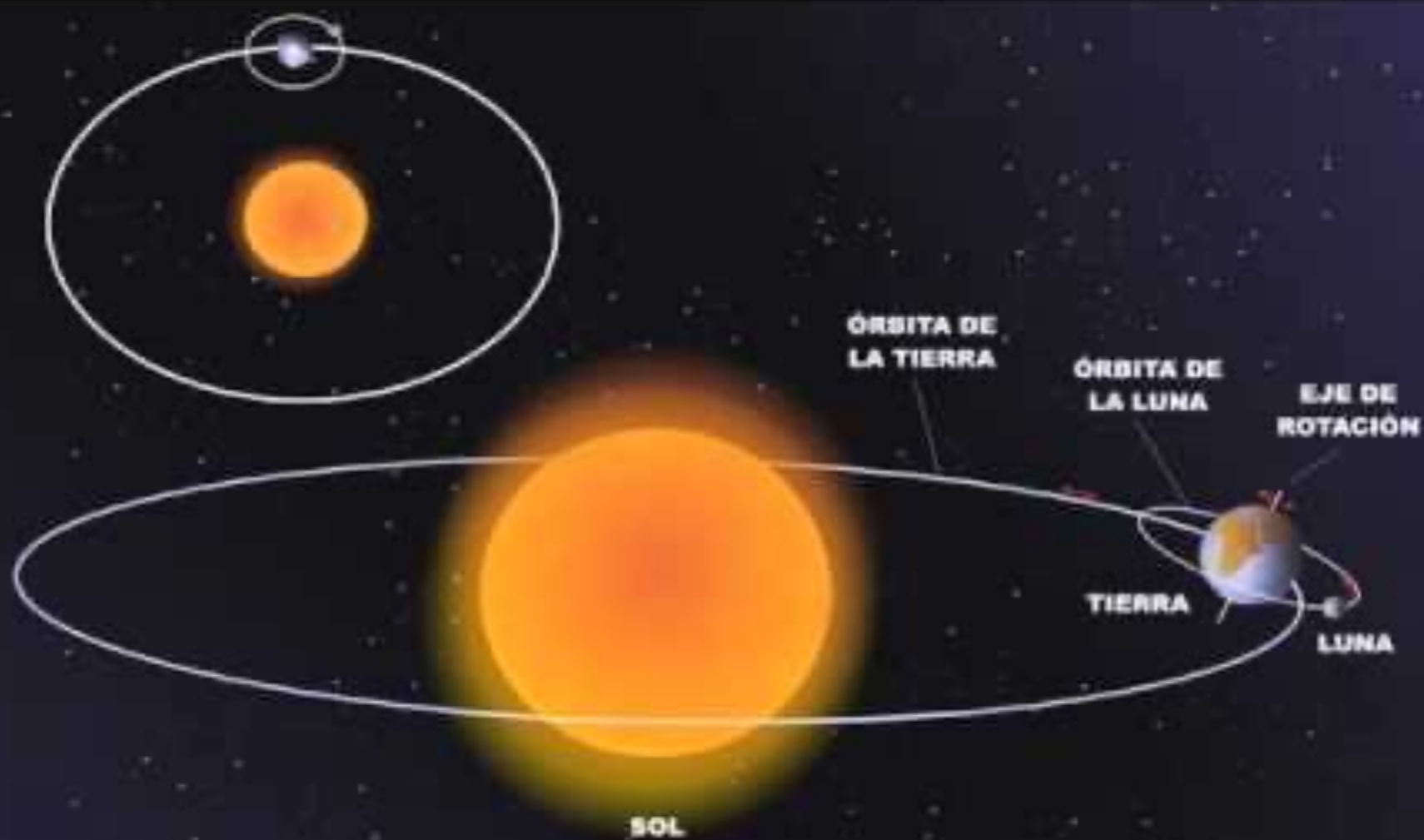


La Luna orbita alrededor de la Tierra



El plano de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra es inclinado por 5 grados con respecto a la Eclíptica.



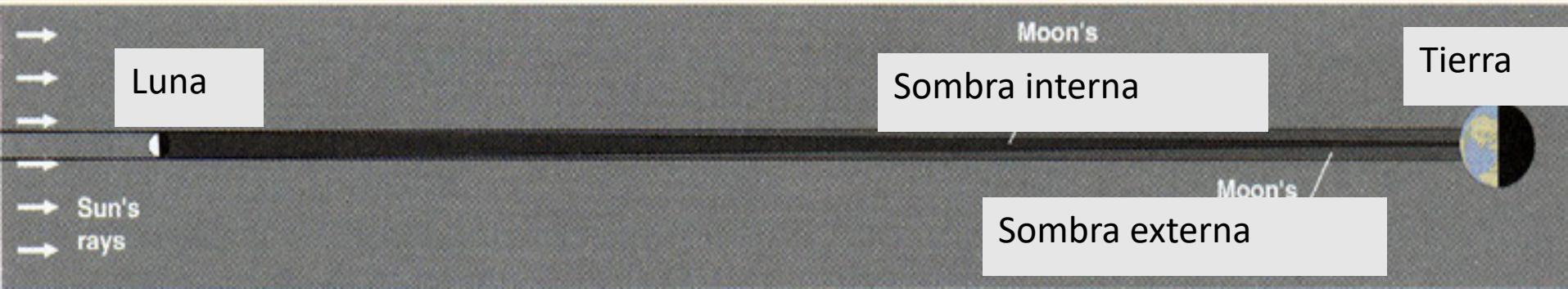


Eclipse

- La palabra eclipse proviene de la lengua griega: Έκλειψις (Ekleipsis) = 'desaparición', 'abandono'
- Es un suceso en el que la luz procedente de un cuerpo celeste es bloqueada por un otro, normalmente llamado "cuerpo eclipsante".
- Normalmente se habla de eclipses de Sol y de Luna, que ocurren solamente cuando el Sol y la Luna se alinean con la Tierra de una manera determinada.
- Esto ocurre durante algunas Lunas nuevas y Lunas llenas.

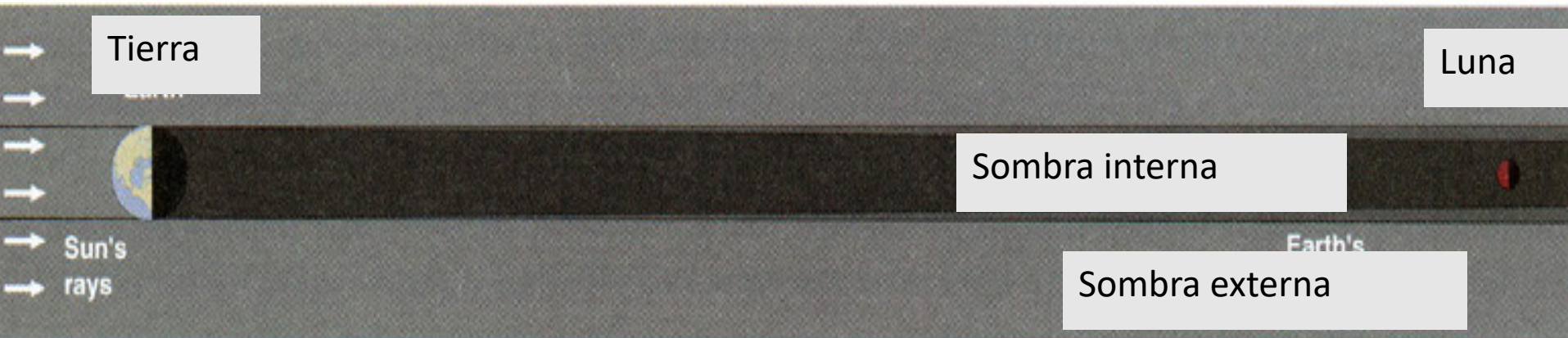
Hay dos tipos de eclipses:

- Eclipse lunar - La Tierra se interpone entre el Sol y la Luna, oscureciendo a esta última. La Luna entra en la zona de sombra de la Tierra. Esto sólo puede ocurrir en Luna llena.
- Eclipse solar - La Luna oscurece el Sol, interponiéndose entre éste y la Tierra. Esto sólo puede pasar en Luna nueva.



Eclipse solar

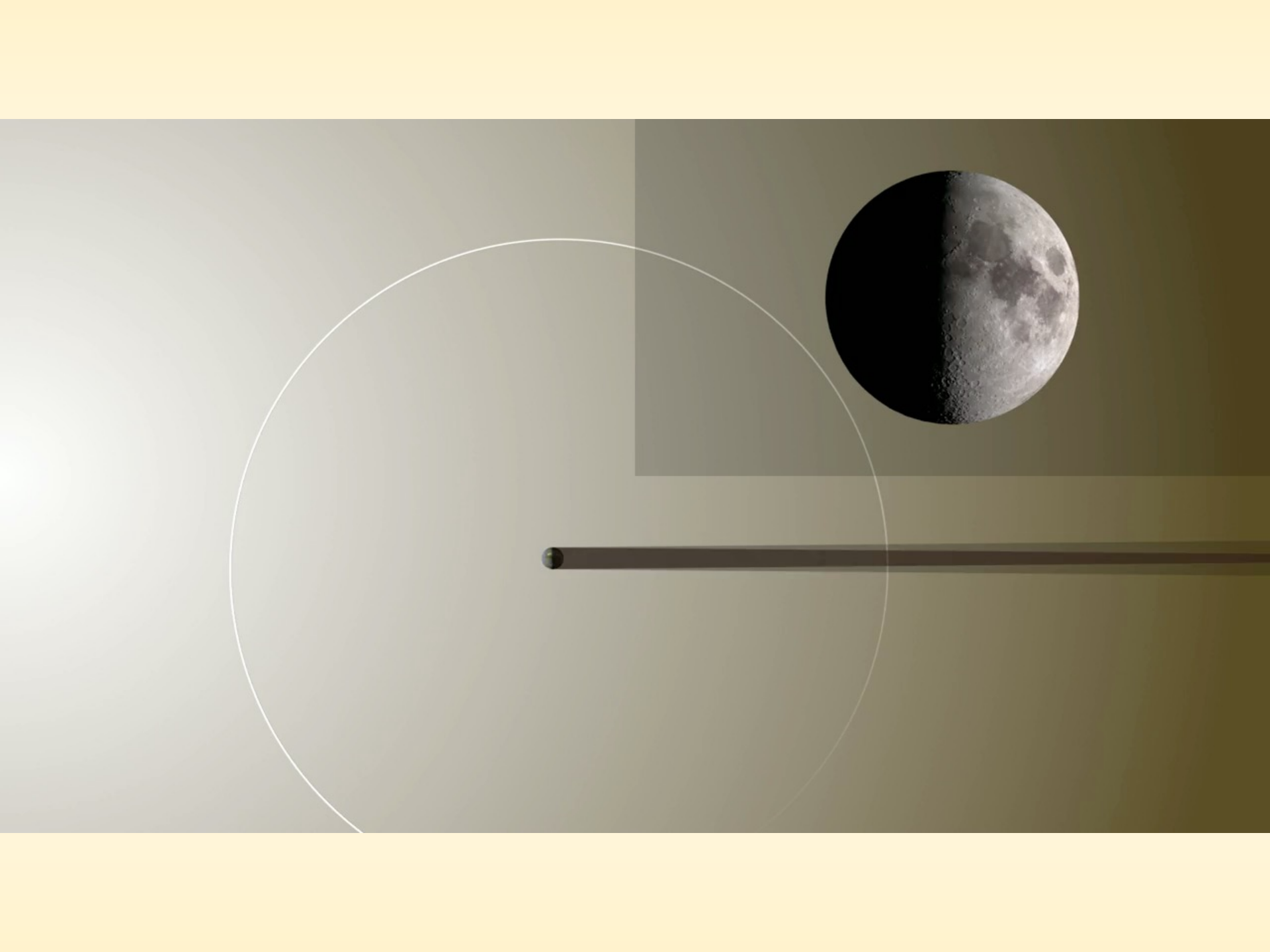
Luz del Sol

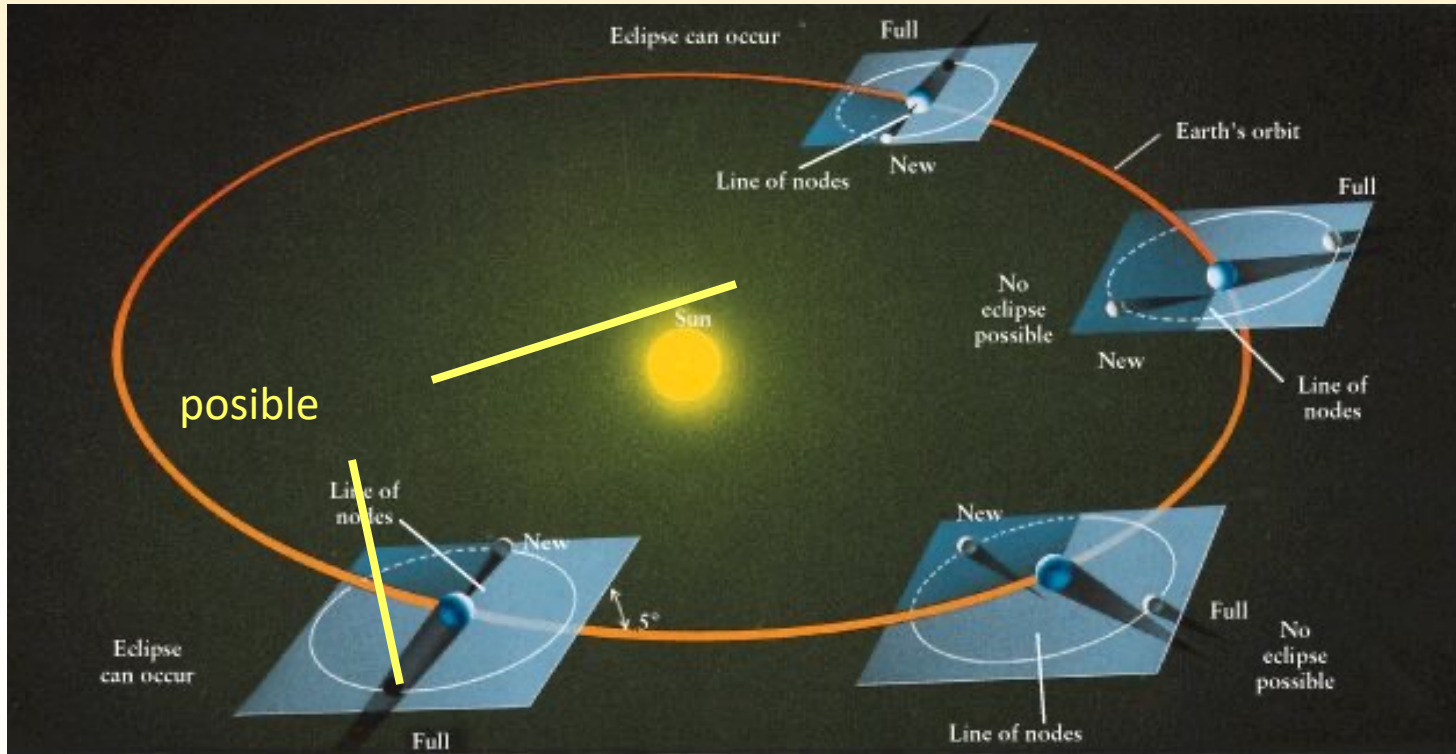


Eclipse lunar

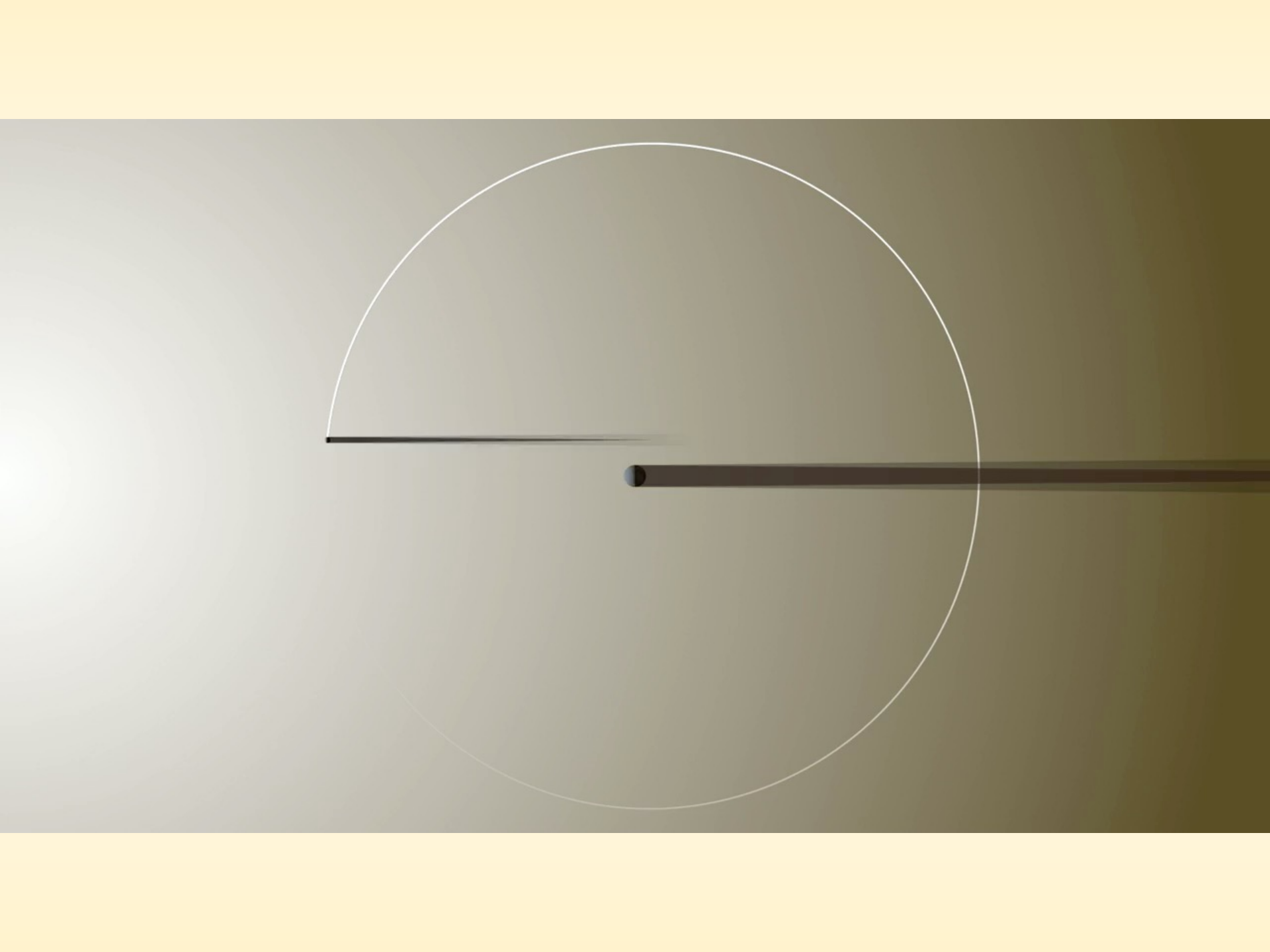
Sombra interna = umbra

Sombra externa = penumbra

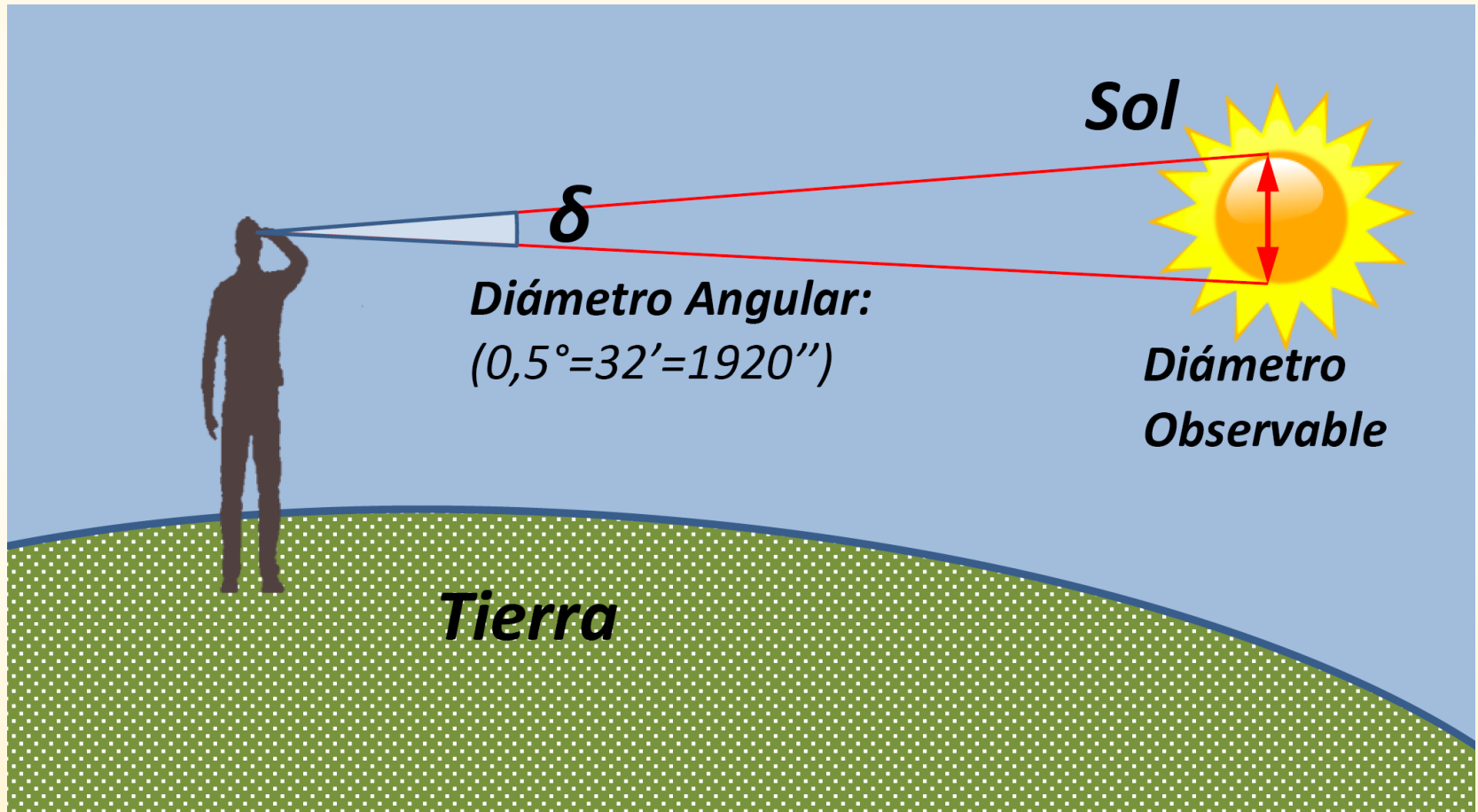


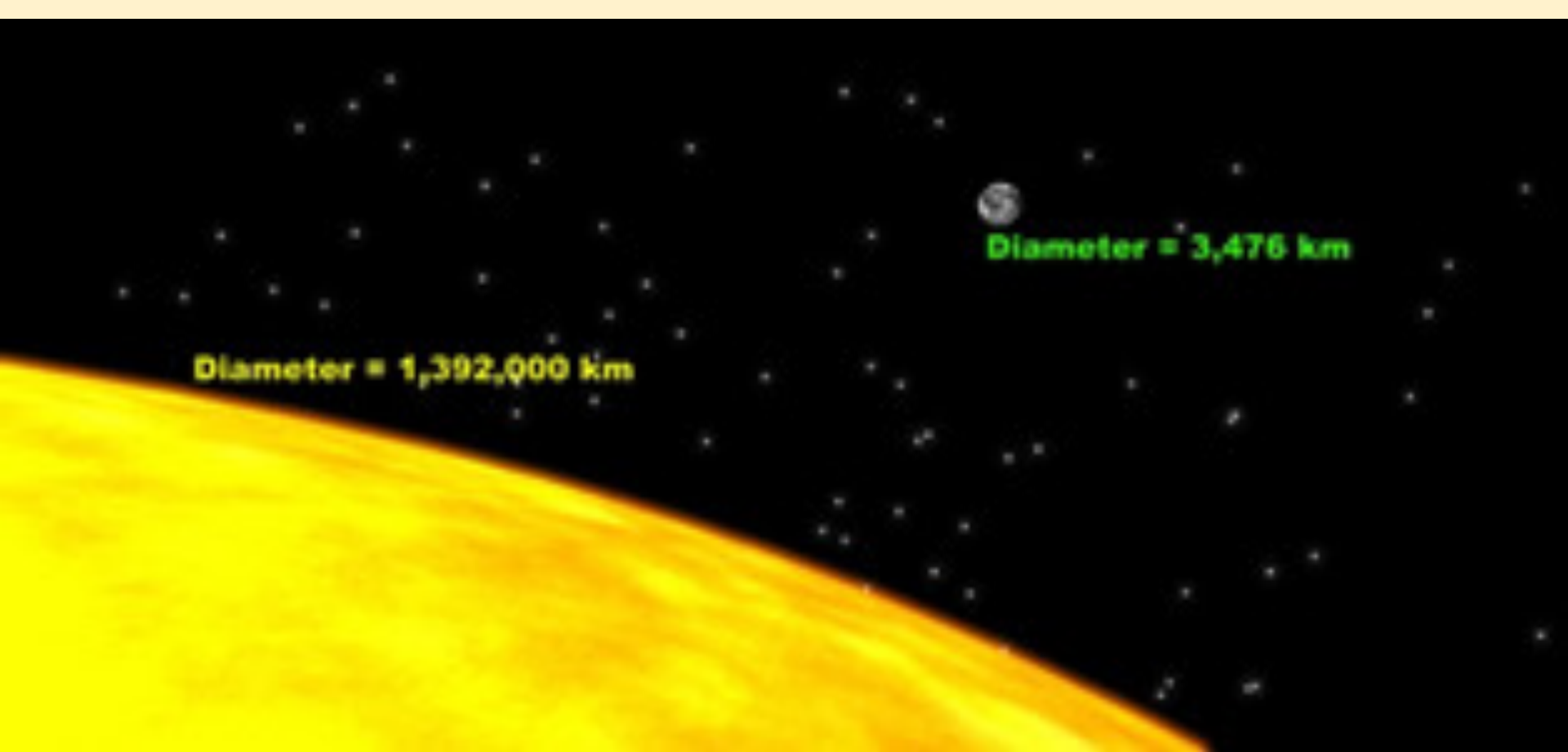


Eclipses Solares ocurren 2 veces por año sobre alguna parte de la Tierra. Eclipses solamente pueden ocurrir cuando la Luna se encuentra en uno de los 2 nodos y la línea de nodos está apuntando hacia el Sol. Están separados por ~6 meses.



Tamaño angular





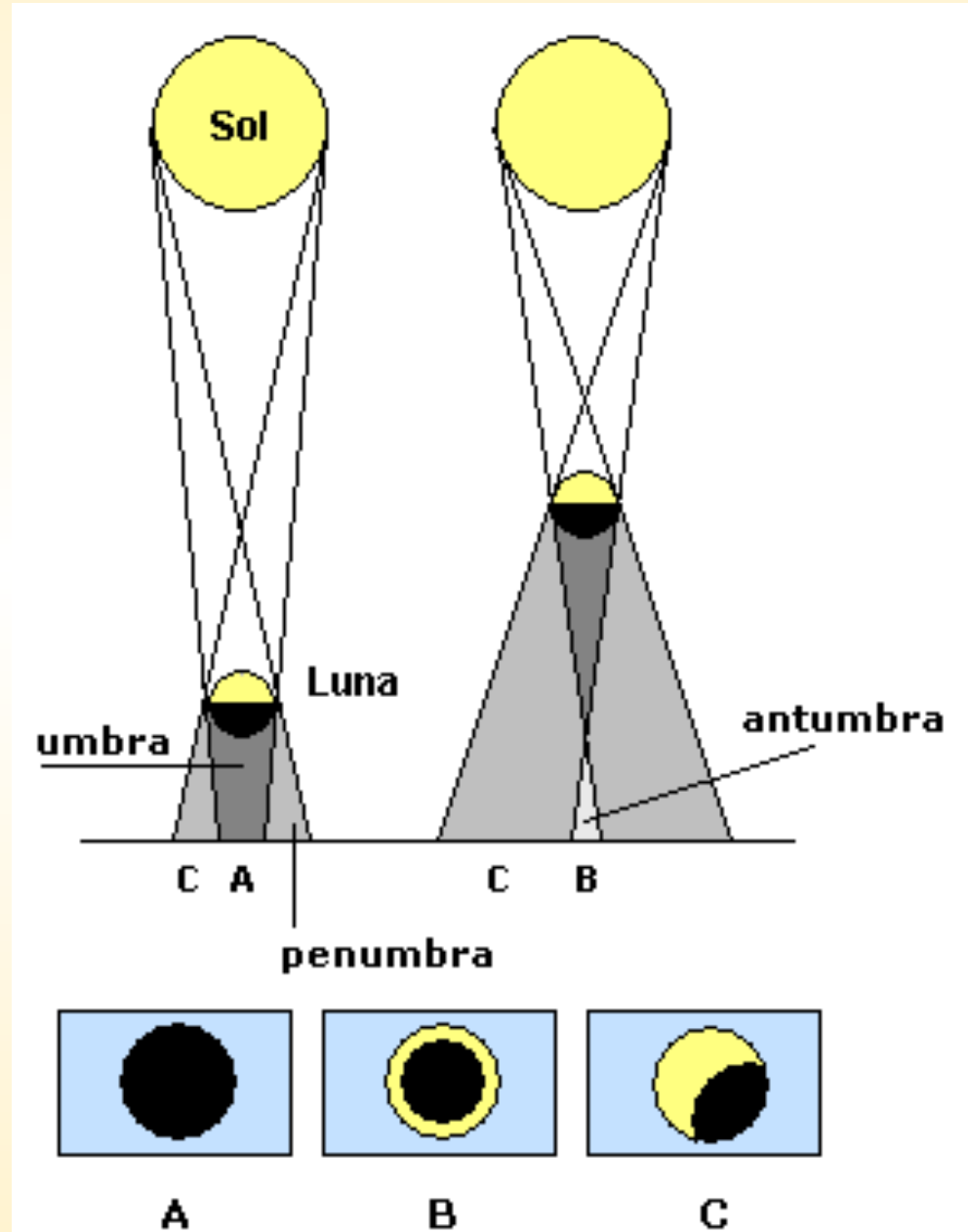
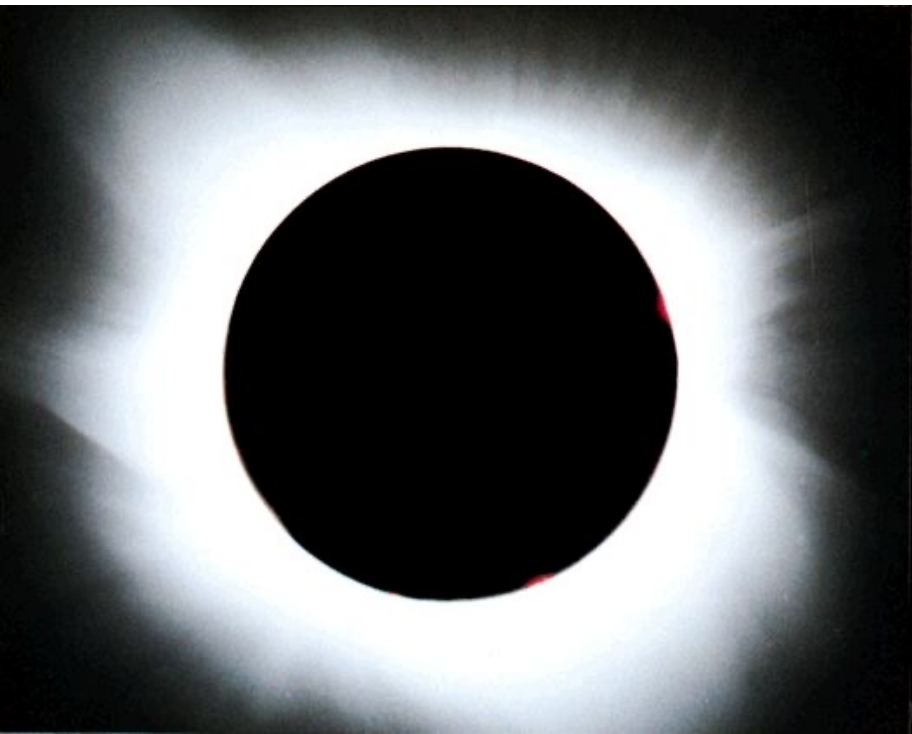
El Sol es 400 veces más grande que la Luna.
Pero también está 400 veces más lejos que la
Luna.



Por lo tanto, y por suerte, el Sol y la Luna tienen el mismo diámetro angular en el cielo.

Eclipse solar

- A = eclipse total
- B = eclipse anular
- C = eclipse parcial



Eclipse Anular: ocurre cuando la Luna se encuentra cerca del apogeo y su diámetro angular es menor que el solar, de manera que en la fase máxima permanece visible un anillo del disco del Sol. Esto ocurre en la banda de anularidad; fuera de ella el eclipse es parcial.



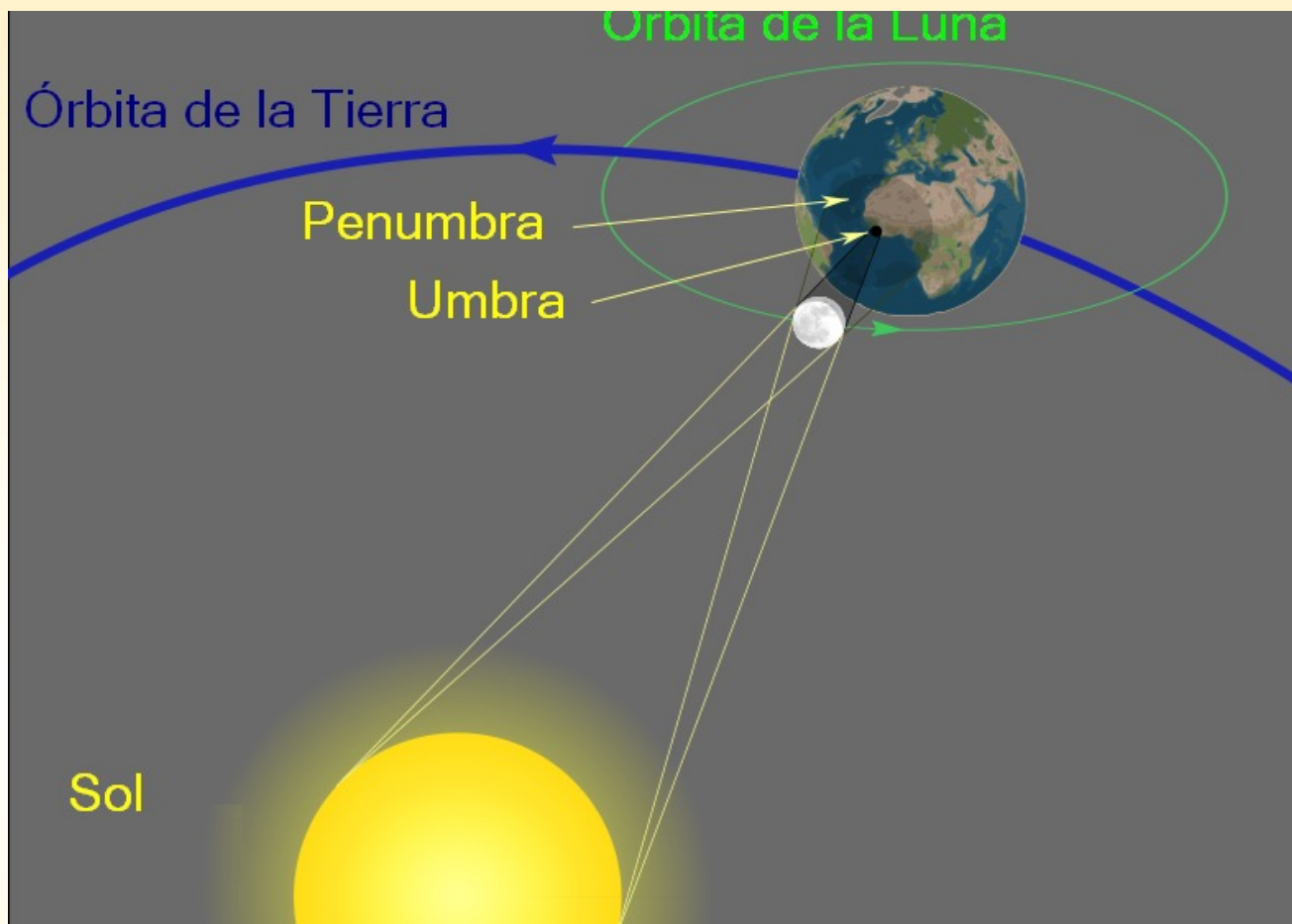
Eclipse parcial:

Es visible cuando la Luna no está completamente frente al sol, es decir, no está en un nodo de la órbita. También es visible antes y después de un eclipse total o si no se encuentra en la pequeña región donde el eclipse total es visible.



Eclipse Solar Total

- Es uno de los espectáculos naturales más fantásticos.
- Duran poco (< 7.5 minutos) pero valen la pena de ver.
- La diferencia entre totalidad y no totalidad es inmenso.
- Visible del mismo lugar solamente cada ~ 360 años.

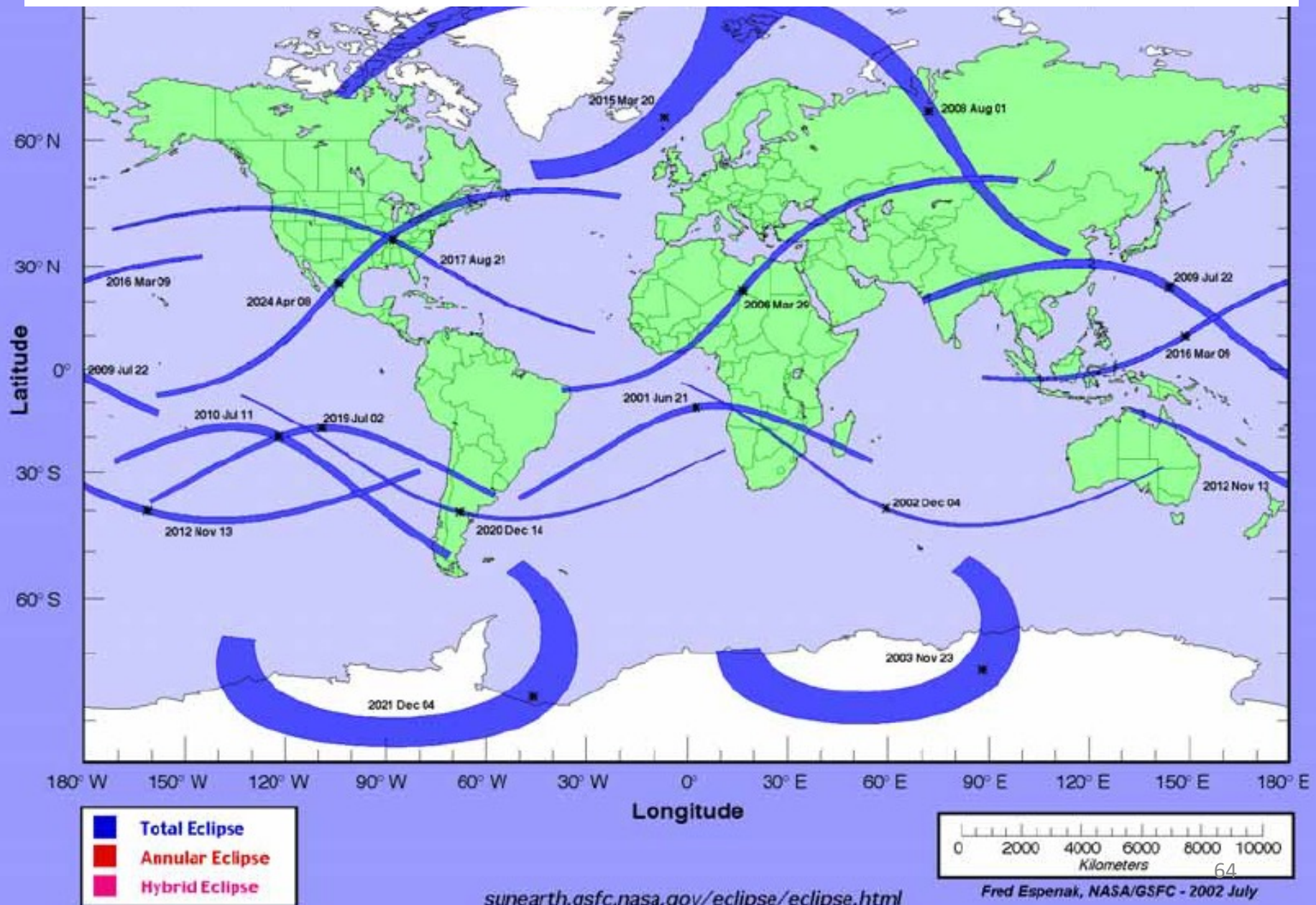


Un eclipse total solo es visible en una pequeña región de la Tierra. Esta región se está moviendo muy rápido porque la Tierra está girando.



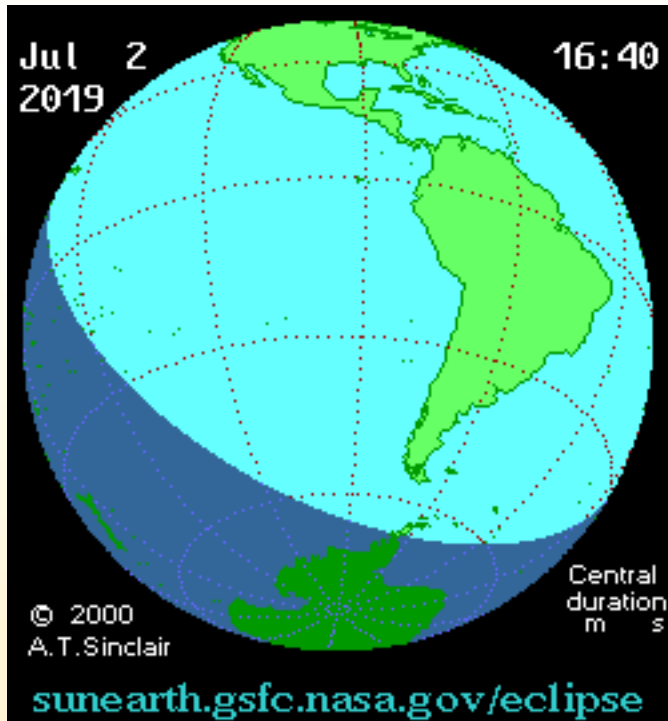
Cambio en el brillo durante un eclipse solar total.

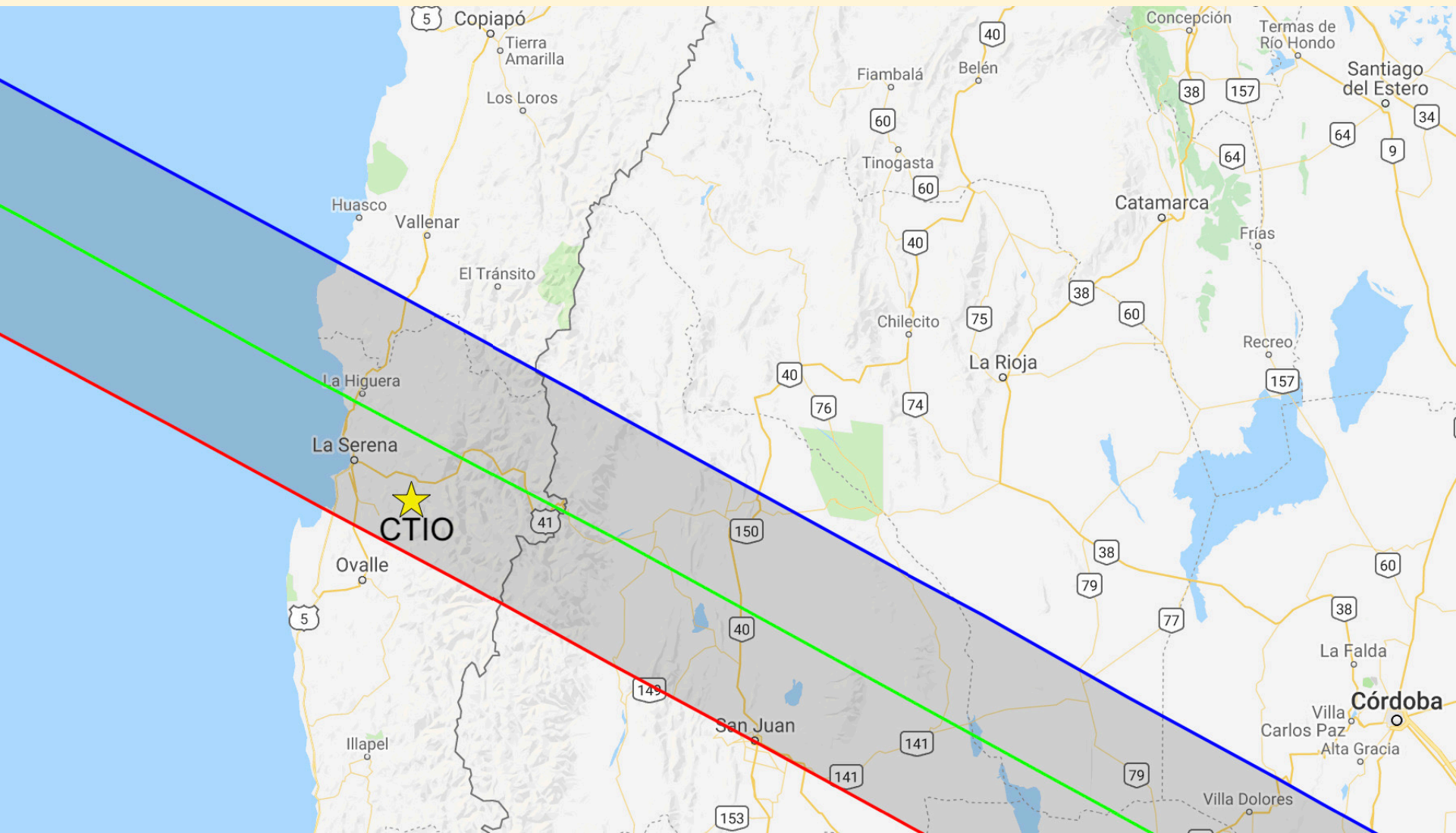
Eclipses Totales del Sol : 2001-2025



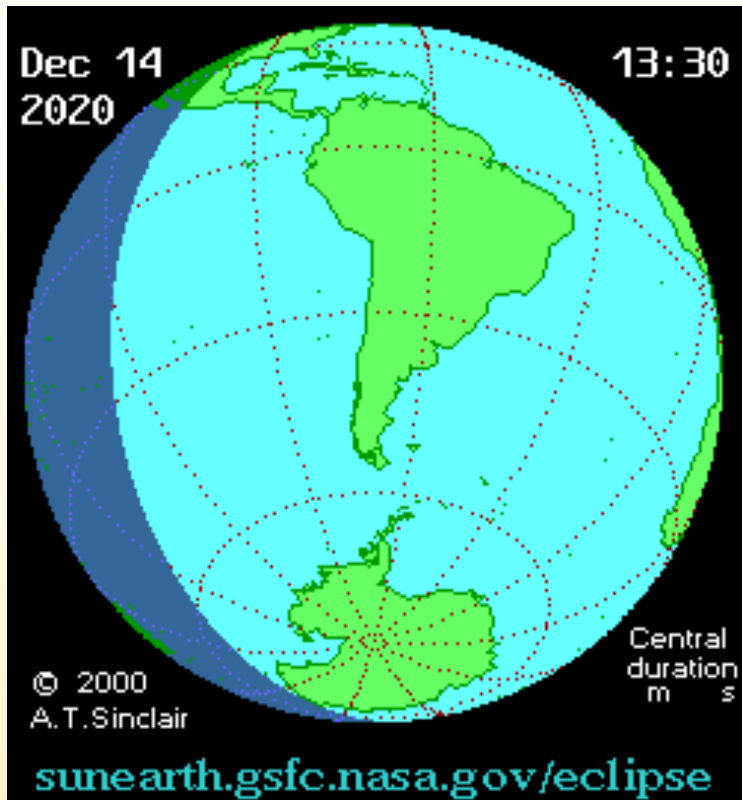
2 de julio de 2019:
Total (1.046)
Duracion 04m33s
América del Sur, La
Serena, Chile

La totalidad será visible desde el sur del Océano Pacífico al este de Nueva Zelanda a Chile y Argentina, al atardecer, con el máximo de 4 minutos 32 segundos visibles desde el Océano Pacífico.





14 de diciembre de
2020: Total (1.025)
Duracion 02m10s,
America del Sur,
Chile



El Eclipse Total entra por el sur de Chile. Isla Mocha, Puerto Saavedra, Teodoro Schmidt, Nueva Imperial, Freire, Gorbea, Loncoche y la turística zona de Pucón, Lican Ray y Villarrica serán las localidades chilenas en las que se podrá ver un eclipse total de sol, siendo esta última, Villarrica, la zona urbana en la que se podrá ver un eclipse total más extenso. La ciudad de Temuco tendrá la particularidad de presentar tanto el eclipse total como el parcial según en que parte de la ciudad se encuentre.

