

La Luna

Movimientos de la Luna



qué observamos?

***movimiento aparente de la luna hacia el este con respecto a las estrellas fijas
≈13° por día***

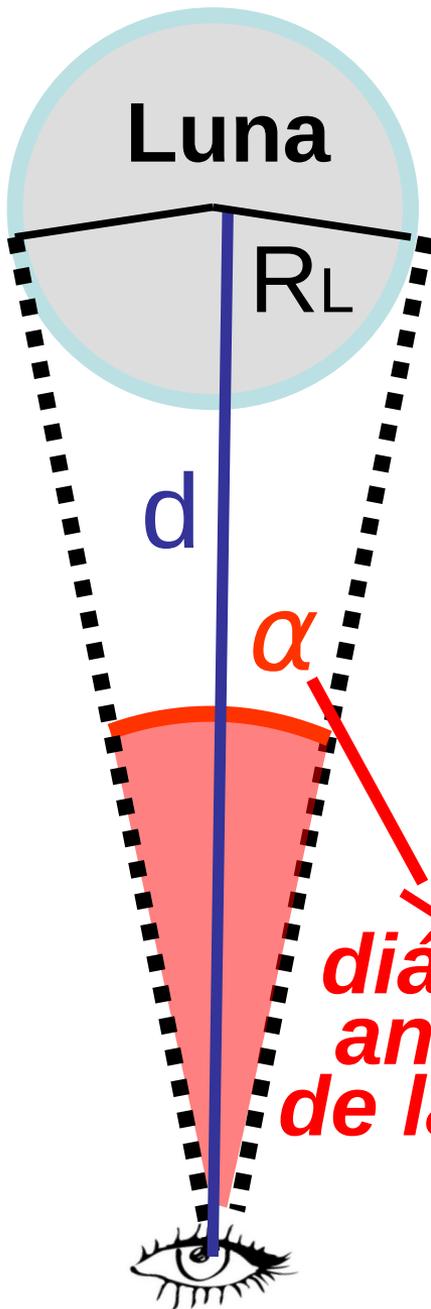
***movimiento aparente del sol hacia el este con respecto a las estrellas fijas
≈1° por día***

***movimiento aparente de la luna hacia el este con respecto al sol
≈12° por día***

fases de la luna

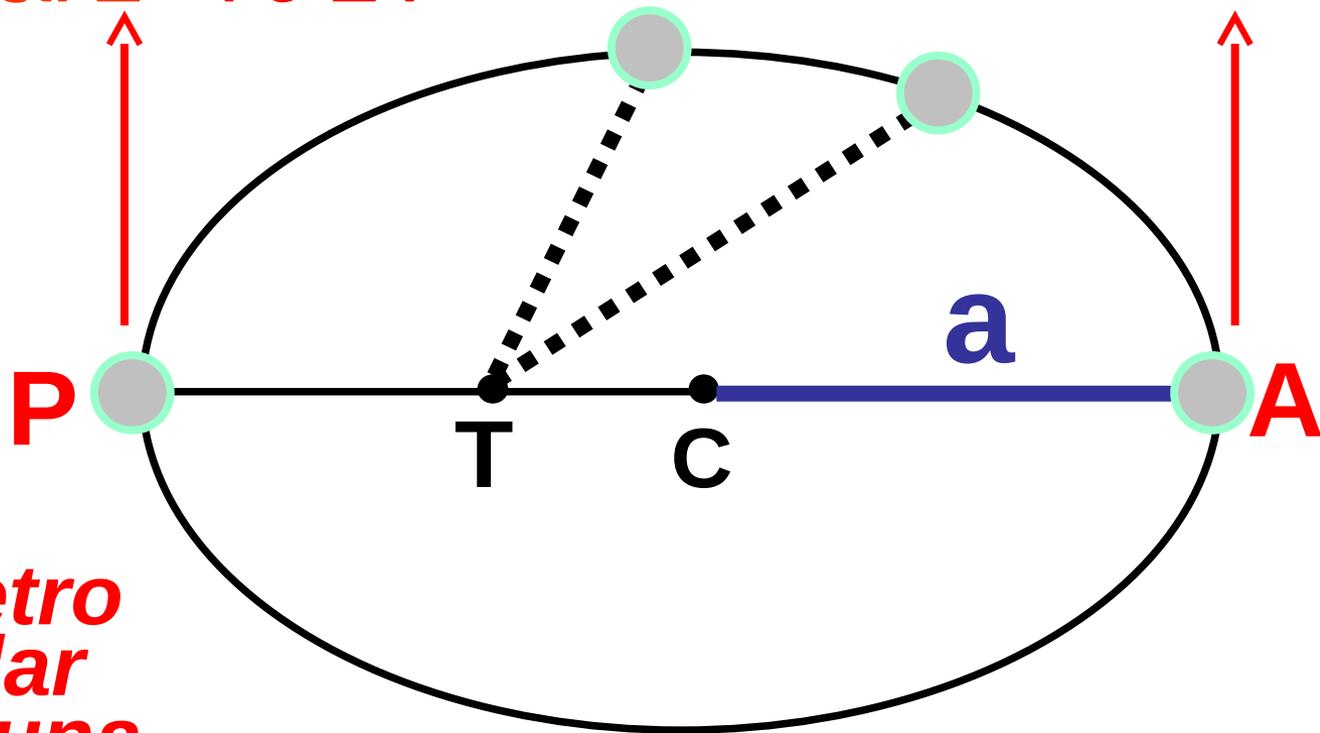
$$\operatorname{tg} \alpha / 2 \approx \alpha / 2 = R_L / d$$

$$d = 2 R_L / \alpha$$



perigeo
 $\alpha / 2 = 16' 21''$

apogeo
 $\alpha / 2 = 14' 41''$



**diámetro
angular
de la Luna**

excentricidad de la órbita lunar a partir de su diámetro angular

$$d_P = a(1-e) \quad (1) \quad d_A = a(1+e) \quad (2)$$

restando y sumando (1) y (2)

$$\left. \begin{array}{l} d_A - d_P = 2ae \\ d_A + d_P = 2a \end{array} \right\} \Rightarrow e = \frac{d_A - d_P}{d_A + d_P}$$

*teniendo en cuenta
que $d = 2 R_L / \alpha$*



$$e = \frac{\alpha_P - \alpha_A}{\alpha_P + \alpha_A}$$

$$e = 0.055$$

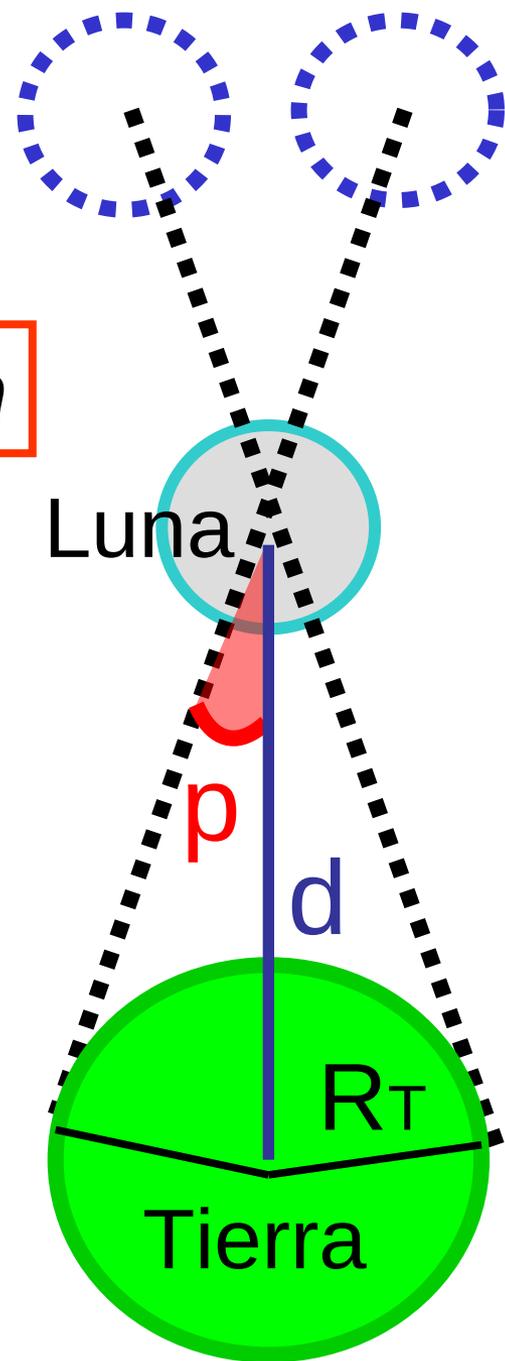
$$\operatorname{tg} p \approx p = R_T/d$$

$$p_m = 57'2''.7 \rightarrow d = 384400 \text{ km}$$

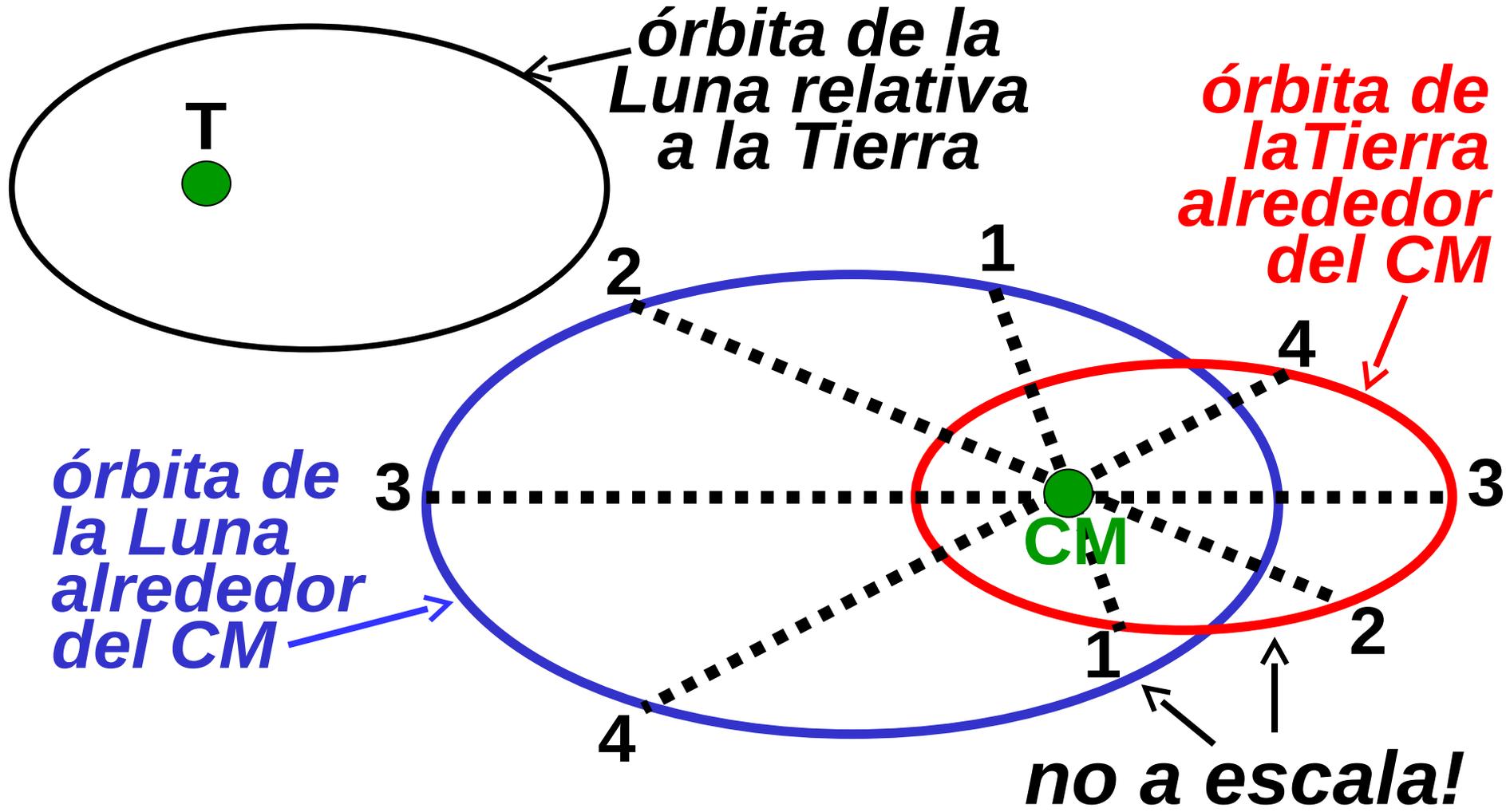
$$\operatorname{tg} \alpha/2 \approx \alpha/2 = R_L/d$$

$$\alpha_m = 31'4''$$

$$R_L = 1738 \text{ km}$$



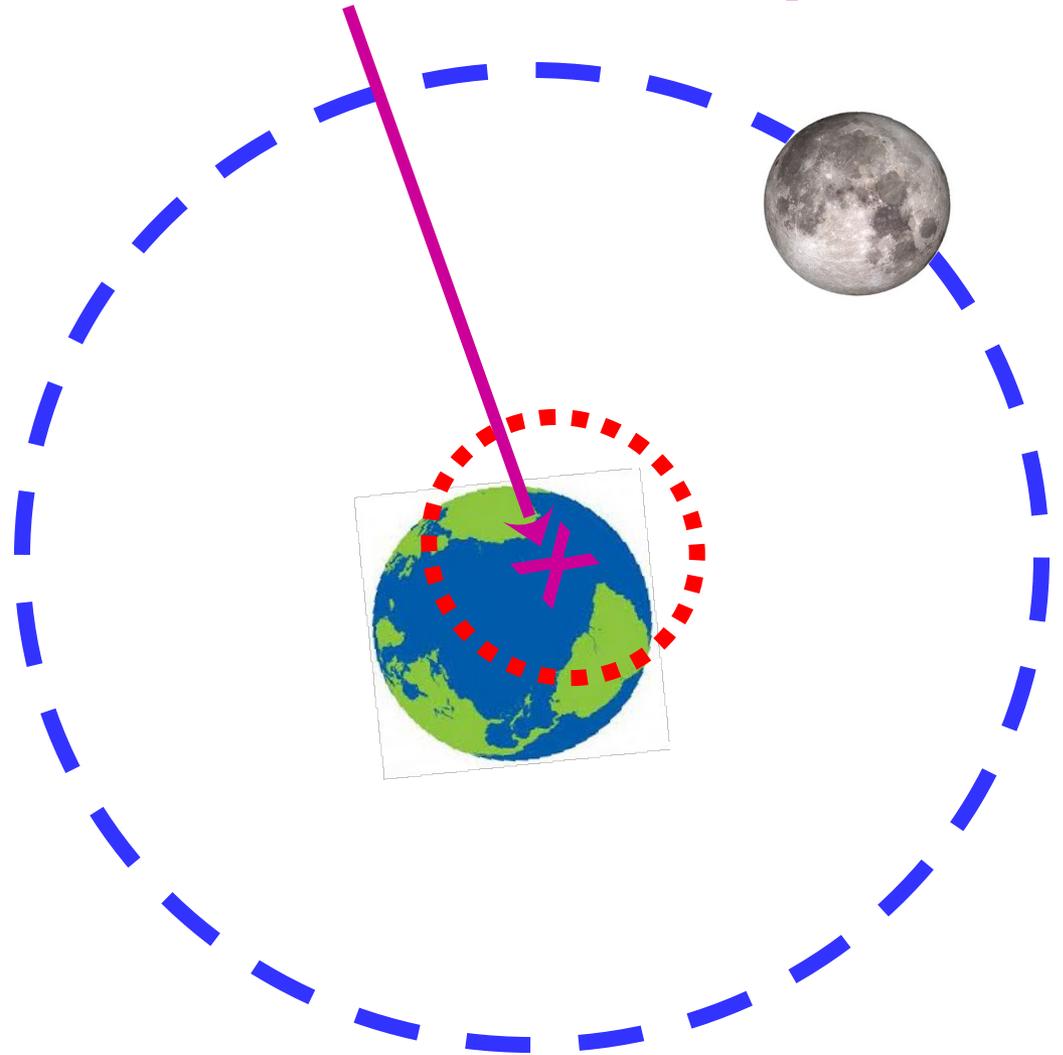
órbita relativa vs órbita absoluta (alrededor del Centro de Masa)



período sidéreo = 27,3216609 días

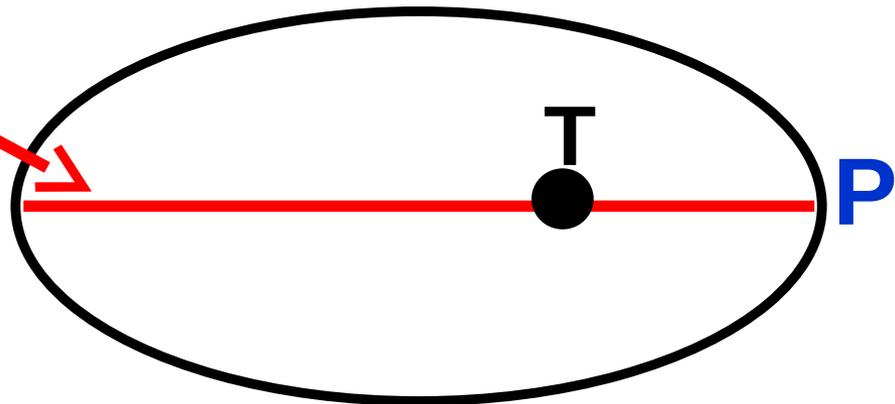
$$\frac{d_{L-CM}}{d_{T-CM}} = \frac{M_T}{M_L} = 81 \Rightarrow \text{CM dentro de la Tierra, a } 1695 \text{ km de la superficie}$$

*el CM del sistema
Tierra-Luna
orbita
alrededor
del Sol*

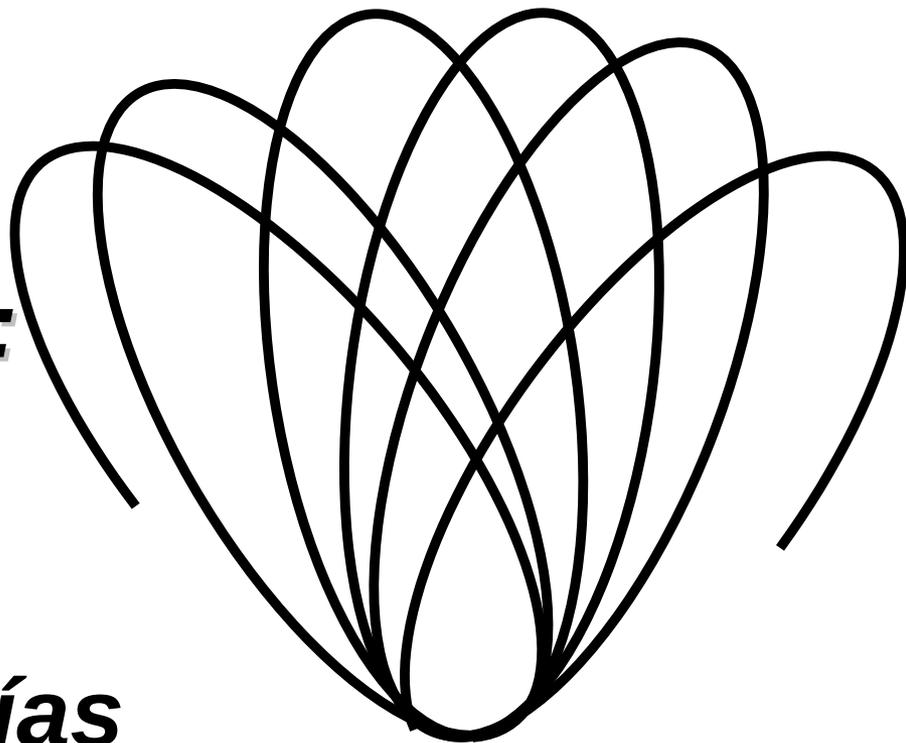


órbita de la Luna alrededor de la Tierra: elipse ?

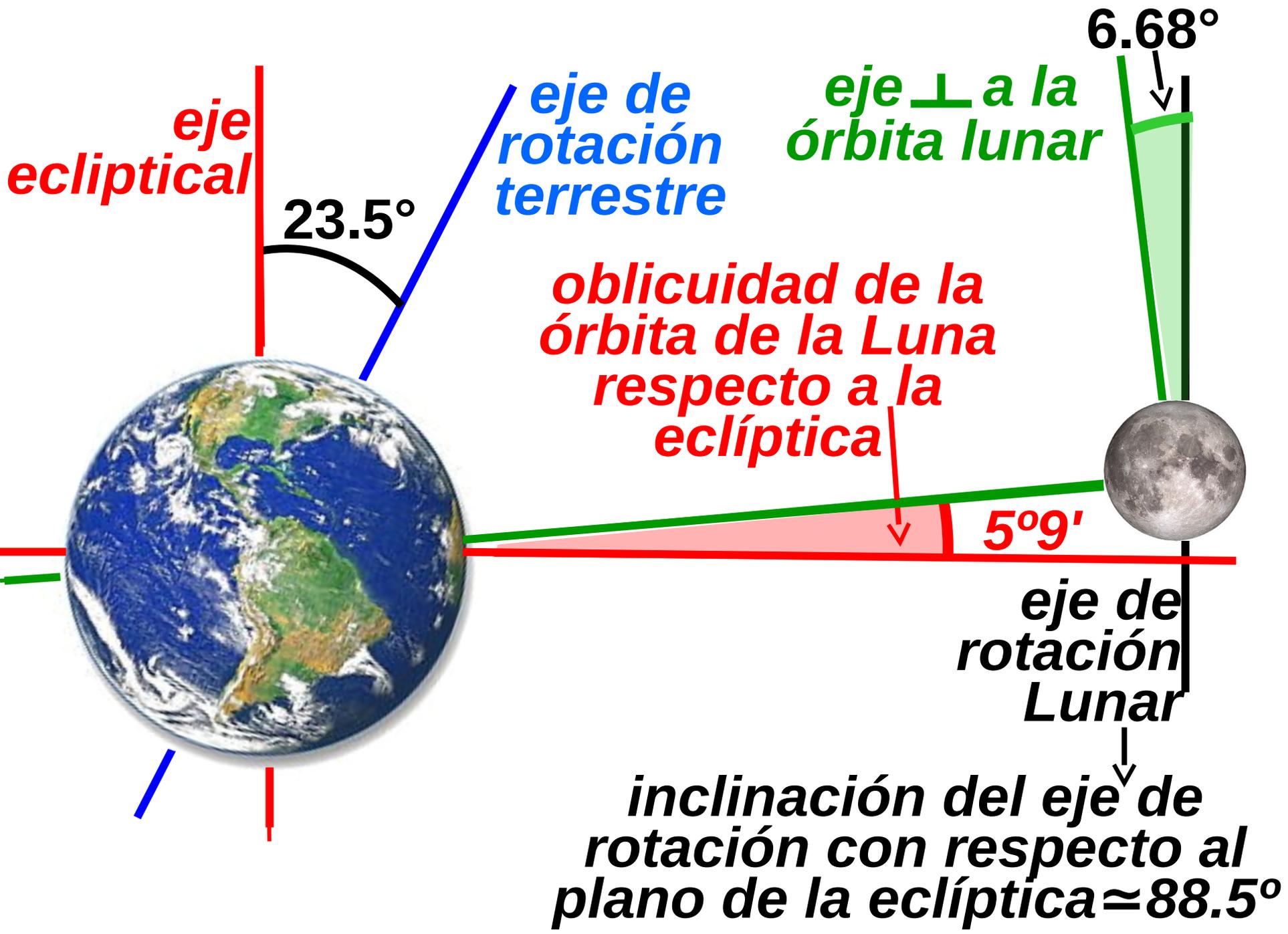
**avance de la línea
de las ápsides
8 años 310 días**



**avance del perigeo
6' 41" por día**



**período anomalístico:
intervalo de tiempo
entre dos pasajes
consecutivos por el
perigeo=27,5545502días**



nutación de la luna
173 días

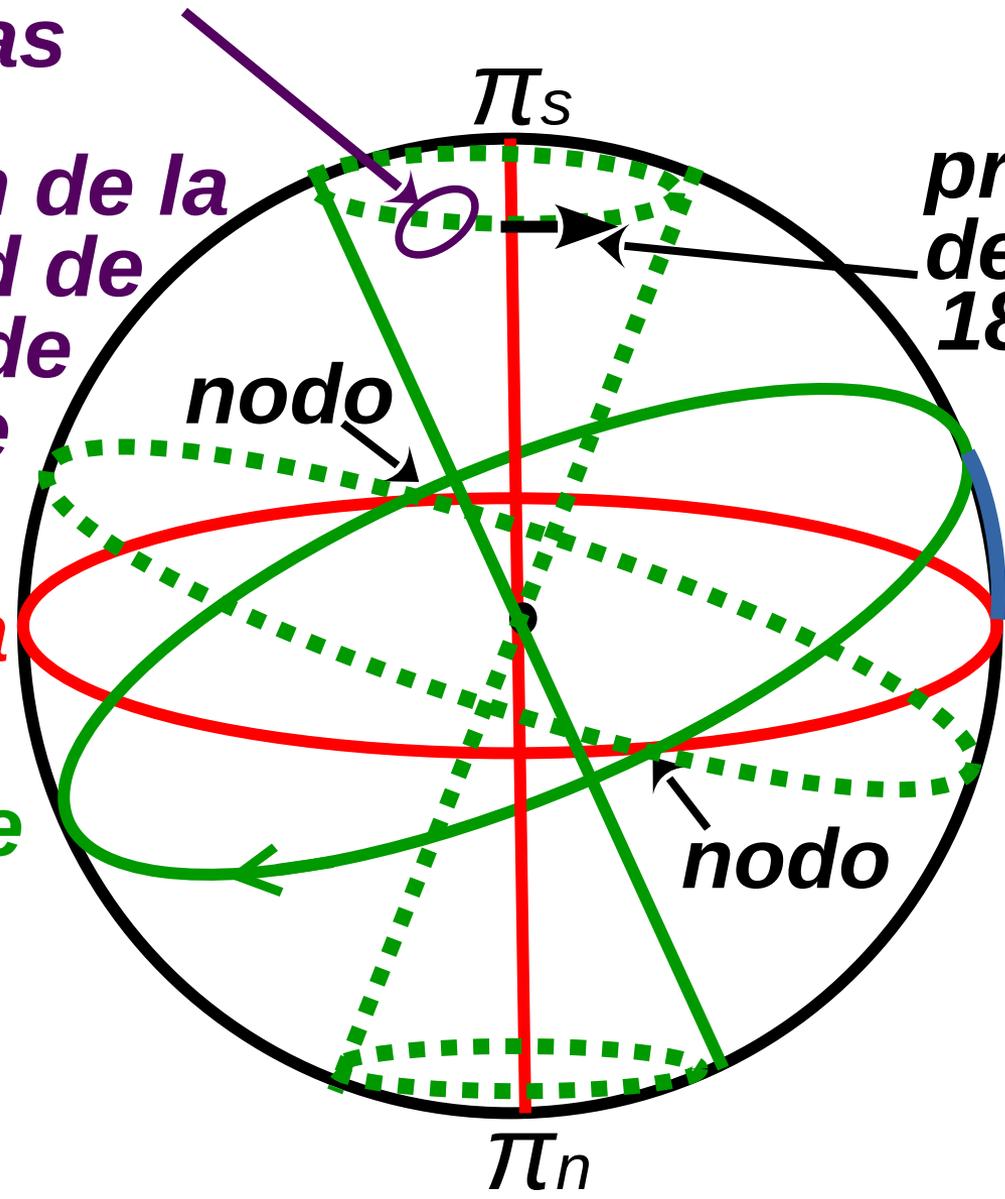
oscilación de la oblicuidad de la órbita de la luna de 5° a $5^\circ 18'$

precesión de la luna
18,6 años

$5^\circ 9'$
precesión de los nodos lunares
 $\approx 19^\circ/\text{año}$

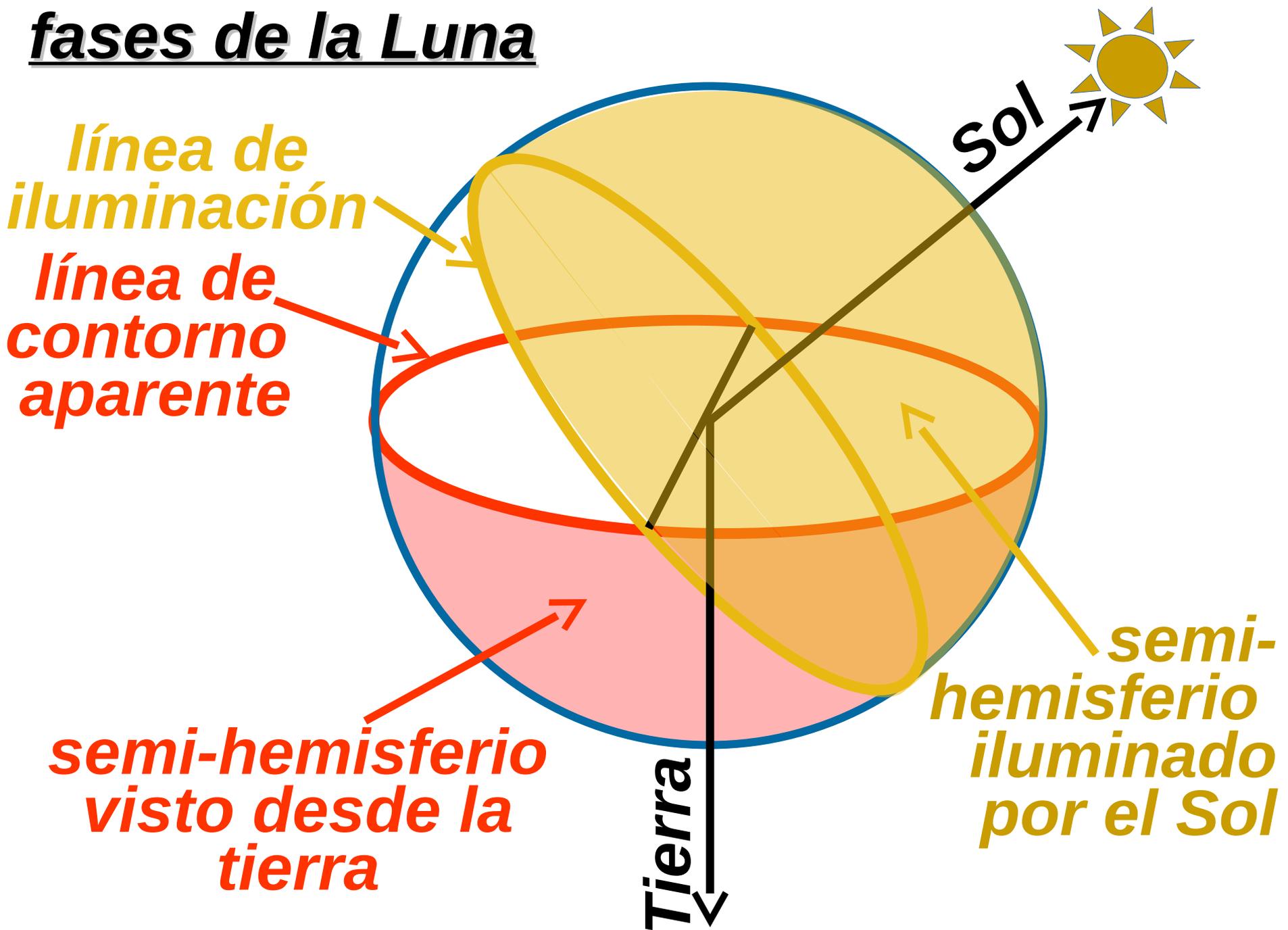
eclíptica

órbita de la luna



período dracónico = 27,2122178 días

fases de la Luna



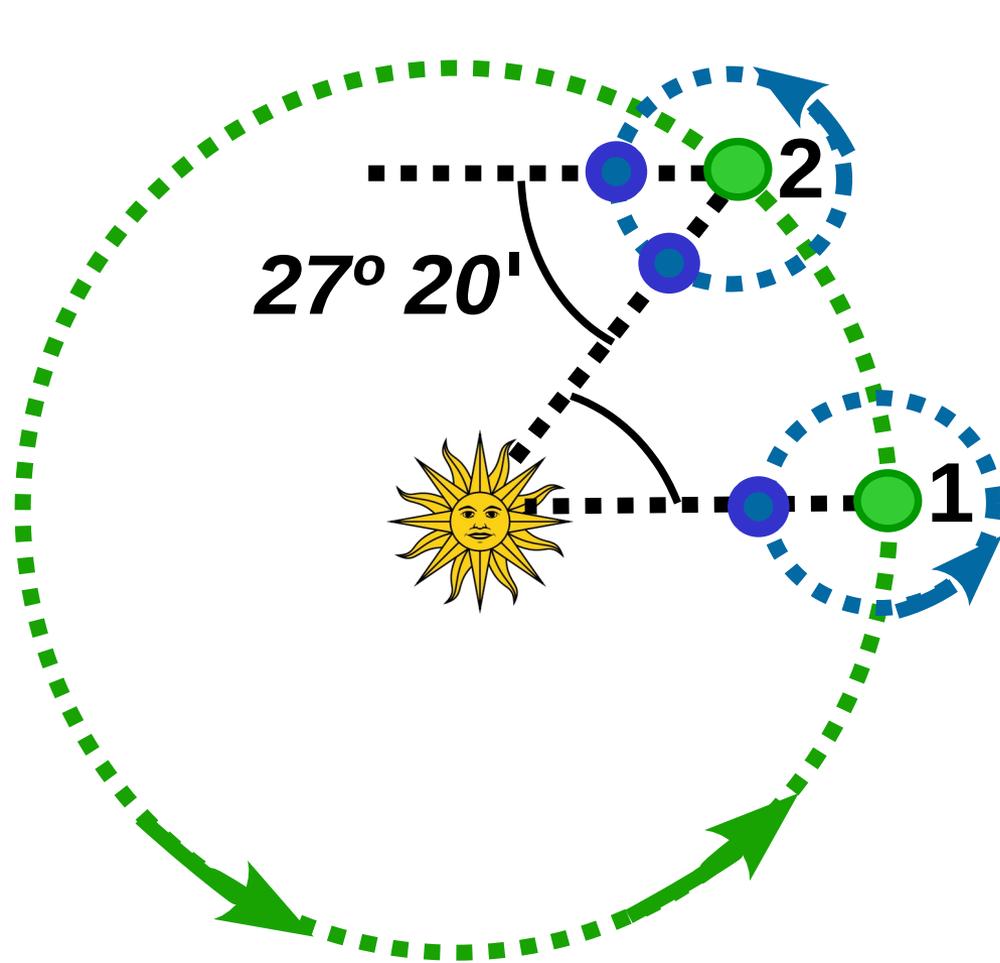


ciclo completo de las fases o lunación



período sinódico = 29,530588 días

luna nueva } ***sicigias***
luna llena }



período sidéreo(P):
 intervalo de tiempo
 entre dos pasos
 consecutivas por
 un punto fijo de la
 órbita = 27.32 días

período sinódico(S):
 intervalo de tiempo
 entre dos fases
 consecutivas
 iguales = 29.53 días

$$\begin{array}{c}
 \text{per. sinódico} \\
 \text{de la Luna} \rightarrow S \\
 \\
 \text{per. sidéreo} \\
 \text{de la Tierra} \leftarrow E \\
 \\
 \text{per. sidéreo de la Luna} \uparrow P
 \end{array}
 \frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E}$$

período draconónico: intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos por el mismo nodo = 27,21 días

período sidéreo(P): intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos por un punto fijo de la órbita = 27.32 días

período anomalístico: intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos de la luna por el perigeo = 27,55 días

período sinódico(S): intervalo de tiempo entre dos fases consecutivas iguales = 29.53 días

en 1 año juliano = 12,368 meses sinódicos

19 años julianos = 235 meses sinódicos

= **Ciclo de Meton**

rotación de la Luna

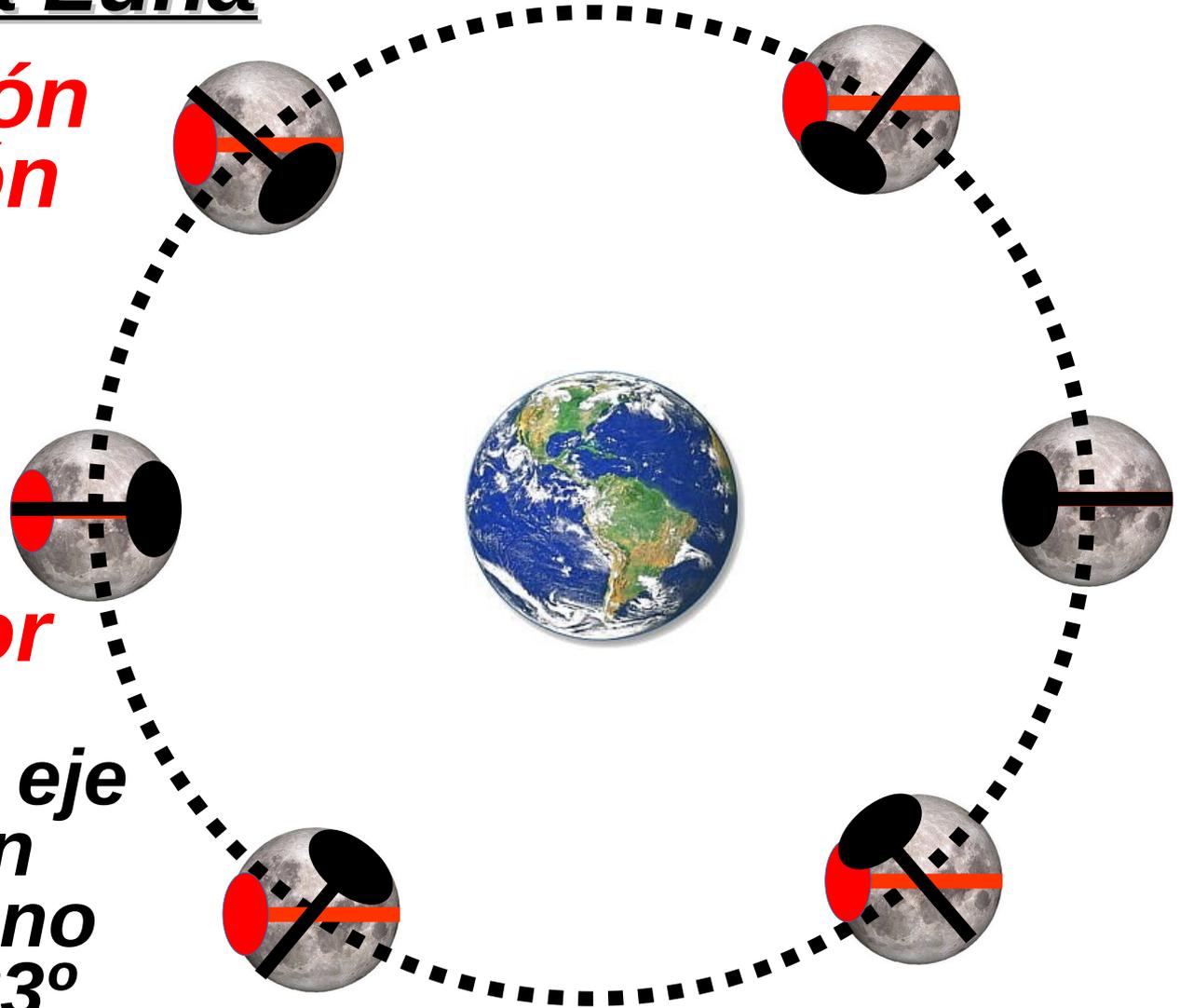
*sincronización
entre rotación
y traslación*



*siempre la
misma cara
al observador*

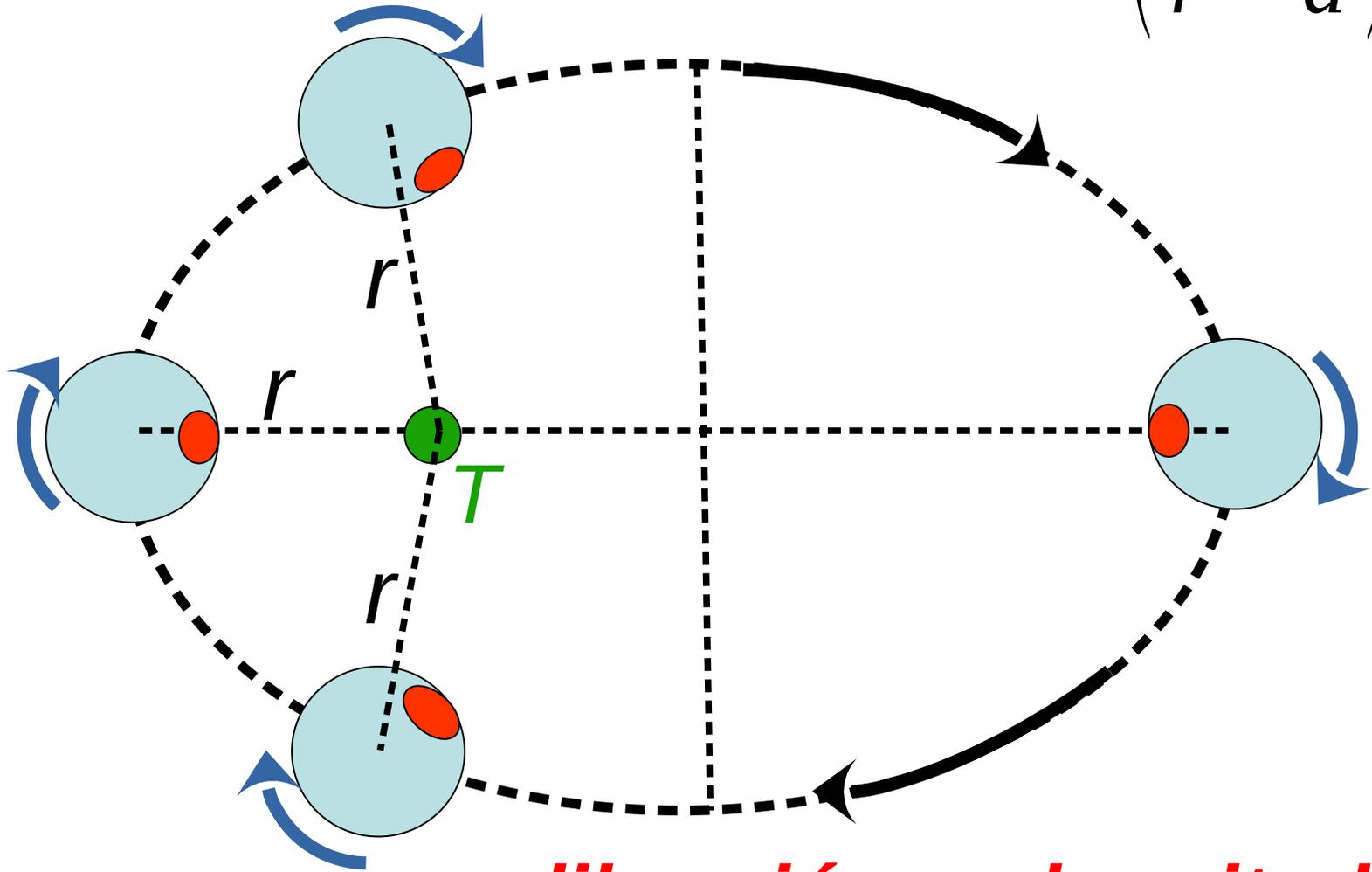
*inclinación del eje
de rotación con
respecto al plano
de la órbita $\approx 83^\circ$*

*inclinación del eje de rotación con respecto
al plano de la eclíptica $\approx 88.5^\circ$*



libraciones

$$V^2 = G(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$



elipticidad de la órbita de la Luna →

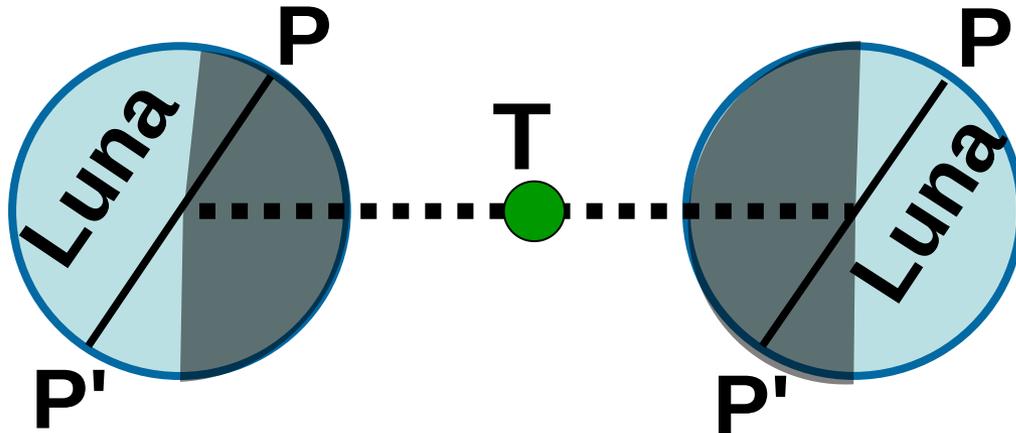
libración en longitud
amplitud = 8°

inclinación del eje de rotación

cambio de posición del observador

libración en latitud

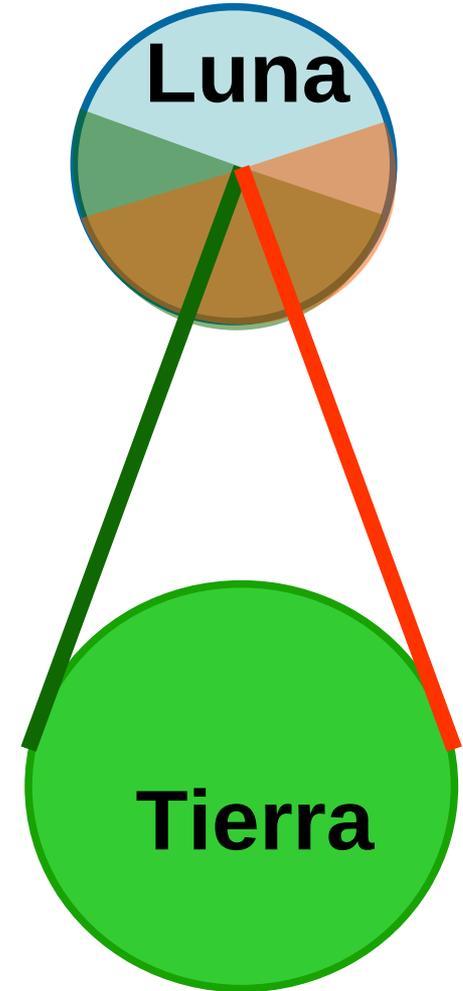
libración diurna



amplitud = 7°

***libración en longitud
+ libración en latitud
+ libración diurna***

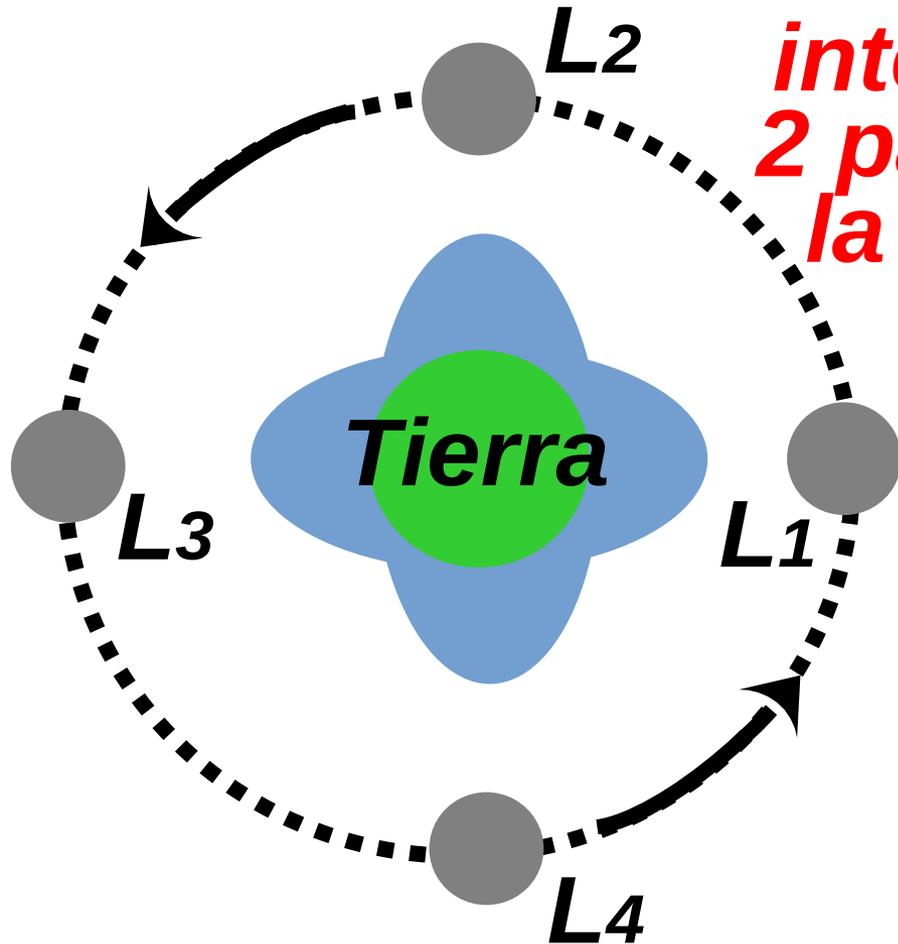
vemos el 59% (3/5) de la superficie lunar



amplitud = 1°

mareas

qué observamos?: 2 bajamares y 2
pleamares en 1 día lunar (**24h 48m**)
1 bajamar o 1 pleamar cada 6h|12m



**intervalo de tiempo entre
2 pasaje consecutivos de
la Luna por el meridiano
superior de un lugar**

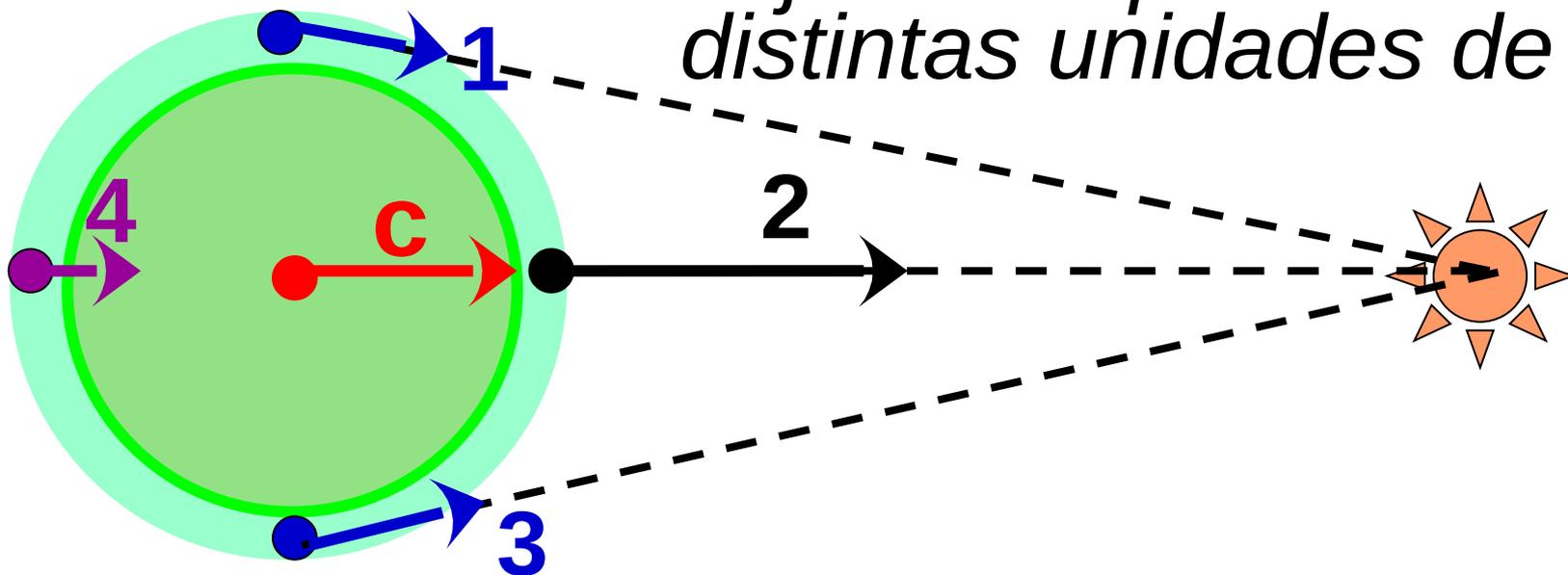
**en el intervalo de
tiempo en el que la
Tierra rotó 360° la
Luna se desplazó
unos 13° en su órbita**

fuerza gravitacional del Sol sobre la Tierra = 181 veces fuerza gravitacional de la Luna sobre la Tierra

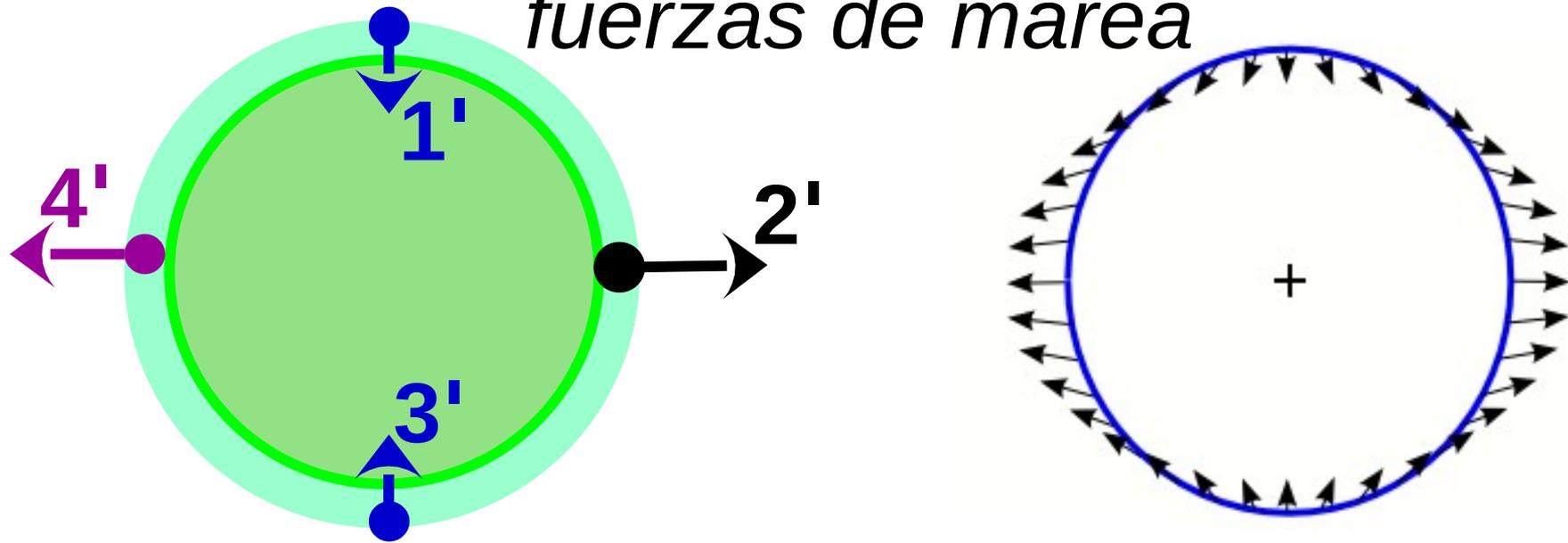
sin embargo, la intensidad de las mareas debidas a la Luna es 2,5 veces mayor que la intensidad de las mareas debidas al Sol

lo importante es la fuerza gravitacional diferencial!!!!

fuerzas ejercidas por el Sol sobre distintas unidades de masa

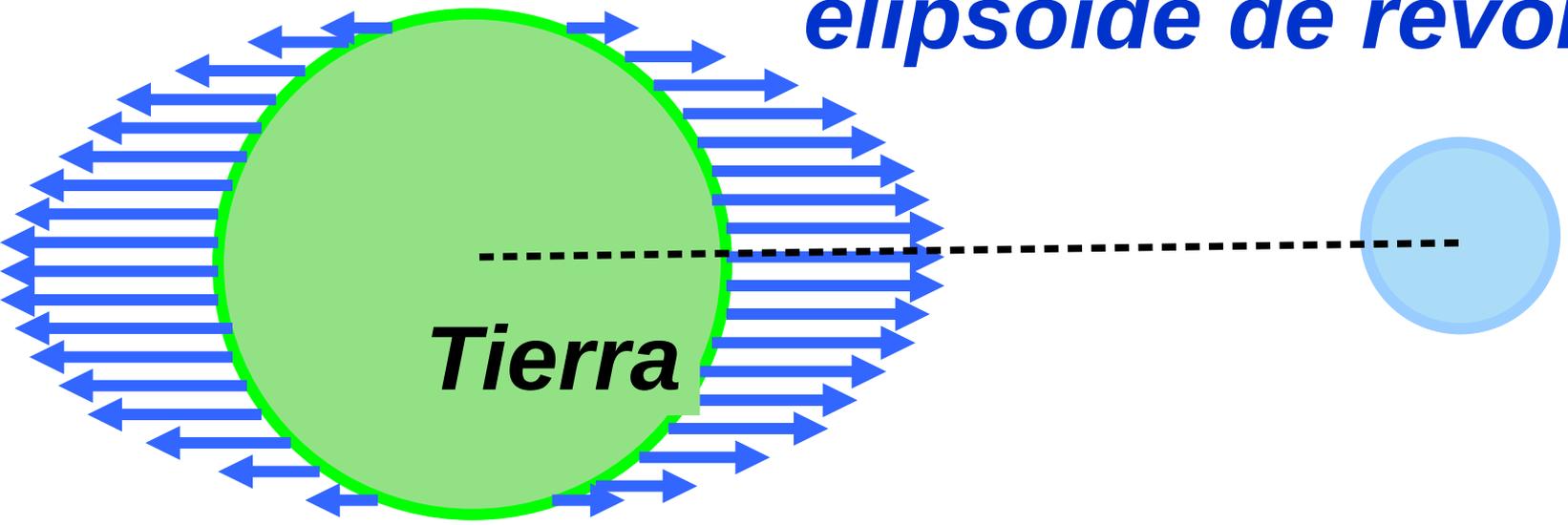


fuerzas de marea



1', 2', 3', 4': diferencias entre 1,2,3, 4 y c

*superficie de las aguas:
elipsoide de revolución*

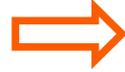


**conjunciones
y oposiciones**



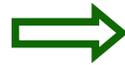
**mareas vivas o
mareas de sicigias**

**cuartos crecientes
y menguantes**



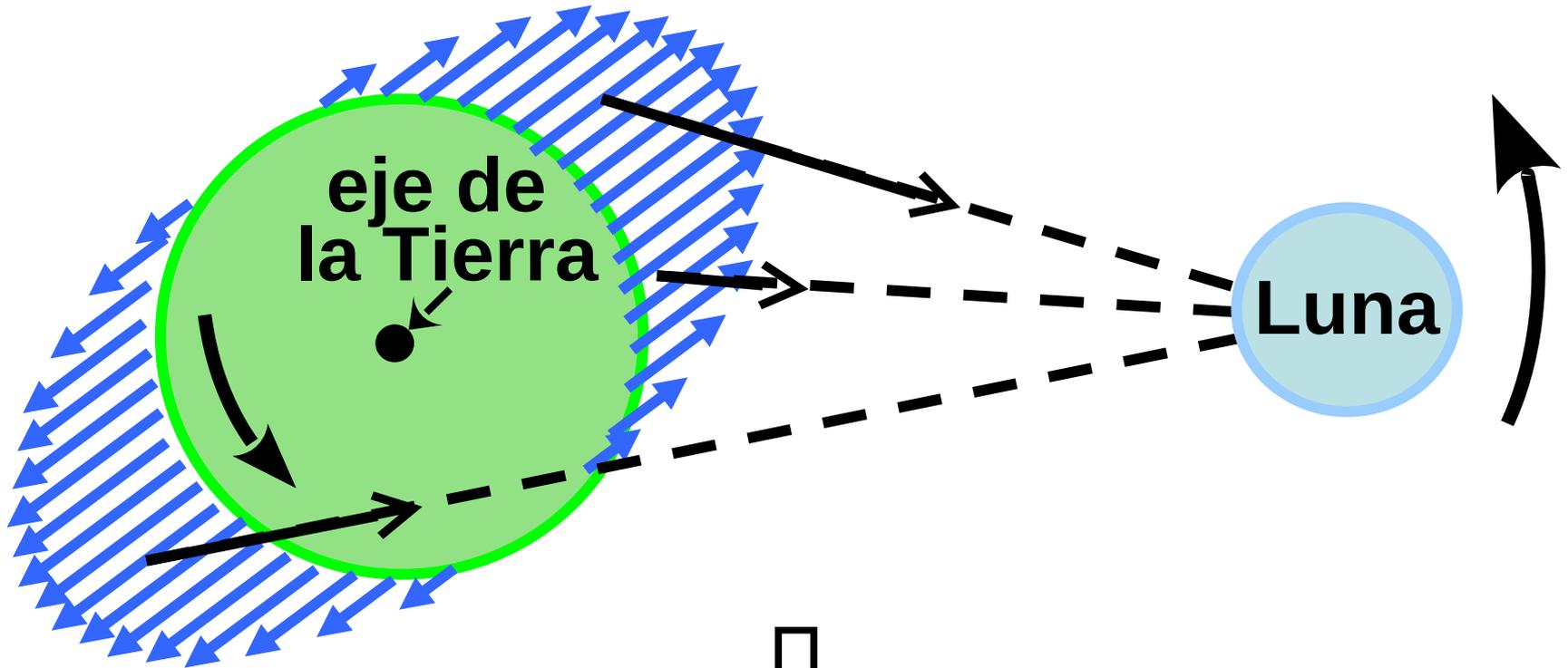
**mareas muertas
o mareas de
cuadraturas**

**conjunciones y
oposiciones y el Sol y
la Luna en sus perigeos**



**mareas
extraordinarias**

el elipsoide de revolución es arrastrado por la Tierra en su rotación y se adelanta a la Luna



torque ejercido por la Luna sobre la Tierra

la Tierra pierde momento angular y energía cinética de rotación: rota mas lentamente y se alarga el día (0.0023s/siglo)

la Luna gana momento angular y algo de energía cinética de revolución: se aleja de la Tierra (3.8cm/año) y se alarga el mes

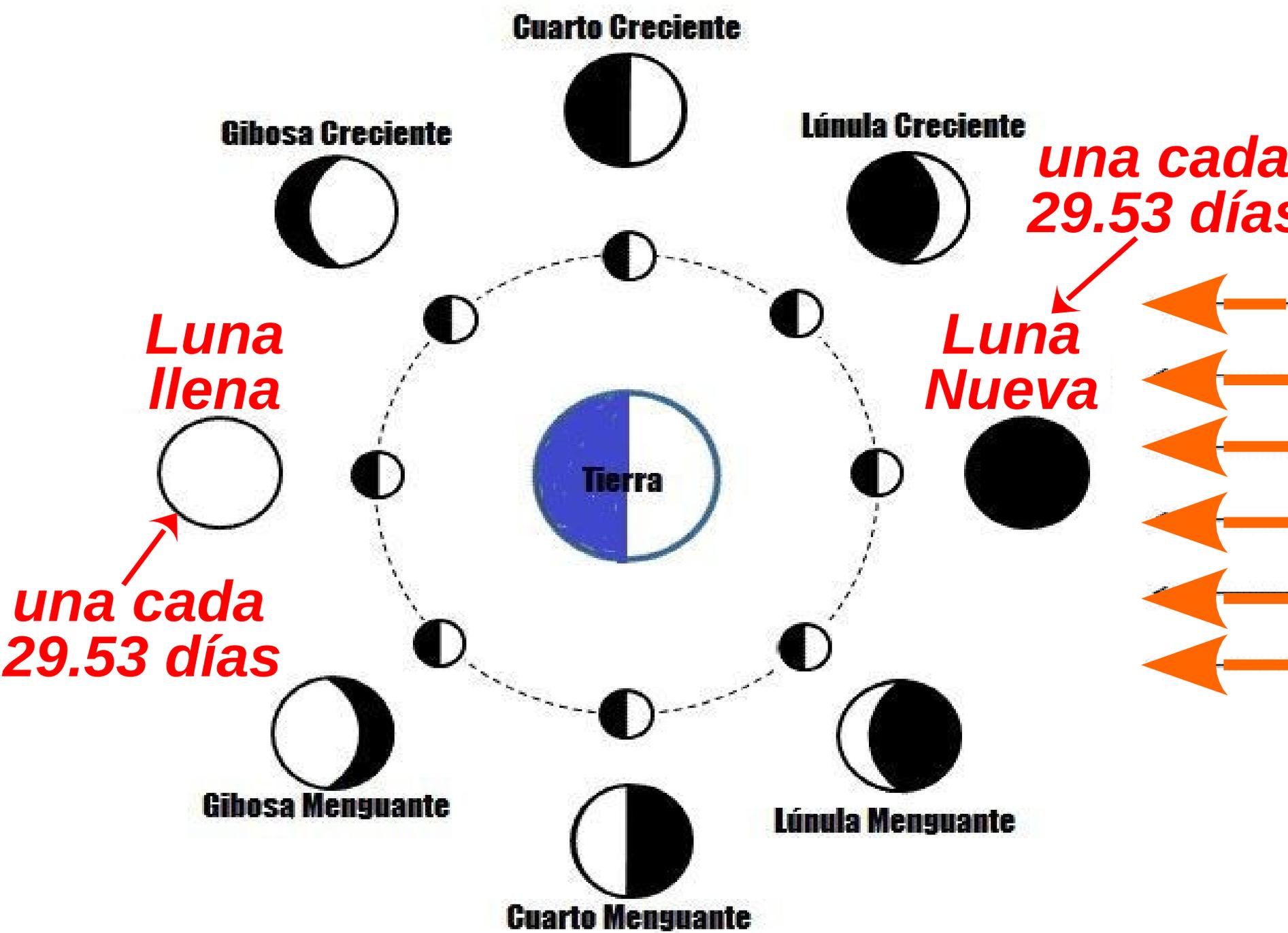
parte de la energía cinética de rotación perdida por la Tierra se transforma en calor

eclipses

eclipse de Sol: desaparición momentánea, parcial o total, del Sol debido a la interposición de la Luna entre la Tierra y el Sol sólo pueden ocurrir en Luna Nueva, cuando la Luna y el Sol están en conjunción respecto de la Tierra

eclipse de luna: desaparición momentánea, parcial o total, de la Luna debido a la penetración de la Luna en el cono de sombra de la Tierra

sólo pueden ocurrir en Luna Llena, cuando la Luna y el Sol están en oposición respecto de la Tierra



Cuarto Creciente

Gibosa Creciente

Lúnula Creciente

una cada 29.53 días

*Luna
llena*

*Luna
Nueva*

una cada 29.53 días

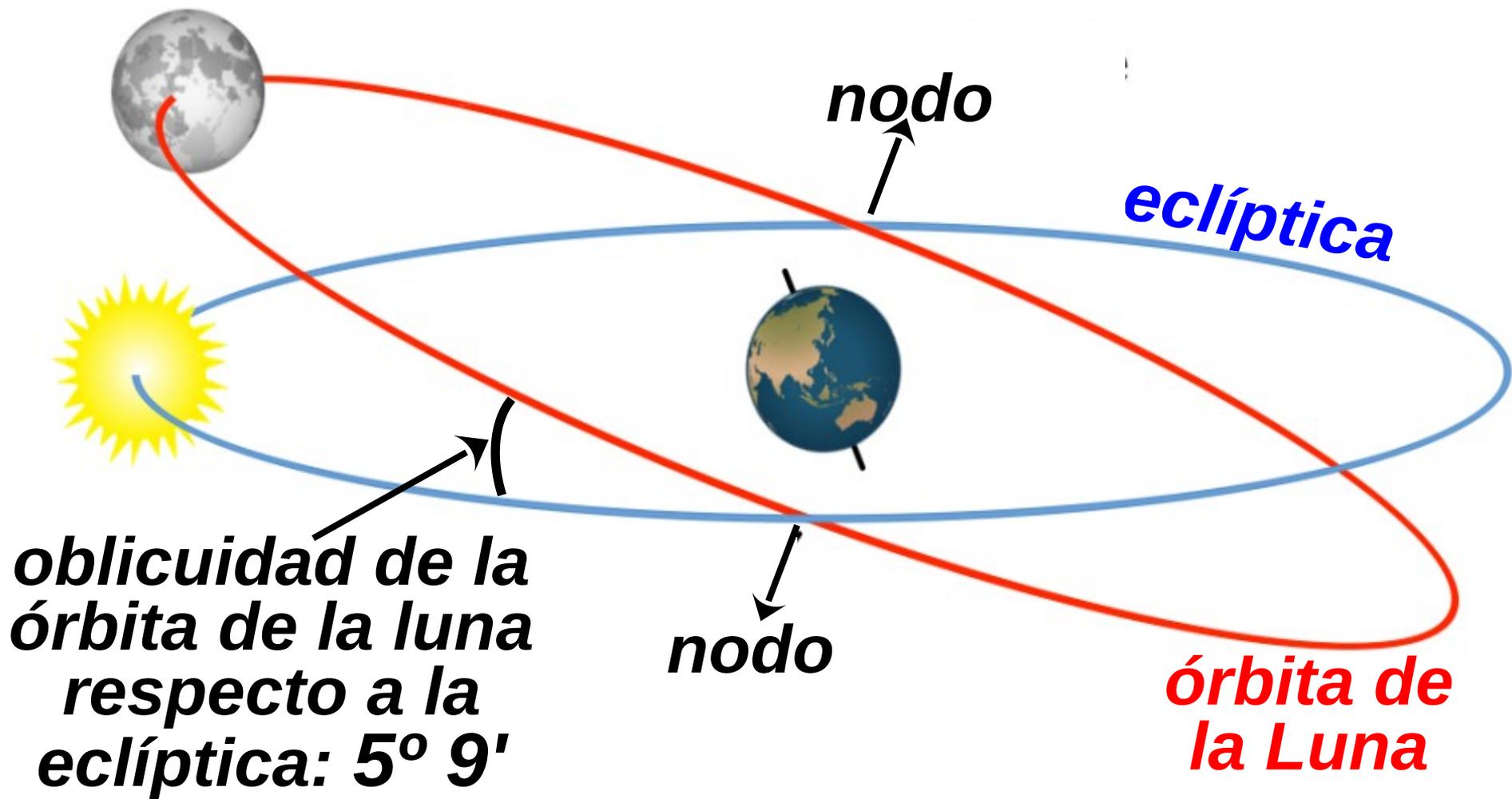
Gibosa Menguante

Lúnula Menguante

Cuarto Menguante

Tierra

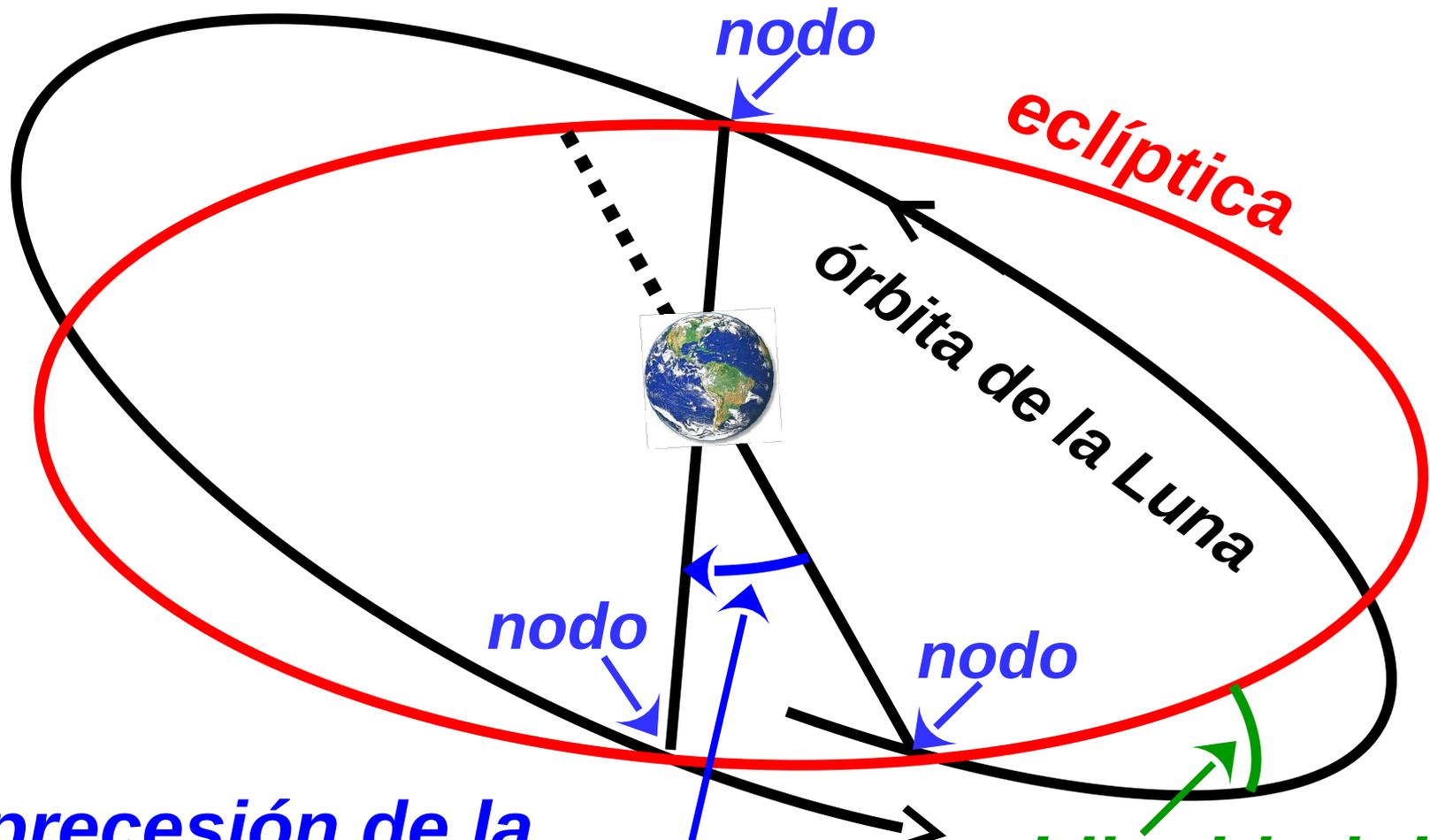
debido a la inclinación de la órbita de la Luna respecto de la eclíptica no observamos un eclipse de Sol en cada Luna nueva ni un eclipse de Luna en cada Luna llena





los eclipses sólo ocurren con el Sol y la Luna en alguno de los nodos o cerca de ellos

pero los nodos precesan



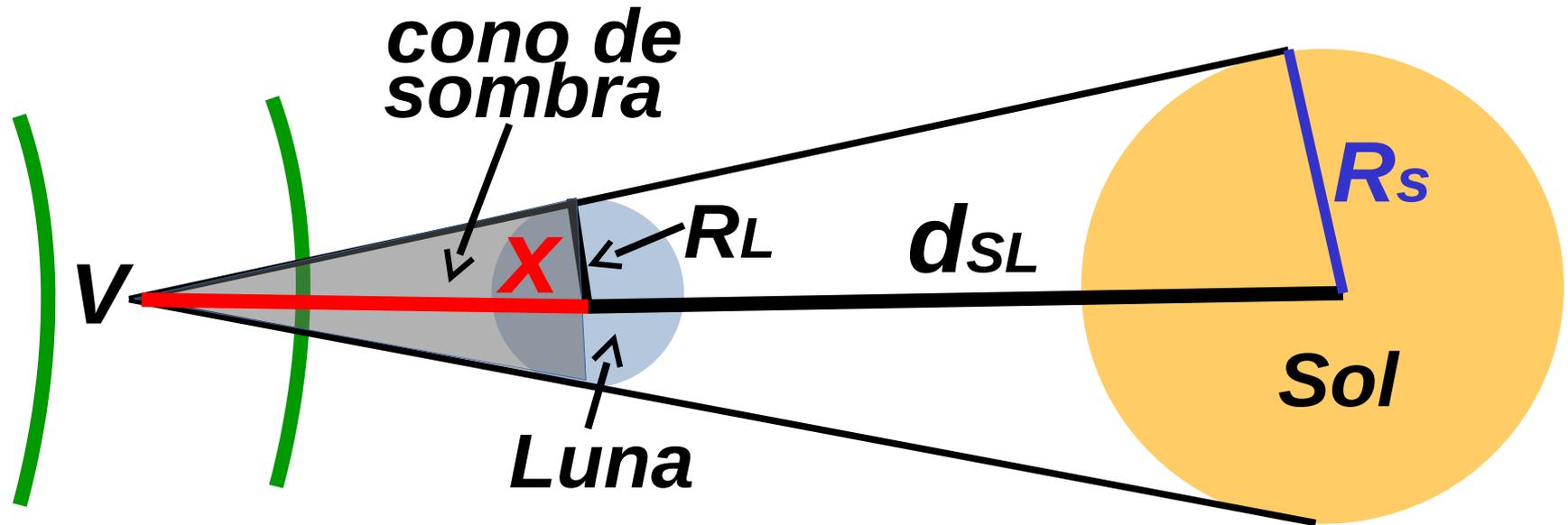
precesión de la órbita de la luna



**retrogradación de los nodos:
≈ 19° (19.3548°) por año**

oblicuidad de la órbita de la luna respecto a la eclíptica: 5° 9'

eclipses de Sol



$$\frac{X}{(X+d_{SL})} = \frac{R_L}{R_s} \Rightarrow \begin{cases} X_{min} = 366332\text{km} \\ X_{max} = 379074\text{km} \end{cases}$$

$$356776\text{km} < d_{TL} < 407744\text{km}$$

en algunas ocasiones la sombra lunar llega a la superficie terrestre y en otras no

condiciones de ocurrencia de un eclipse de sol

1) Sol y Luna en conjunción con respecto a la Tierra

**una conjunción cada 29.530588 días
(período sinódico)**

2) Sol próximo al nodo (visto desde la Tierra a distancia angular $< 17^\circ$).

**pasaje por uno de los nodos cada 173d
(revolución dracónica del Sol = 346d)**

cada 173 días el Sol permanece a menos de 17° de un nodo por 34 días



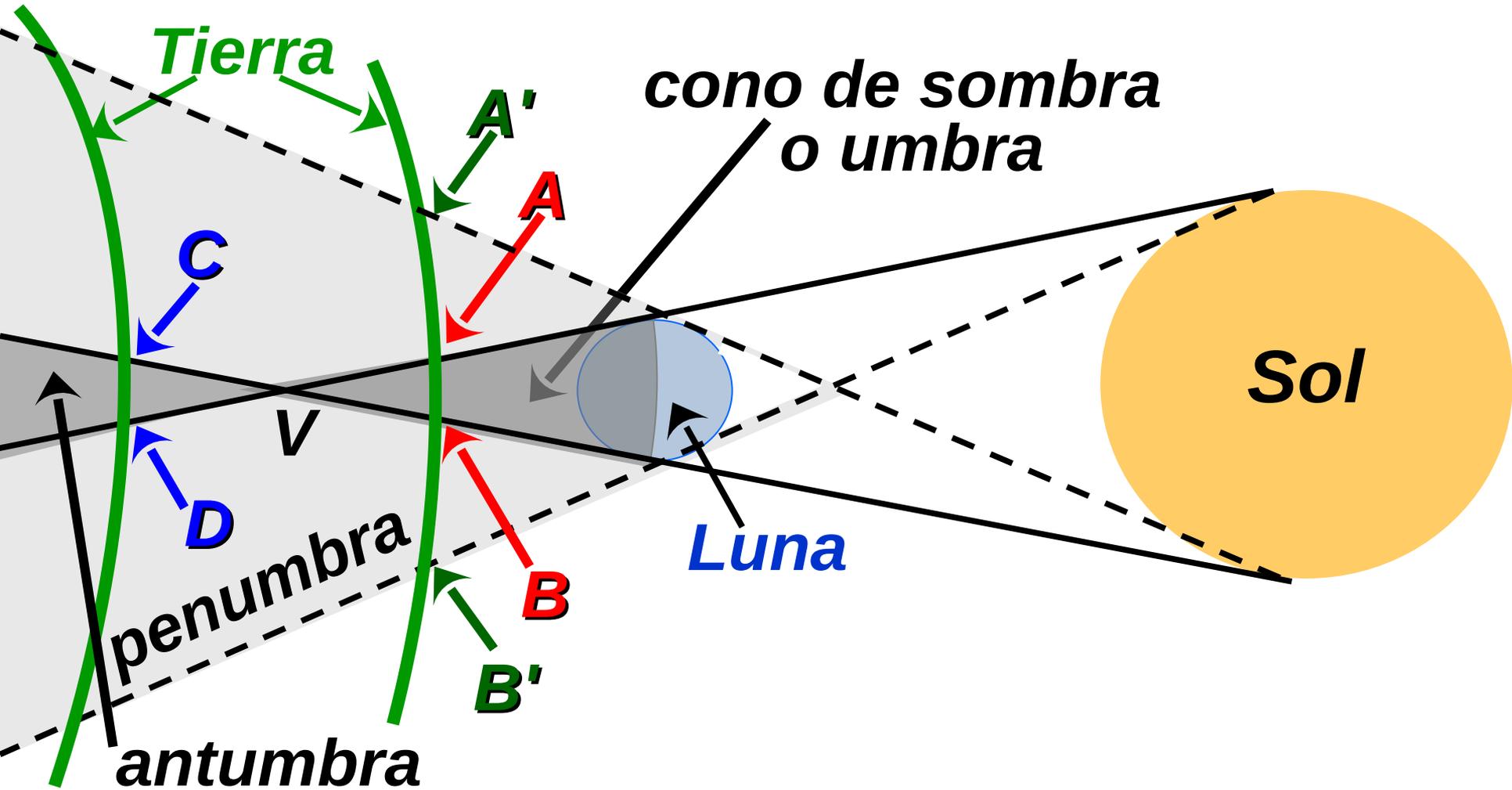
período eclíptico = 34 días

1) y 2) ⇒ al menos 2 eclipses de Sol al año

pueden ocurrir hasta 5!

para eclipse total, además de 1) y 2) debe ocurrir:

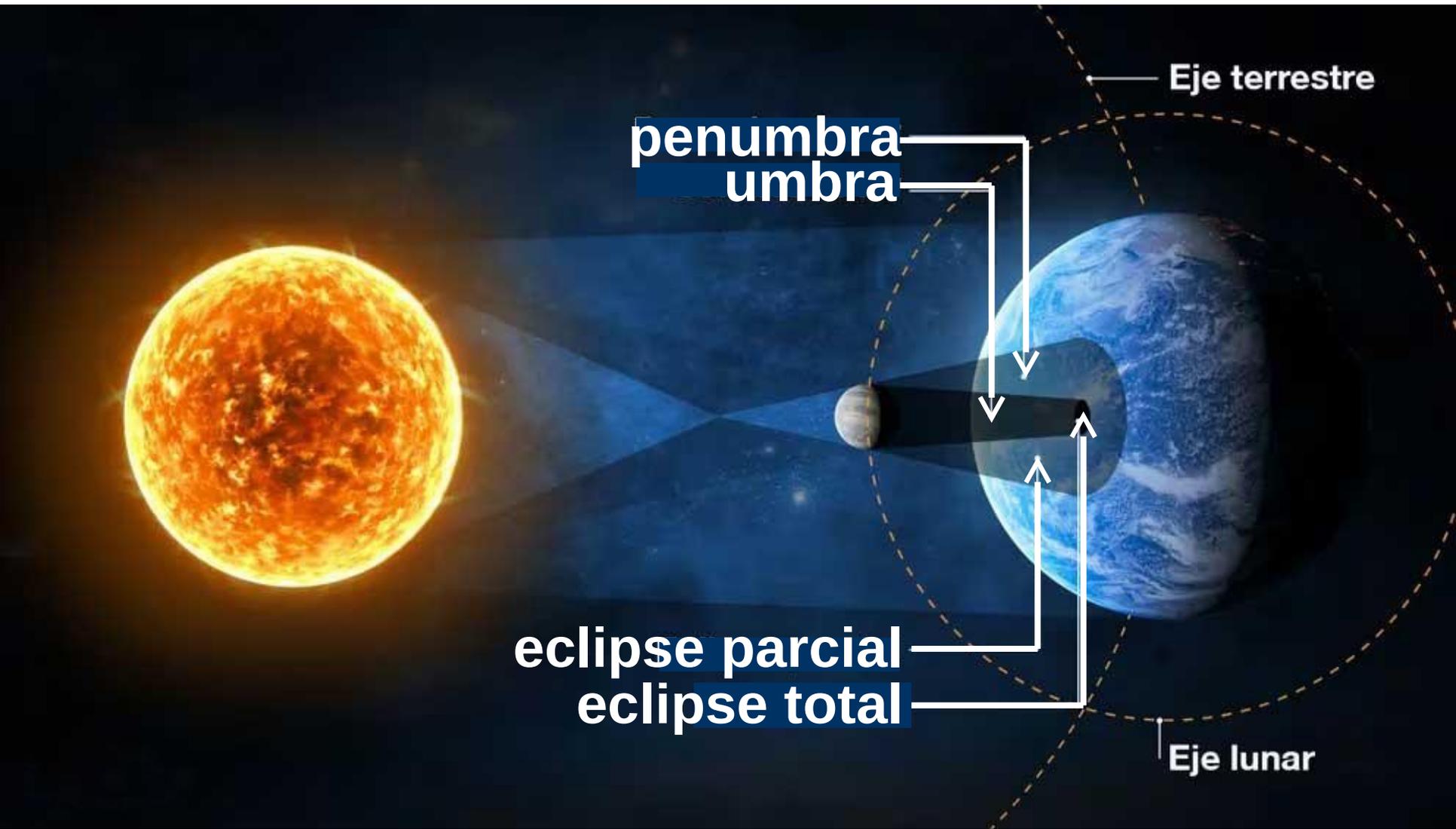
3) Luna cerca de su perigeo



eclipse total: en una región circular de radio AB

eclipse anular: en un región circular de radio CD

eclipse parcial: en un anillo de radio $AA'BB'$



Eje terrestre

penumbra
umbra

eclipse parcial
eclipse total

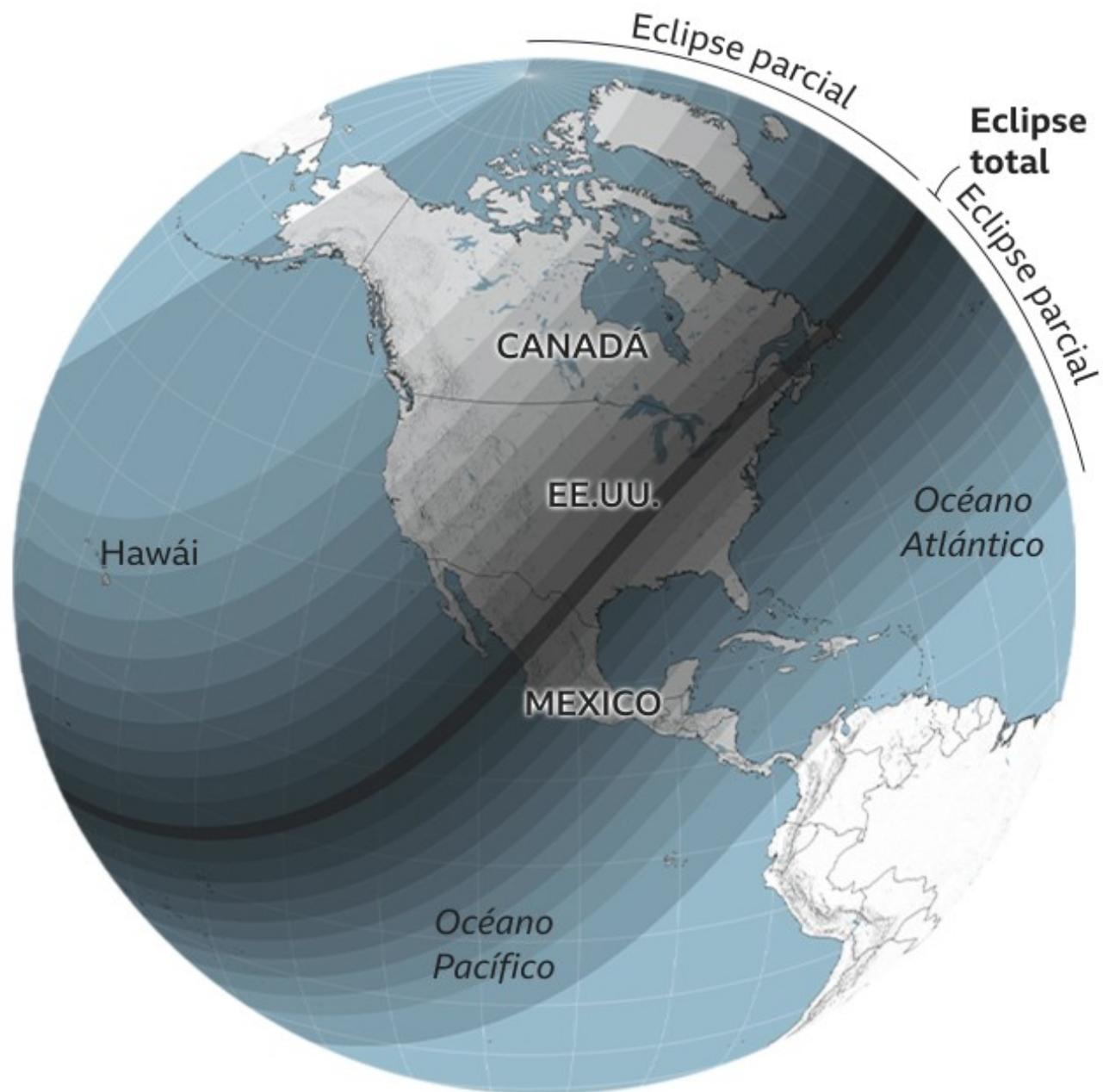
Eje lunar

la umbra y la antumbra definen sobre la superficie de la Tierra regiones de radio menores a 300km donde se producirían eclipses totales o anulares de Sol que, debido a la rotación de la Tierra y al movimiento orbital de la Luna, se desplazan a una velocidad máxima de 1670km/h en el ecuador

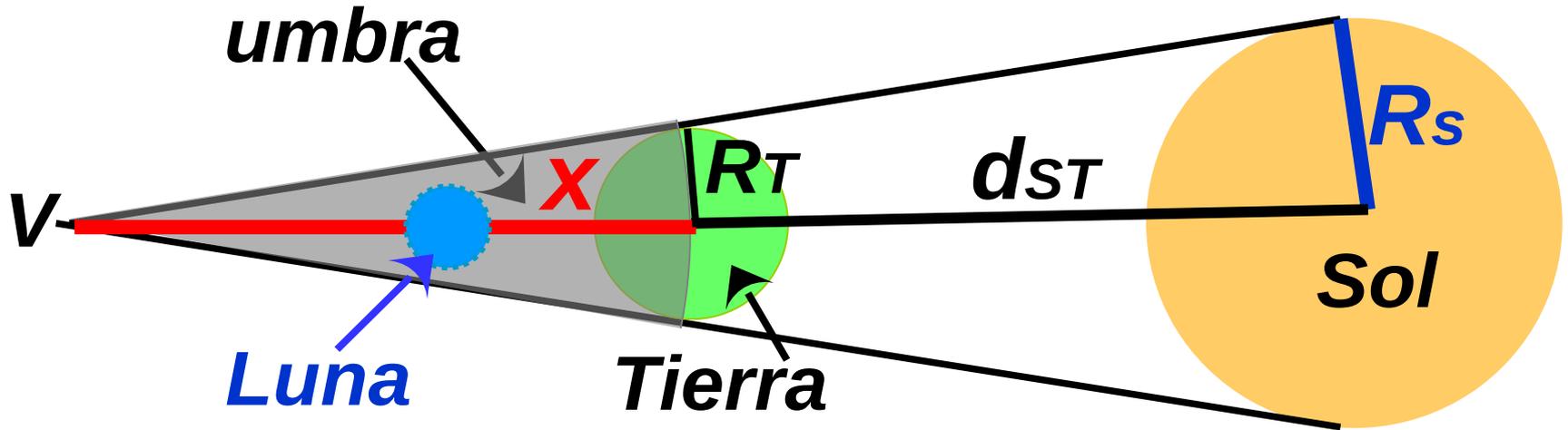
la duración máxima de un eclipse total es de unos 8', en el ecuador, con la Luna en el perigeo y el Sol en el apogeo y de uno anular es de unos 12', en el ecuador, con la Luna en el apogeo y el Sol en el perigeo

la duración máxima de un eclipse parcial puede llegar a 4h 30m, en el ecuador

Trayectoria del eclipse del 8 de abril de 2024



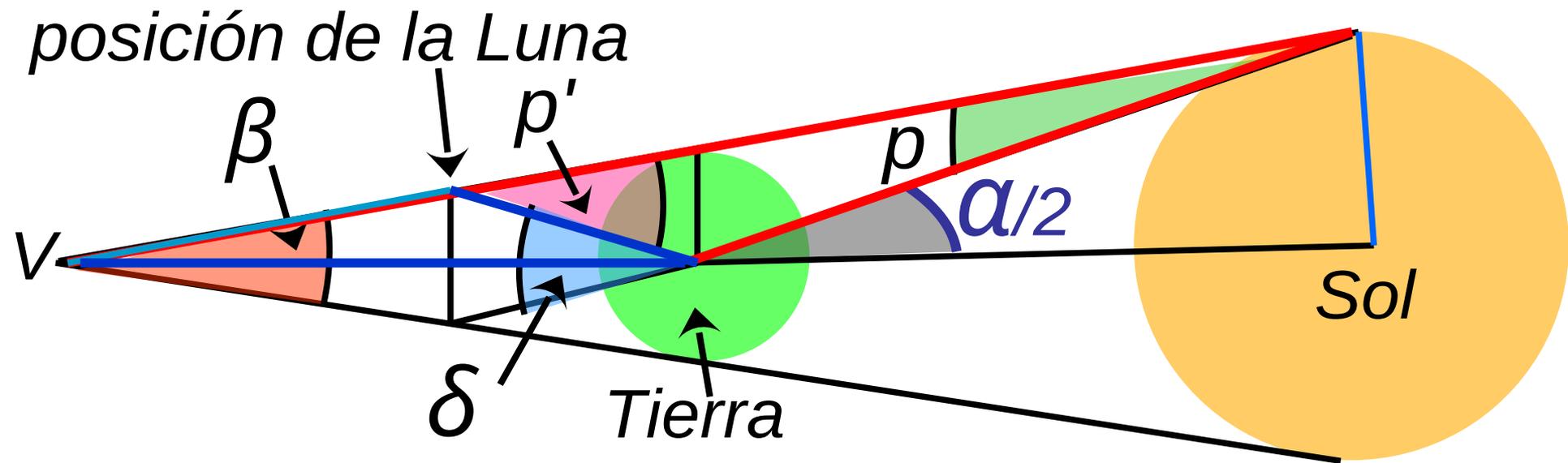
eclipse de Luna



$$\frac{X}{(X+d_{ST})} = \frac{R_T}{R_S} \Rightarrow \begin{cases} X_{min} = 1357023\text{km} \\ X_{max} = 1401620\text{km} \end{cases}$$

$$356776\text{km} < d_{TL} < 407744\text{km}$$

la longitud del cono de sombra de la Tierra es siempre mayor que la distancia Tierra-Luna



$\alpha/2 = \text{radio aparente del Sol} \approx 15'$
 $p = \text{paralaje solar} \approx 9''$ $p' = \text{paralaje lunar} \approx 57'$
 $\delta = \text{diámetro aparente del cono de sombra a la distancia de la Luna}$
 $\beta = \text{abertura del cono de sombra de la Tierra}$

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha/2 &= p + \beta/2 \Rightarrow \beta = \alpha - 2p \\
 p' &= \beta/2 + \delta/2 \Rightarrow \delta = 2p' - \beta
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \delta = 2(p + p') - \alpha$$

$\delta \approx 1^\circ 22' 18''$
 > que el diámetro aparente de la Luna

condiciones de ocurrencia de un eclipse de luna

1) Sol y Luna en oposición con respecto a la Tierra

una oposición cada 29.530588 días (período sinódico).

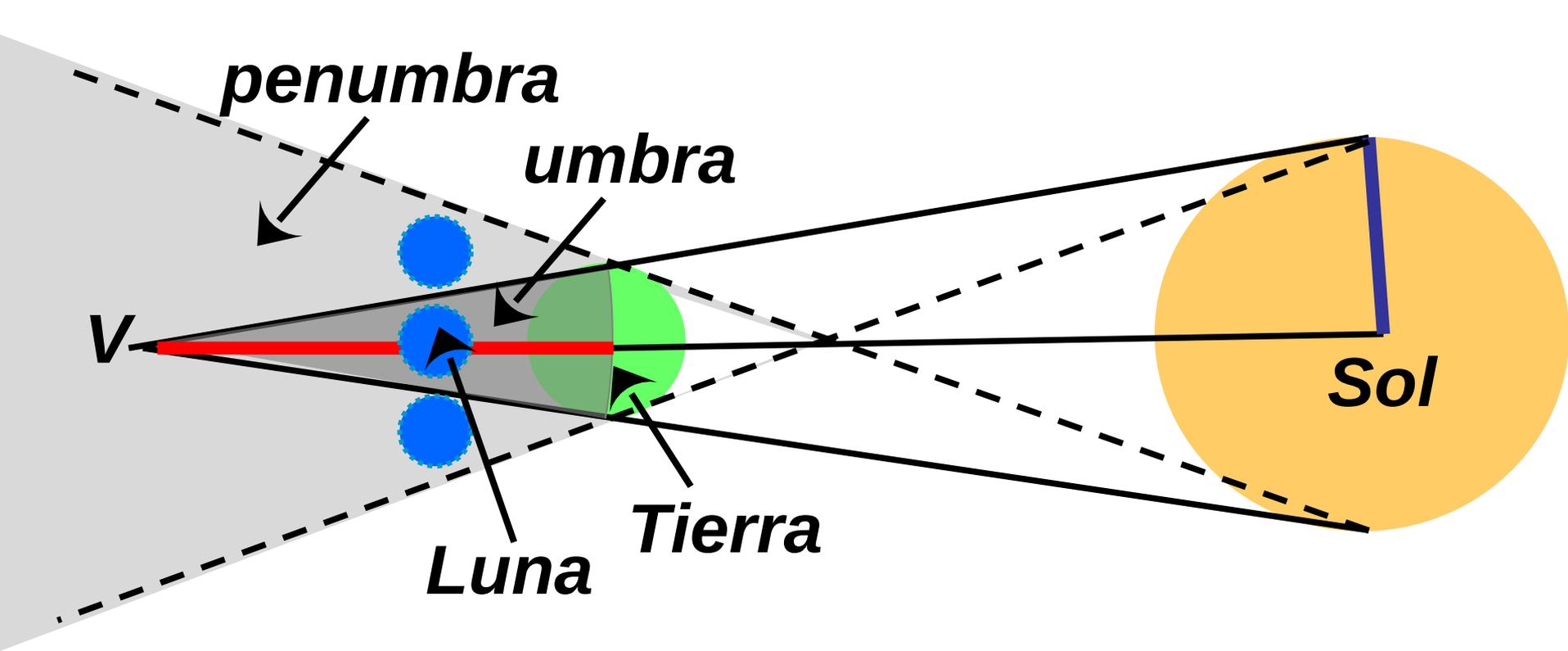
2) Sol próximo al nodo (visto desde la Tierra a distancia angular $< 12^\circ$).

**pasaje por uno de los nodos cada 173d
cada 173 días el Sol permanece a
menos de 12° de un nodo por 24 días**



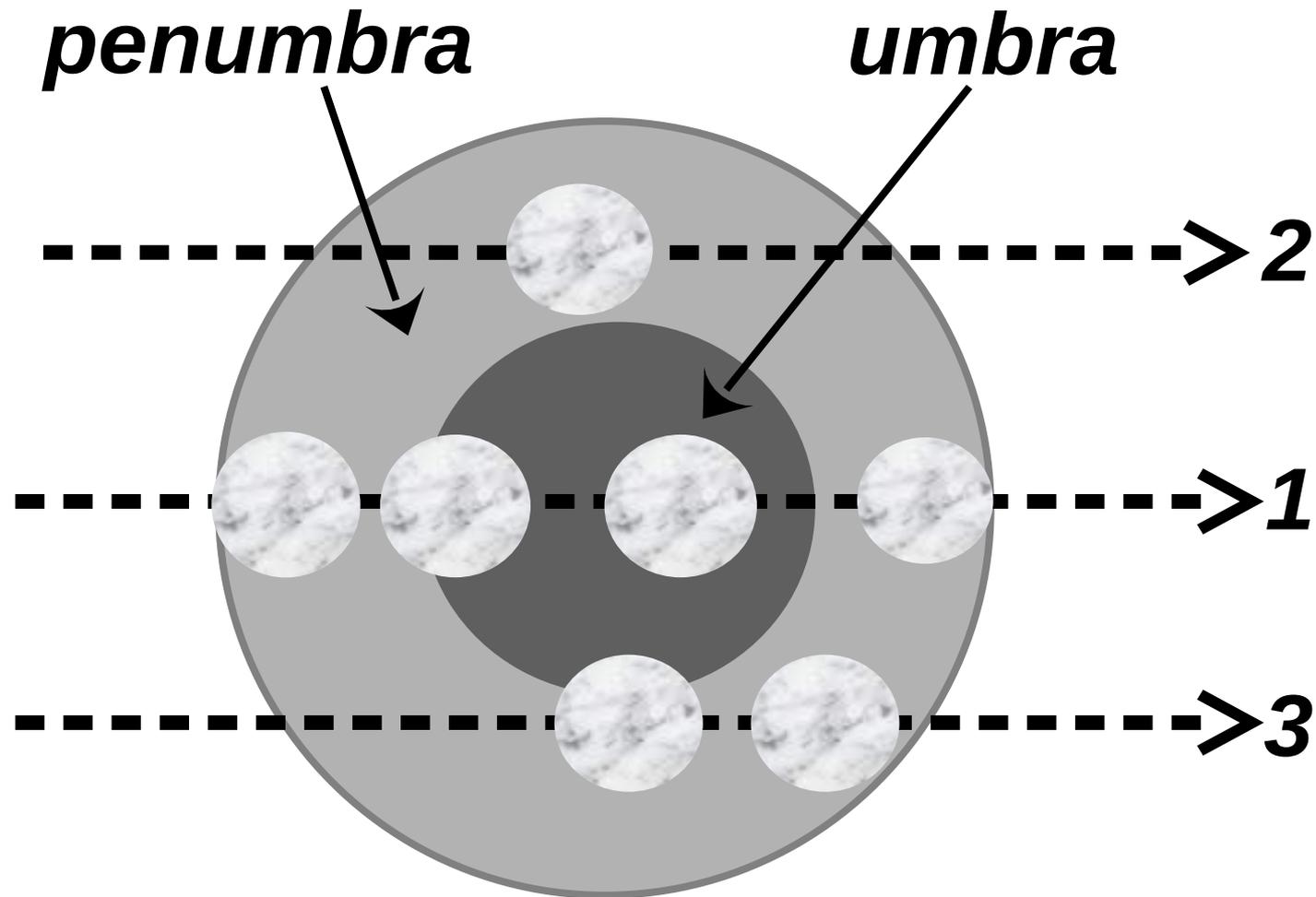
período eclíptico = 24 días

1) y 2) \Rightarrow entre 0 y 3 eclipses de Luna al año



el eclipse total de Luna es visible para todo observador con la Luna sobre el horizonte, con una duración máxima de $\approx 2h$

el eclipse penumbral de Luna es visible para todo observador con la Luna sobre el horizonte, con una duración máxima de $\approx 4h$

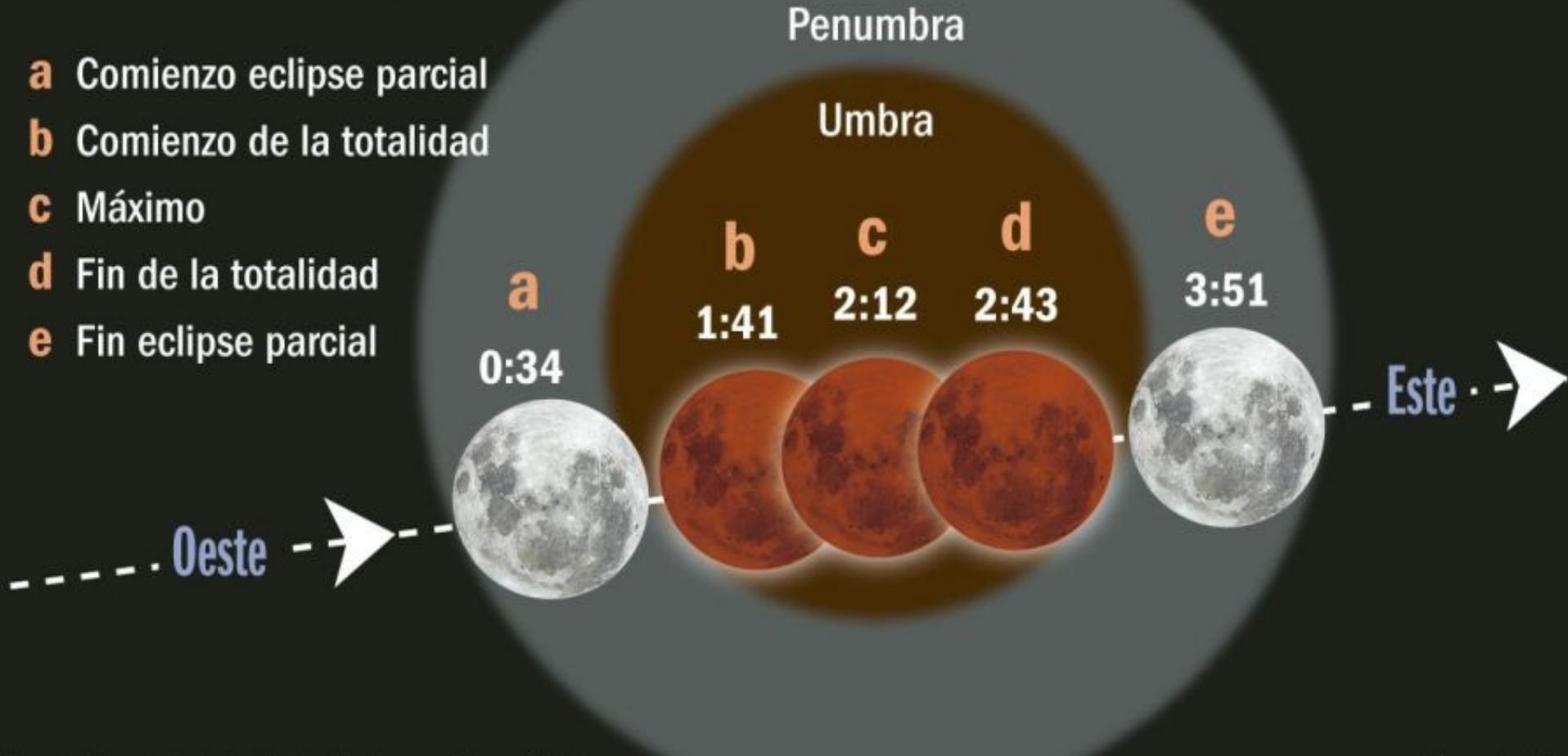


- 1: eclipse parcial, total y penumbral**
- 2: eclipse penumbral**
- 3: eclipse penumbral y parcial**

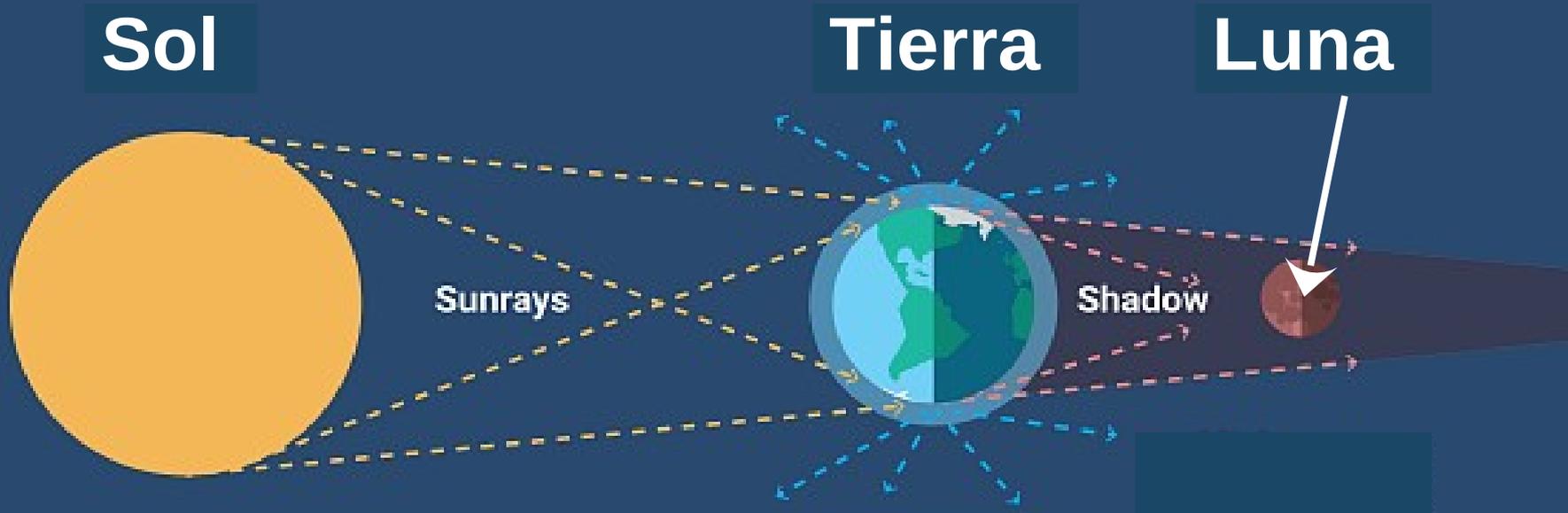
Horarios del eclipse

Duración: **62 minutos**

- a** Comienzo eclipse parcial
- b** Comienzo de la totalidad
- c** Máximo
- d** Fin de la totalidad
- e** Fin eclipse parcial



durante el eclipse parcial la Luna disminuye su brillo imperceptiblemente, y durante el eclipse total no es oscurecida totalmente observándose con una tonalidad rojiza



la atmósfera terrestre desvía la luz azul del Sol en mucho mayor proporción que la luz roja, la que cae en la umbra luego de ser refractada por la atmósfera

predicción de los eclipses

período sinódico de la Luna: intervalo de tiempo entre dos fases consecutivas iguales $\approx 29.530588d$

período dracónico de la Luna: intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos de la Luna por el mismo nodo $\approx 27.2122d$

período anomalístico de la Luna: intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos de la luna por el perigeo $\approx 27.55455d$

223 períodos sinódicos ≈ 6585.3211 días

6585 días 7h 42.38m

242 períodos dracónicos ≈ 6585.3567 días

6585 días 8h 33.65m

239 períodos anomalísticos ≈ 6585.5374 días

6585 días 12h 53.86m

18 años 11 días \approx 6585.36 días
período de los Saros o período Caldeo

cada 18 años y 11 días se repiten los eclipses con características muy similares, aunque no son exactamente iguales ya que el período de los Saros no es un múltiplo exacto de los períodos sinódico, dracónico y anomalístico

además, el **año dracónico del Sol**, intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos del Sol por el mismo nodo lunar, \approx 346.62d, implica que 19 años dracónicos del Sol \approx **6585 días 19 horas**, por lo que el período de los Saros tampoco es un múltiplo exacto del año dracónico del Sol

1 Saros: 18 años 11 días \approx 6585.36 días

ya que el período de los Saros no contiene un número exacto de días, sino 6585 días 8.6 horas, cada eclipse se desplaza unos 120° hacia el oeste respecto del ocurrido 18 años y 11 días antes, siendo visibles así en distintas zonas de la Tierra

cada 3 Saros (54 años 34 días) los eclipses ocurren aproximadamente en la misma longitud terrestre

sin embargo, los eclipses no se repiten eternamente, mediando entre su nacimiento y su muerte entre 1200 y 1500 años

un período Saros contiene un promedio de 70 eclipses, 41 de Sol y 29 de Luna

origen de la Luna

edad de la luna = 4.5 billones de años

- 1. la Luna se formó al mismo tiempo que la Tierra, del mismo material, ya en órbita alrededor de ella**
- 2. la Luna se formó en algún otro lugar del Sistema Solar, con otro material, y luego fue capturada por la Tierra**
- 3. la Luna se formó expulsada desde la Tierra debido a su rápida rotación**
- 4. la Luna se formó a partir de que otro pequeño cuerpo del Sistema Solar en formación golpeó la Tierra, y material desde la superficie de la misma fue expulsado y puesto en órbita**

1. la Luna se formó al mismo tiempo que la Tierra, del mismo material, ya en órbita alrededor de ella

hipótesis de co-formación

defectos de la teoría :

la Tierra tiene un corazón de hierro que representa más del 30% de su masa y la Luna un pequeño corazón de hierro, representando sólo el 10 o 15% de su masa

no explica el momento angular del sistema Tierra-Luna

2. la Luna se formó en algún otro lugar del Sistema Solar, con otro material, y luego fue capturada por la Tierra

hipótesis de captura

defectos de la teoría :

las rocas lunares tienen la misma composición isotópica que la Tierra

no explica el momento angular del sistema Tierra-Luna

3. la Luna se formo expulsada desde la Tierra debido a su rápida rotación

hipótesis de fisión

defectos de la teoría :

la órbita de la Luna debería estar en el plano ecuatorial terrestre

no explica el momento angular del sistema Tierra-Luna

4. la Luna se formo a partir de que otro pequeño cuerpo del Sistema Solar en formación golpeó la Tierra, y material desde la superficie de la misma fue expulsado y puesto en órbita

hipótesis de la colisión

la Luna se formó con material de la superficie terrestre

momento angular y energía consistentes con la realidad

tiene poco hierro

igual composición isotópica que la Tierra

aunque aún se discute el proceso de formación de la Luna, la hipótesis de la colisión es hoy la más aceptada