

De la Física Celeste a la Cronometría y Utilidad de la Luna

Parte I: Mecánica Planetaria

Parte II: Tiempo y Calendarios

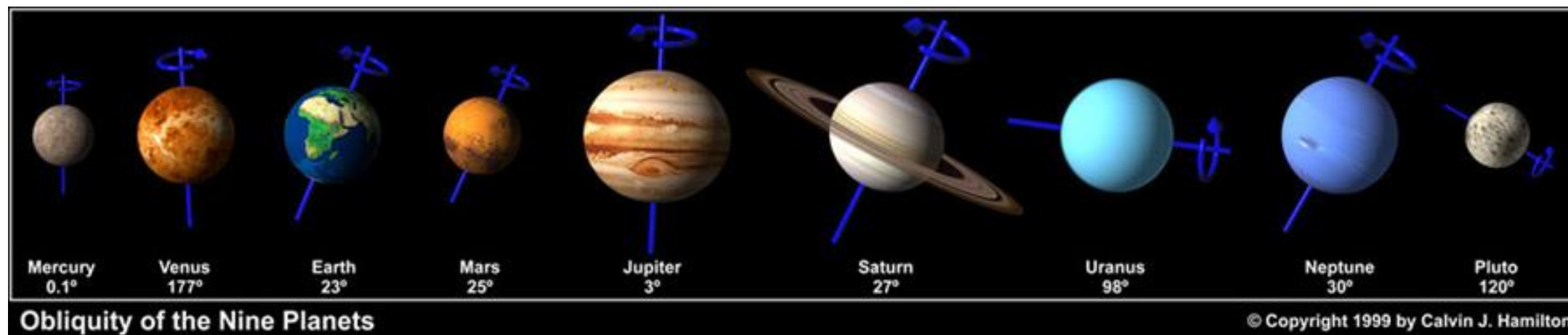
Parte III: La Luna



Gonzalo Duque Escobar*

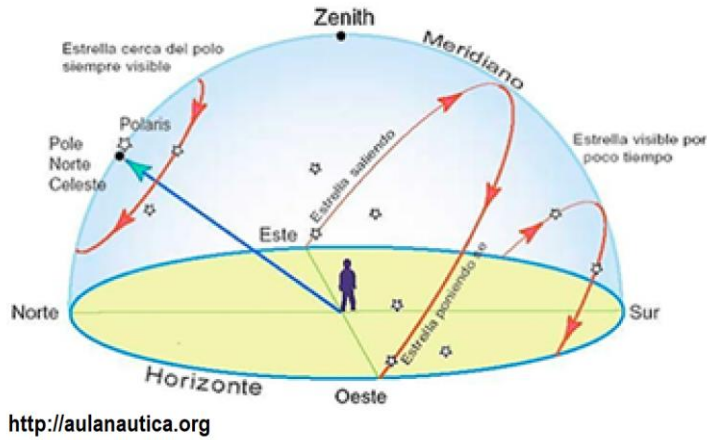
Manizales, Septiembre 30 de 2026.

Parte I: Mecánica Planetaria



Portada: Banner de los Planetas del Sistema Solar. JCV.

Fundamentos



Movimiento aparente del cielo, en:

<https://www.uv.es/>

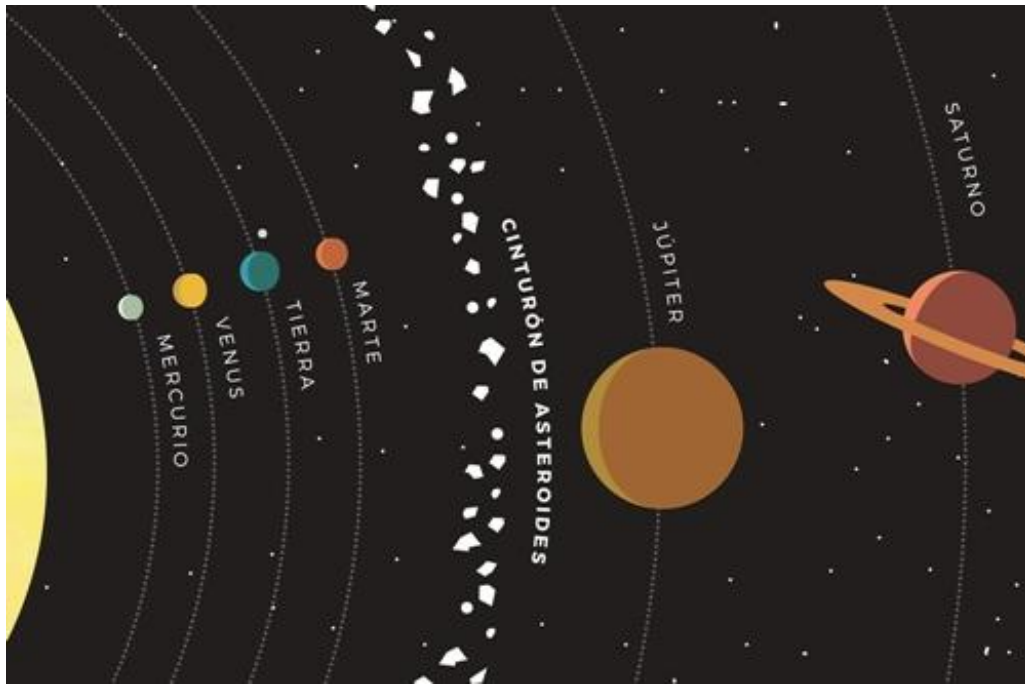


Disco de acreción y protoestrella en:

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

- Como asunto fundamental, las estrellas aparecen fijas o firmes en firmamento, mientras los planetas son errantes; es decir, con el transcurso del tiempo a lo largo del año, pasan de una constelación a otra.
- Al mirar al cielo, para diferenciar los planetas de las estrellas, los primeros no titilan, pero las estrellas sí debido a la inestabilidad de la atmósfera, ya que de una estrella sólo llega un rayo de luz que se pierde momentáneamente, mientras que del planeta muchos reemplazan al que se desvanece por el efecto de la atmósfera.
- Además, dado que el sistema solar se forma a partir de un disco de acreción, los planetas además de heredar el sentido de traslación de la nube primigenia, siempre aparecen ubicados en vecindades del plano orbital de la Tierra.
- El color rojo o anaranjado de Marte y Saturno más intenso en el primero, y el color blanco de Venus y Júpiter, contribuye a su diferenciación, al igual que el carácter matutino o vespertino de Venus condicionado a su ubicación interior en el sistema solar. Adicionalmente, mientras Júpiter, al igual que Marte y Saturno, puede observarse a media noche. Ver: [Elementos de Astrofísica y Las Estrellas](#) .

Planetas del Sistema Solar

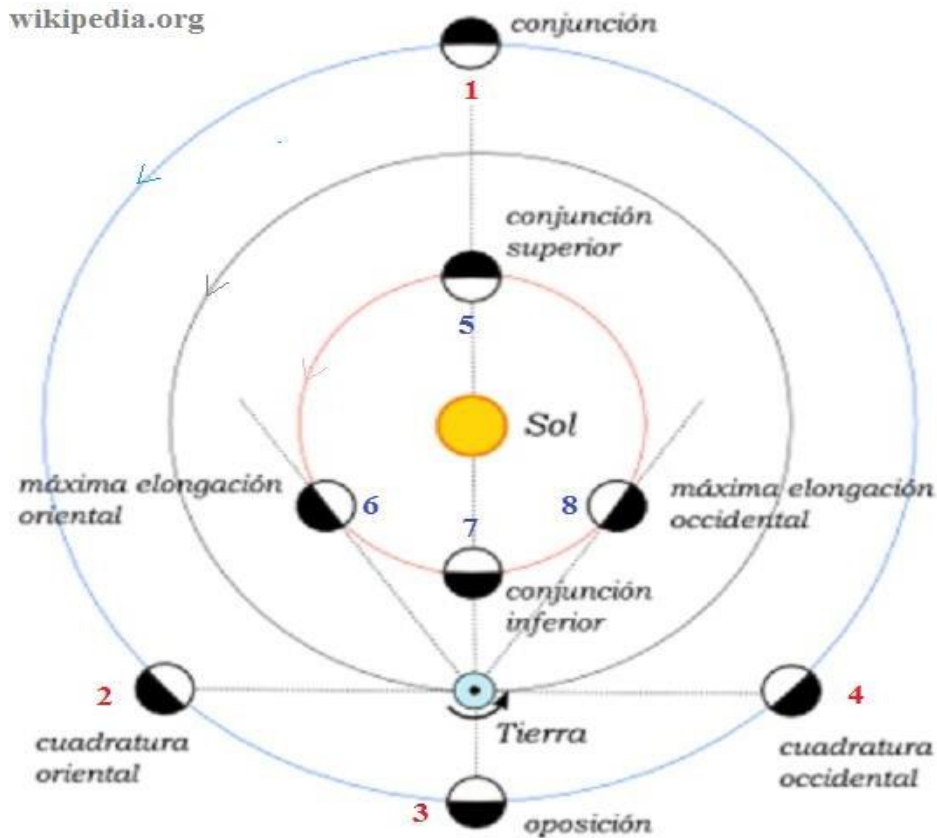


Estructura del Sistema Solar planetario, con el cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter. Algunos cuerpos en el cinturón de asteroides son Ceres, Vesta, Pallas e Hygiea. En <https://www.visualavi.com/>

- Por su composición, los planetas del sistema solar, suelen clasificarse **en rocosos y gaseosos**. Los rocosos, telúricos, o terrestres- **Mercurio, Venus, Tierra y Marte**- son de densidad elevada, con una estructura interna bien diferenciada, y tamaño relativamente similar. Contrariamente, los **planetas gaseosos** -Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno-, caracterizados por su enorme tamaño, y poseen atmósferas densas.
- También, **por su distancia al Sol**, respecto al cinturón de asteroides, se clasifican en planetas **interiores y exteriores**. Los interiores se encuentran antes del **cinturón de asteroides** y son Mercurio, Venus, Tierra y Marte. Los exteriores, están más allá y son Júpiter, Saturno, Urano, y Neptuno.
- Vistos desde la Tierra, Mercurio y Venus tienen las cuatro fases como las tiene la Luna, razón por la cual el brillo de Venus es variable en el cielo. Las posiciones interesantes a registrar en Venus y Mercurio, son las **ocultaciones** por la Luna y los **tránsitos** por adelante y por atrás del Sol. De otro lado, Marte, Júpiter y Saturno, hacen bucles, y como planetas exteriores pueden tener además de ocultaciones y oposiciones que los hacen visibles a media noche.
- Plutón, es un planeta enano de constitución rocosa y situado a continuación de la órbita de Neptuno. La IAU lo reclasificó como un planeta enano en 2006, y también lo llamó un «Objeto transneptuniano». Ver: [Manual de geología para ingenieros](#).

Posiciones de un planeta

wikipedia.org

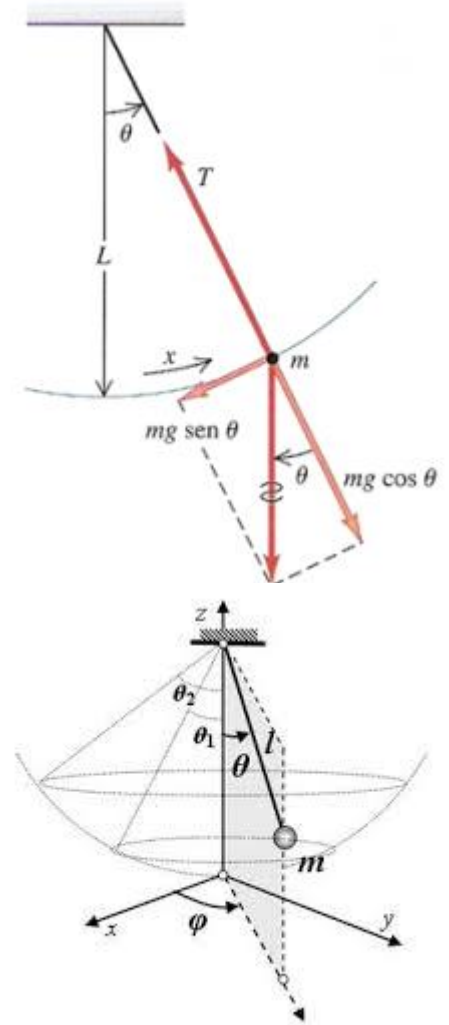


Puntos notables de un planeta interior o exterior., respecto al sistema Tierra-Sol.
Fuente: <https://es.wikipedia.org>

- Los planetas al igual que la Luna, además de su **vecindad a la eclíptica** o camino aparente del Sol, **se mueven de occidente a oriente**, razón por la cual cada noche salen un poco más tarde, dado que, en el sistema solar, la traslación planetaria es retrógrada respecto a la **estrella polar**.
- En las órbitas planetarias los Puntos Notables de las posiciones de los planetas respecto al Sistema Tierra-Sol, son: Conjunción, Oposición, Cuadratura (E y W) y Elongación (E y W).
- Ahora, igual que ocurre con **la rotación y traslación** de la Tierra, mirando el sistema solar desde la Estrella Polar, los planetas recorren sus órbitas en sentido retrógrado, razón por la cual podemos hablar de cuadratura Este y Oeste, y de elongación oriental y occidental.
- **Las velocidades planetarias van decreciendo** conforme el Espacio-Tiempo se afecta o curva menos por la gravedad del Sol, a **medida que nos alejamos**. Dicha anomalía gravitacional, varía inversamente con el cuadrado de la distancia. Ver: [Tránsito de Mercurio](#).

Galileo Galilei (1564-1642)

- Galileo a los 17 años, descubre las leyes del péndulo simple, donde el **período** no sólo es independiente de la **amplitud**, sino que **depende de su longitud y no de su masa**: a mayor longitud, mas lento es el balanceo. El movimiento del péndulo de un reloj se aproxima bastante al de un **péndulo simple**; mientras el **péndulo esférico**, en cambio, no está limitado a oscilar en un único plano.
- A los 20 años, advierte que la caída de un par de cuerpos esféricos, uno 10 veces más pesado que el otro, tarda igual, y **no lo que decía Aristóteles**. Trabajó el plano inclinado para medir en “cámara lenta” los tiempos en la caída de esferas de peso diferente (rodando en un tablero).
- Además encontró la **relación de escalas y proporciones** en la resistencia de materiales, al ocuparse de la construcción de dos puentes de longitud diferente, y valorar sus costos: esto dado que la resistencia y el peso no varían con la longitud, sino con la sección transversal de cada viga y con el volumen de los elementos. Ver: [Galileo: el conflicto entre la razón y el poder](#).



Péndulo simple, en <https://cienciaonthecrest.com/> Péndulo esférico, en <https://es.wikipedia.org/>

“El mensajero de las Estrellas

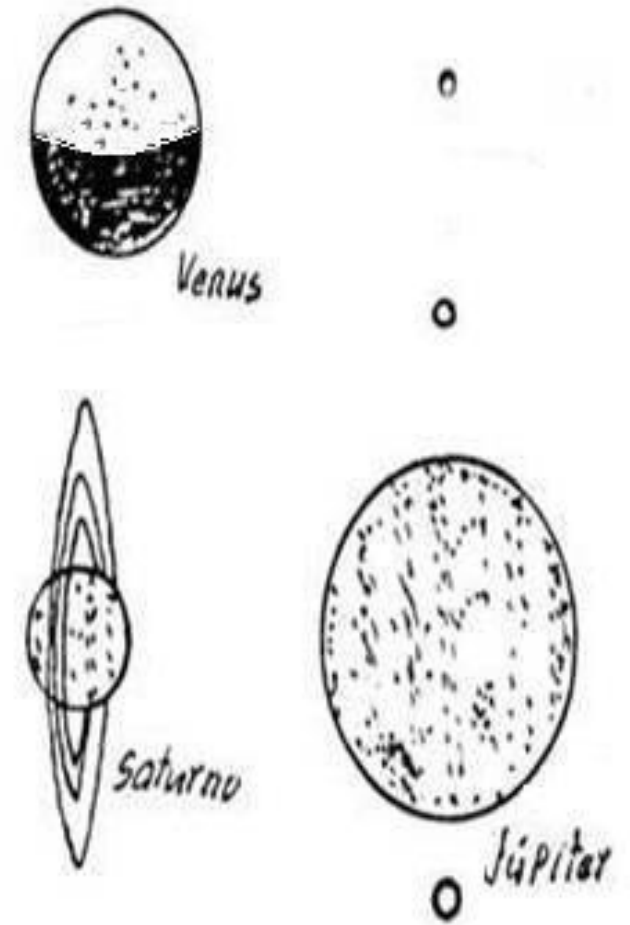
En 1610 Galileo publica “**El mensajero de las Estrellas**”, un trabajo de observación metódica, que contiene una vívida descripción de observaciones astronómicas hechas con un telescopio de 20 aumentos:

- *Los satélites de Júpiter*
- *Las fases de Venus*
- *La nebulosa de Andrómeda*
- *Las manchas solares*
- *Anillos en Saturno*

Con todo esto, Galileo (1564-1642) no sólo proporcionaba **observaciones**, sino que renovaban radicalmente la base empírica de la astronomía, logrando una transformación fundamental gracias al empleo del método inductivo. Galileo fue el primero que aplicó el método científico experimental - matemático.

También, en **cinemática y dinámica**, Galileo realizó experimentos y observaciones cuidadosas, estableciendo la primera Ley de la Dinámica, que posteriormente recogerá y refinará Newton en su obra, Principia.

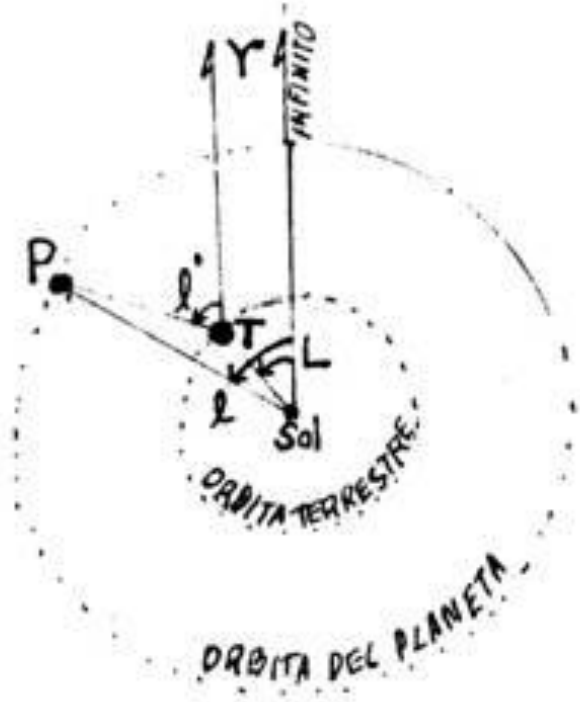
Ver: [Sol, lunas y planetas](#).



Tamaño aparente de tres planetas vistos con un mismo telescopio.

Fuente, [Guía astronómica](#).

Longitudes geocéntrica y heliocéntrica



τ = punto vernal T = Tierra , S = Sol

P = Planeta observado

l' = TP, longitud geocéntrica del planeta

l = SP, longitud heliocéntrica del planeta

L = longitud Heliocéntrica de la Tierra

Fuente: [Guía astronómica](#).

- Se pueden evaluar las posiciones notables de los planetas utilizando este sistema de referencia. **En la astrología**, resulta de común uso el conocimiento de las fechas en que se dan posiciones con los **ángulos geocéntricos notables** de 0° , 30° , 60° , 90° , 270° y 180° entre **constelaciones zodiacales y planetas**, para aplicar sus significados.
- **Longitudes geocéntrica y heliocéntrica**: son los valores angulares para un planeta, tomando como centro la Tierra o el Sol. Para incluir en **las efemérides** las fechas de los tránsitos y las oposiciones, debe partirse de los valores de las **configuraciones planetarias**, expresados en función de la **diferencia $l-L$** , así:
 - Conjunción inferior $l - L = 0^\circ$
 - Conjunción superior $l - L = 180^\circ$
 - Elongación W $l - L = 90^\circ - \theta$
 - Elongación E $l - L = 270^\circ - \theta$
 - Conjunción $l - L = 180^\circ$
 - Oposición $l - L = 0^\circ$
 - Para Mercurio $\theta = 27^\circ$ y para Venus $\theta = 48^\circ$

Las fases de Venus y movimiento retrógrado de Marte

Observado desde la Tierra, vemos el **movimiento aparente de Marte**, proyectado sobre la bóveda celeste. Se ha ralentizado a Marte y acelerado la tierra para exagerar el movimiento retrógrado de Marte. La secuencia muestra a Marte, **describiendo un bucle** sobre la bóveda celeste, entre 3 y 5, e igualmente **variaciones importantes en su velocidad** aparente. Imagen, Guía Astronómica.

Las fases de Venus fueron observadas por primera vez por Galileo Galilei a principios del 1600. Visto desde la Tierra, **Venus puede mostrarnos la cara iluminada o también su cara oscura**, alternando **fases de creciente y menguante**.

Ver: [Posiciones planetarias en 2003- Almanaque Bristol-](http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/).

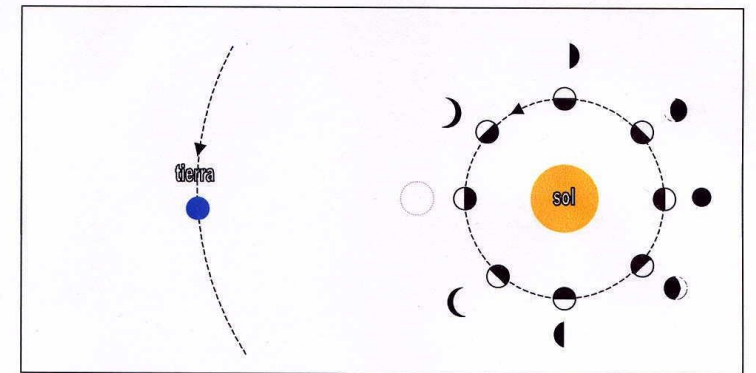
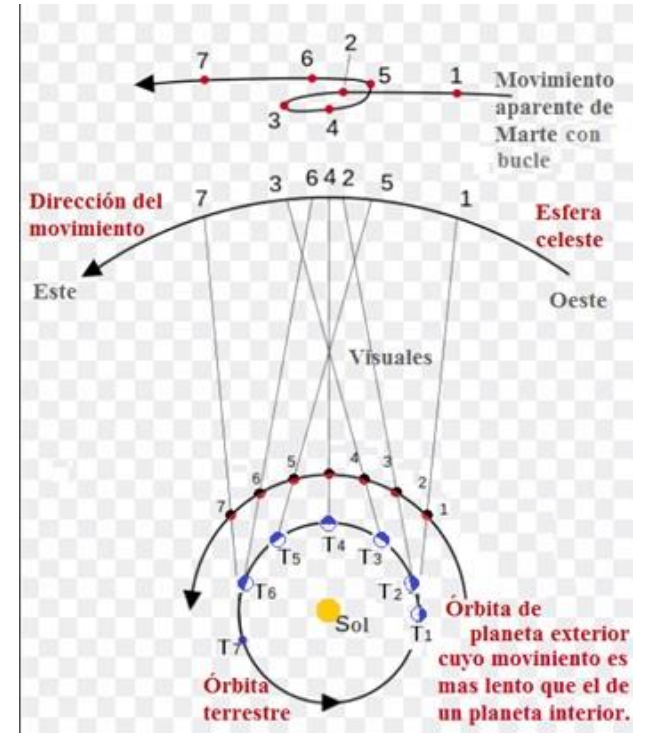
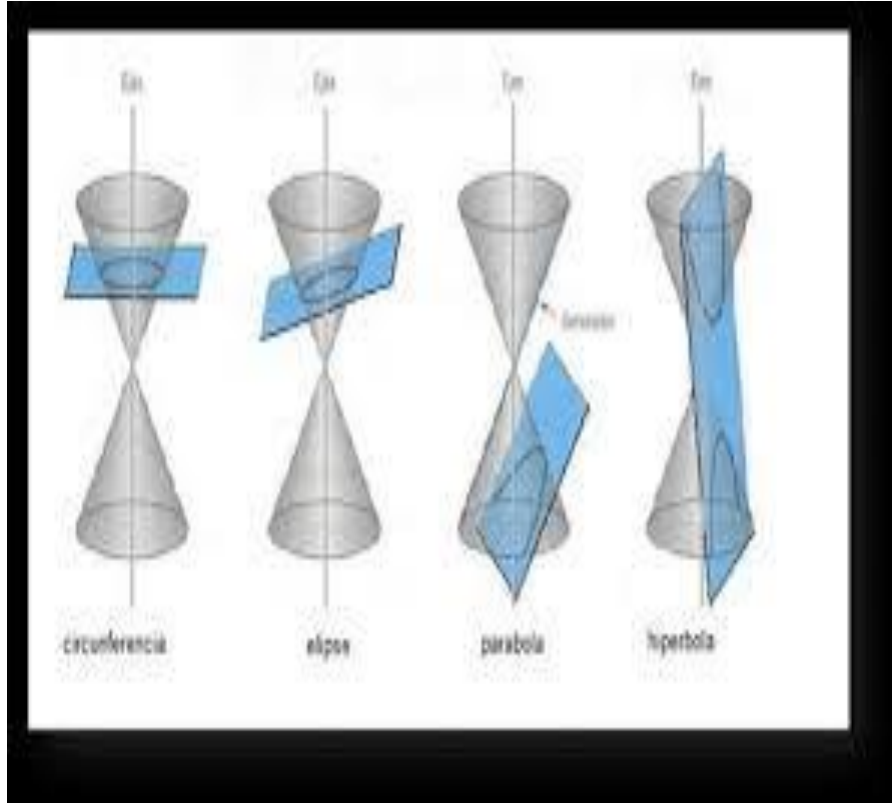


Imagen: bucle planetario en Fuente:
Guía astronómica. Fases de Venus en
<http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/>

LAS CONICAS



Cónicas, obtenidas al interceptar un cono con un plano, normal al eje (circunferencia), o paralelo al eje (Hipérbola) o a la generatriz (Parábola), y con otras direcciones (Elipse). en:

<https://sites.google.com/>

- **La elipse** es una **curva cerrada con dos ejes de simetría** ortogonales, denominada **cónica**, ya que gráficamente es el resultado de interceptar un cono con un plano variando su inclinación entre el Eje y la Generatriz del cono.
- Definida la excentricidad **e**, como el cociente entre los valores de la distancia entre el foco y centro de la elipse **c**, y su eje mayor **a**, tenemos:

$$e = c/a = \text{excentricidad}$$

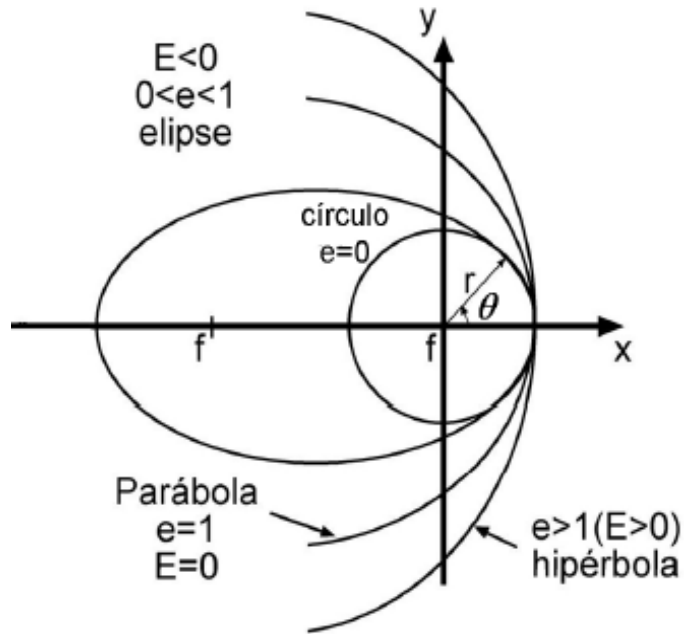
- En función de la excentricidad **e**, los tipos de órbitas podrán ser:
- Órbita parabólica sí: **$e = 1$**
- Órbita elíptica si: **$0 < e < 1$**
- Órbita circular si: **$e = 0$**
- También, la distancia máxima entre el Sol y el planeta, y la distancia mínima, están dadas por

$$AF = a (1 + e)$$

$$FP = a (1 - e)$$

- En el segundo miembro de cada ecuación “**a**” representa el valor del **semieje mayor** de la elipse y “**e**” su **excentricidad**.
- Ver: [*En órbita primer satélite colombiano: El Libertad 1.*](#)

Velocidad orbital



Las cónicas.

<https://jasf1961.wordpress.com/>

¿A qué velocidad debe girar la Tierra para **mantenerse** en órbita? Si gira muy rápido escapa, si gira muy lento cae al Sol. Calcularemos V1 y V2 que son las velocidades límites. Fórmula::

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

Si **r = a**: la trayectoria es circular y se obtiene la primera velocidad de escape.

Si **a** es infinito: la trayectoria es parabólica y se obtiene la segunda velocidad de escape.

$$V_1 = \sqrt{\frac{G(M + m)}{r}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2G(M + m)}{r}}$$

De la segunda velocidad de escape depende que un cuerpo celeste tenga atmósfera, pues dicho valor se compara con la velocidad térmica de las moléculas de gas dada por la siguiente expresión que involucra, la constante de Boltzmann **K**, la temperatura ambiental **T** y la masa molecular **m**:

$$V \approx \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

Ahora, en caso de órbita elíptica, la velocidad es variable, pero su valor máximo, en el perihelio, no supera V₂ y su valor mínimo, en el afelio, no resulta inferior a V₁.

$$(1 - e)V_p = (1 + e)V_a$$

Mientras la segunda velocidad de escape en la Tierra, es de 11,2 km/s, las velocidades térmicas moleculares **V** de los gases ligeros a la temperatura de 300⁰ K, son: para el hidrógeno, 1,1 km/s y para el helio, 0,8 km/s. Para el oxígeno y el nitrógeno, los valores son del orden de los 0,3km/s. Ver: Tres décadas del Hubble (1990-2020). Ver: [José María González Benito \(1843-1903\)](#)

Leyes de Kepler

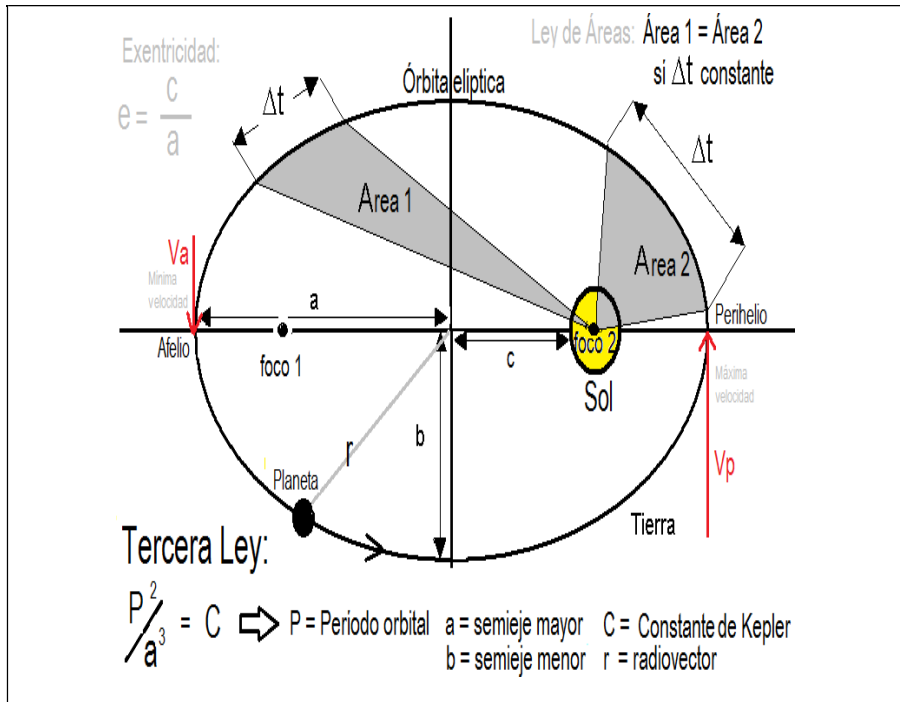


Imagen: Representación de las leyes de Kepler: Órbita elíptica de un planeta, con el Sol en uno de sus focos, según la primera ley. Los textos aluden a la segunda y a la tercera ley. Fuente: [Guía astronómica](#).

- Johannes Kepler, basado en las posiciones de Marte, que Tycho Brahe observó y midió, publica en 1609 las dos primeras leyes del movimiento planetario y en 1619 la Tercera ley.

- Estas leyes permiten **consolidar el esquema heliocéntrico, mejorar las predicciones y dimensionar el sistema solar**. Veamos estas leyes:

- 1.Cada uno de los planetas se mueve siguiendo una órbita en forma de **elipse**, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.
- 2.Al moverse un planeta, su radio vector r (línea planeta Sol) describe iguales **áreas** en iguales intervalos de tiempo t .
- 3.Los cuadrados de los **períodos de revolución** sidéreos de los planetas T , son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas a (o sea a los cubos de sus distancias medias al Sol). Ver: [Cultura & Astronomía](#)

Gravitación universal

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

- La fuerza **F** depende de las masas **m1 y m2** que interaccionan y de la distancia **r** entre sus centros de gravedad. **G** es la constante de gravitación universal.
- Isaac Newton (1643-1727) elabora una teoría gravitacional, que explica el comportamiento de todos los cuerpos del Universo, y el movimiento expresando espacio y tiempo como invariantes.
- Para el efecto, Newton toma lo fundamental del pensamiento que le precede, así: 1-De Copérnico: el modelo heliocéntrico. 2-De Kepler: las tres leyes y las mareas. 3-De Galileo, toma la caída libre y el movimiento parabólico. 4-De Descartes: incorpora la inercia rectilínea.

Estas son las tres Leyes de Newton:

1-Ley de la inercia: “Todo cuerpo preservará su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, a no ser que actúe sobre él otra fuerza que cambie su estado inicial”.

2-Ley de la interacción y la fuerza: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y ocurre en la misma dirección de la línea de acción de la fuerza que se aplique”. Esta segunda ley puede resumirse en la fórmula: $F = m a$

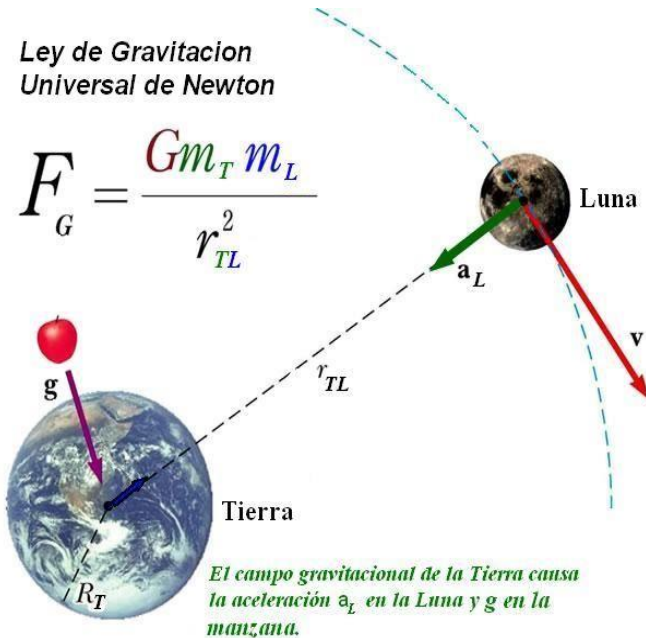
3-Ley de acción y reacción: “A toda acción siempre corresponde una fuerza de reacción igual y contraria”.

Ver: [Los albores de la civilización](#)

Sistema Tierra Luna

Ley de Gravitación
Universal de Newton

$$F_G = \frac{G m_T m_L}{r_{TL}^2}$$



Campo gravitatorio, en:

<https://i.pinimg.com/>

Para calcular la gravedad en la superficie de la Luna y compararla con la de la Tierra, imaginemos la Tierra o la Luna de forma esférica y despreciemos los efectos de su rotación. La fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, es g_t , cuyo valor es:

$$g_t = G m_t / r_t^2$$

Hemos denominado m_t y r_t a la masa y radio de la Tierra. Además G es la constante de gravitación. Similarmente, el valor de la aceleración g_l en la superficie de la Luna, si su masa y radio son m_l y r_l , está dado por:

$$g_l = G m_l / r_l^2$$

Dividiendo entre sí ambas ecuaciones, al reemplazar numéricamente masas y radios, se obtiene la una relación entre las fuerzas de gravedad, de **seis veces, siendo mayor** en la Tierra.

La tercera, para un planeta de masa m dice:

$$a^3 / [p^2 (M + m)] = G / 4\pi^2$$

Donde M es la masa del Sol y a la distancia Sol-Planeta. Un planeta se haya en una órbita estable cuando no se precipita al Sol, como consecuencia de la fuerza de gravedad, ni sale despedido de la órbita por la fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga C depende de la masa m del planeta, de su velocidad orbital v y del radio de curvatura r de la órbita, es decir, de la distancia planeta- Sol.

$$C = mv^2/r$$

Ver: [Julio Garavito Armero \(1865-1920\)](#).

Tres puntos son suficientes

- El estudio de la órbita planetaria se inicia con la aportación matemática de Johannes Kepler (1571–1630) quien fue el que formuló los resultados en sus tres leyes del movimiento planetario. Isaac Newton demostró que un par de cuerpos siguen **órbitas coplanares** que en tamaño son inversamente proporcionales a sus masas, orbitando sobre su centro de masas común. Cuando un cuerpo es mucho **más masivo que el otro**, se toma el suyo por centro de masas, quedando así el cuerpo más ligero en órbita alrededor del más pesado.
- Newton descubre que la trayectoria cometaria es una parábola, y que el **radio-vector** barre áreas proporcionales al tiempo (segunda ley de Kepler).
- También Newton idea el cálculo de la trayectoria de los cometas con sólo 3 puntos: lo hizo con el cometa 1680-81 dibujado a compás y regla, usando 1 UA igual a 41,48 cm (error 0.0043 cm).
- Ver: [Astronomías precolombinas: Mayas y Aztecas](#).

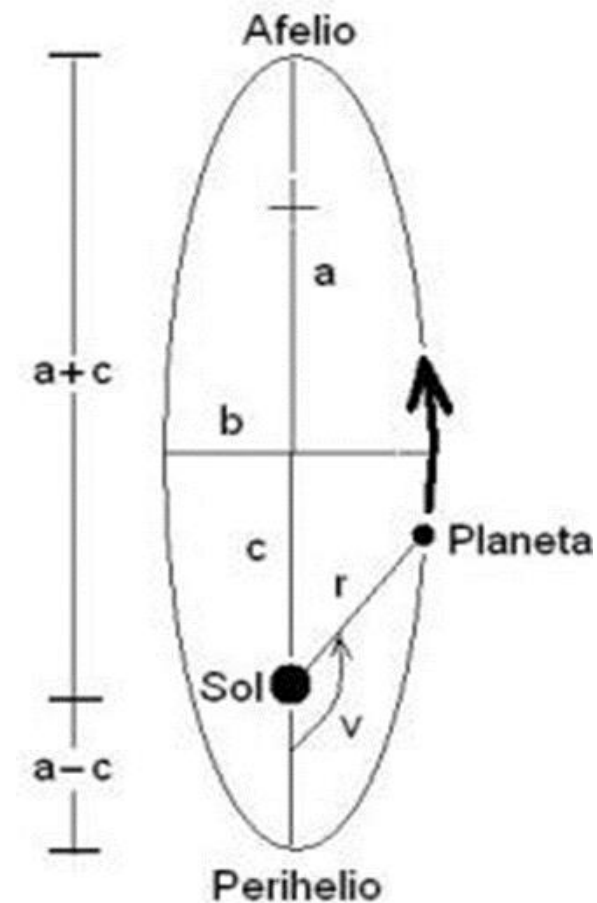
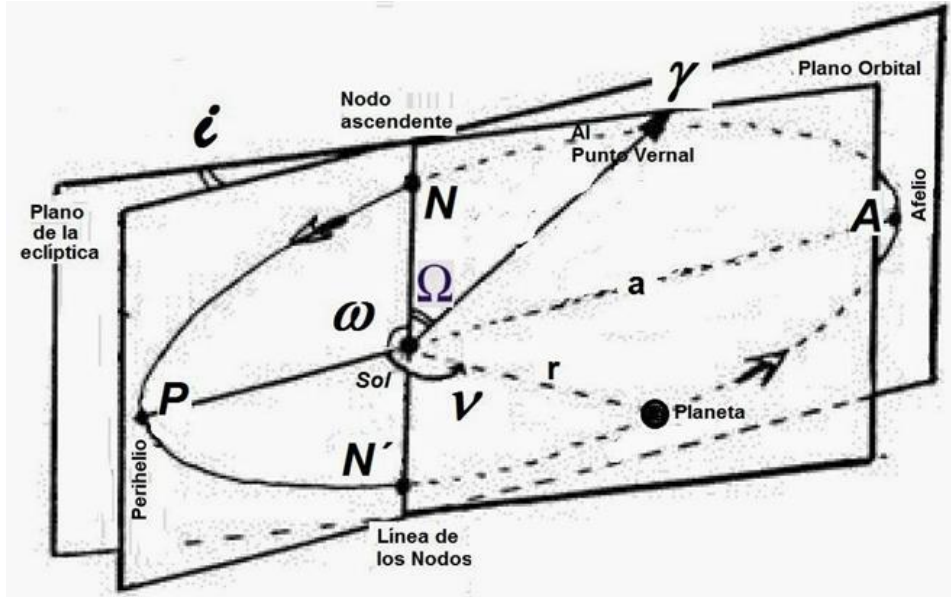


Imagen: elementos de la elipse y del sistema Sol-Planeta In: [Guía astronómica](#).

Elementos de las órbitas



Ω = longitud de los nodos NN'. i = inclinación del plano orbital. $e = c/a$. $e = (a-b)/a$. a y b = semiejes orbitales. v = anomalía verdadera. r = radio vector de posición. T = paso por el perihelio. t = momento de coordenadas v y r . W = argumento del perihelio. Fuente: [Guía astronómica](#).

• Los **elementos de una órbita** sirven para determinar trayectoria de un cuerpo celeste. Supongamos que **el plano de una órbita**, se describe con relación al **plano de la eclíptica**. En consecuencia se debe conocer su inclinación, la línea de intersección, la **geometría** de la órbita elíptica y su **posición**, entre otras variables.

• A modo de ejemplo, los elementos de la **órbita del cometa Halley** (órbita número 33 del International Halley Watch) son:

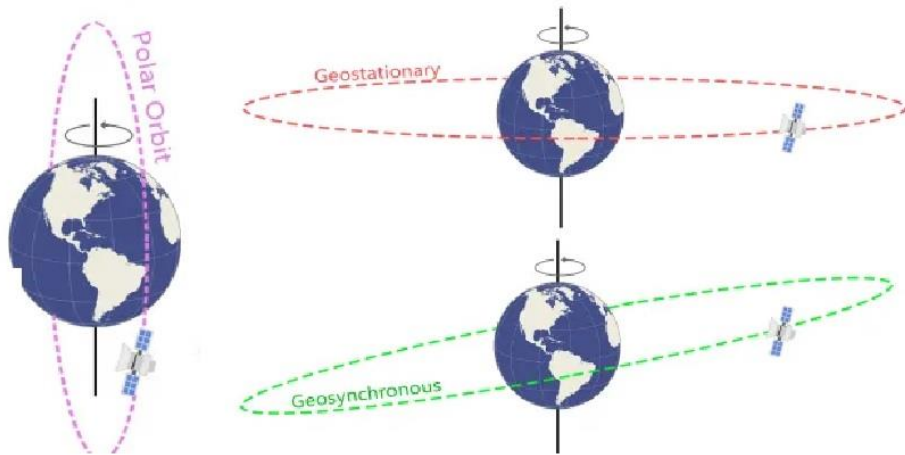
- Instante de paso por el perihelio 1986 febrero 9,45862,
- Distancia al Sol en el perihelio 0,5871012 UA,
- Excentricidad 0,9672750,
- Argumento del perihelio $111^{\circ},84652$,
- longitud del nodo ascendente $58^{\circ},14341$,
- Inclinación $162^{\circ},23921$.

Para **nuestra Luna**, los elementos orbitales, son:

- Inclinación $5^{\circ},1454$
- Excentricidad 0,0549
- Elementos orbitales derivados
- Período orbital sideral 27d 7h 43,1m
- Período orbital sinódico 29d 12h 44m 2.9s
- Radio orbital medio 384.400 km.

Ver: [Guía astronómica](#).

Órbitas satelitales



Satélites de órbita polar y de órbita geoestacionaria, y satélite geosincrónico.

Órbitas satelitales, en
<https://acolita.com/>

En general, hay dos grupos de satélites: los que orbitan el Ecuador, y los que orbitan **de polo a polo**. Los **satélites geoestacionarios** orbitan en la misma dirección en que gira la Tierra sincronizados con su rotación. Esto se logra a 35.786 kilómetros (22.236 millas), **sobre el Ecuador**, donde la órbita resulta **geosincrónica**, **igualando el** periodo de rotación terrestre.

Una **órbita polar** tiene una inclinación cercana a los 90 grados. Un satélite en órbita polar pasa sobre cada punto del planeta a medida que este gira sobre su eje. La ventaja de estos es que **pueden cubrir a toda la Tierra** y ubicarse a **cualquier altura**. Generalmente, las órbitas polares son bajas.

Mientras que los satélites **geosincrónicos** pueden tener cualquier inclinación, la diferencia clave con la órbita geoestacionaria es que se encuentran en el mismo plano que el Ecuador. Cuando un satélite tiene una órbita sincrónica con el Sol, recibe una iluminación solar constante a través de la inclinación y la altitud, y pasa sobre cualquier punto de la superficie de la Tierra **a la misma hora de tiempo solar local**.

Colombia al igual que nueve países más, tiene órbita geoestacionaria: para países que que no la tienen, se utilizan otras clases de orbitas, tal cual lo hace Rusia con una **órbita de Mólniya** diseñada para proporcionar comunicaciones y cobertura de detección remota en latitudes altas.

Los **satélites meteorológicos, de comunicaciones y de posicionamiento global**, suelen operar desde una órbita geoestacionaria. La **excentricidad de la órbita se escoge según la aplicación**: las órbitas muy excéntricas permiten que el satélite permanezca mucho tiempo sobre una región.

Ver: [Colombia, por un desarrollo satelital](#) .

Eclipses



Eclipses en: <https://artearotatrot.blogspot.com/>

- Los eclipses de Sol tienen lugar en **novilunio** (luna llena); los eclipses de Luna, en **plenilunio** (luna nueva) y cuando la Luna está situada en el plano de la órbita terrestre o en la vecindad inmediata del nodo ascendente o descendente. En el primer caso, la Luna oculta parcialmente al Sol; en el segundo, la Luna desaparece total o parcialmente en la sombra de la Tierra. Por **término medio hay anualmente 2 a 3 eclipses de Sol y de 1 a 5 eclipses de Luna.**

- En efecto, si los nodos de la órbita lunar están en las proximidades del equinoccio de primavera y otoño sobre la eclíptica, es de prever que haya eclipses de Sol en la **Luna Nueva** apareciendo en torno al 21 de marzo y al 23 de septiembre, respectivamente, y eclipses en la fase de **Luna Llena** que se den en ese mismo intervalo. Ahora bien, como la línea de nodos es retrógrada, se van adelantando los eclipses de año en año, repitiéndose al cabo de unos 18 años.

- La duración exacta de este **período de Saros** se puede calcular, si se tienen en cuenta que 223 meses sinódicos equivalen casi exactamente a 242 meses draconícos: 18 años mas 10,3216 d frente a 18 años mas 10,3592 d. La pequeña diferencia de 0,0376 d hace, sin embargo, que los ciclos de Saros de eclipses iguales se desfasen de nuevo al cabo de algunos milenios. Mientras el **mes sinódioco** es el período que transcurre entre dos lunas llenas o lunas nuevas, el **mes draconíco o nodical** es el intervalo medio entre dos tránsitos sucesivos de la Luna a través del mismo nodo. Ver: [*Observatorio de alta montaña para la astronomía de Colombia.*](#)

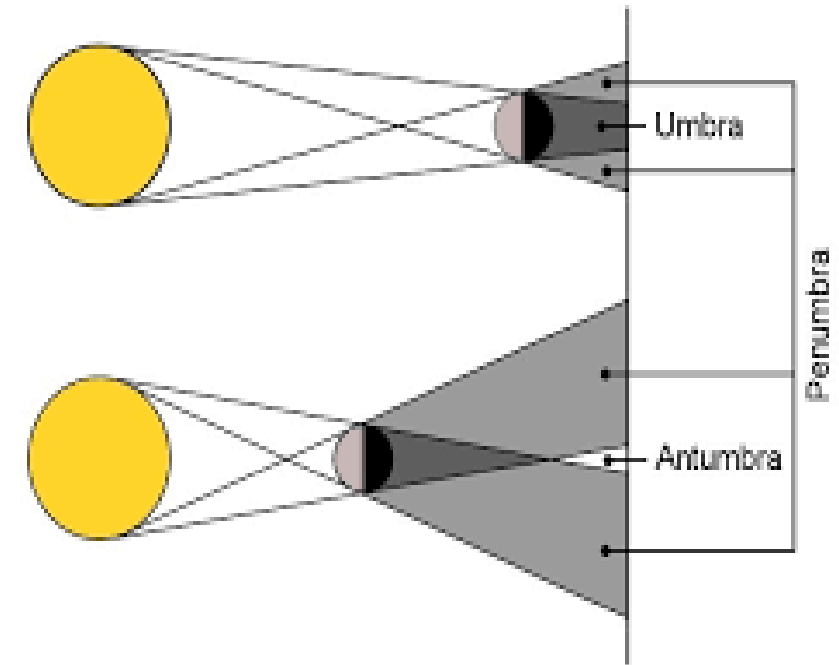
Eclipses de Sol

• En los eclipses de Sol hay que distinguir: totales, anulares y parciales. En los de Luna, solo hay eclipses Parciales y Totales

Eclipses parciales de Sol: en los cuales la Luna nueva sólo oculta una parte del disco solar. El observador está situado entonces en la **penumbra** de la Luna.. **Eclipse anular de Sol:** en el cual se hace visible un anillo del disco solar. Si la Luna está cerca de su **apogeo** (a la mayor distancia de la Tierra), entonces el diámetro angular de su disco es tan pequeño que no se produce un eclipse total sino anular.

Eclipses totales de Sol: se oculta el disco solar entero. El observador se halla en la **umbra** de la sombra que proyecta la Luna. Dado que esta sombra sobre la superficie terrestre sólo tiene un diámetro máximo de 200 km, los eclipses totales sólo son visibles desde una región muy limitada. Igualmente, **la sombra de la Luna** se desplaza con una velocidad de unos 28 km /min. por encima de la superficie terrestre (en el ecuador) y barre **una banda de totalidad** (casi siempre de W a E) sobre la cual se va observando sucesivamente un eclipse total de Sol.

La totalidad dura un máximo de 8 minutos. Alrededor del disco solar oculto aparece el **anillo luminoso** de la corona. Ver: [Calendario de eclipses de 2019](https://www.tutiempo.net).



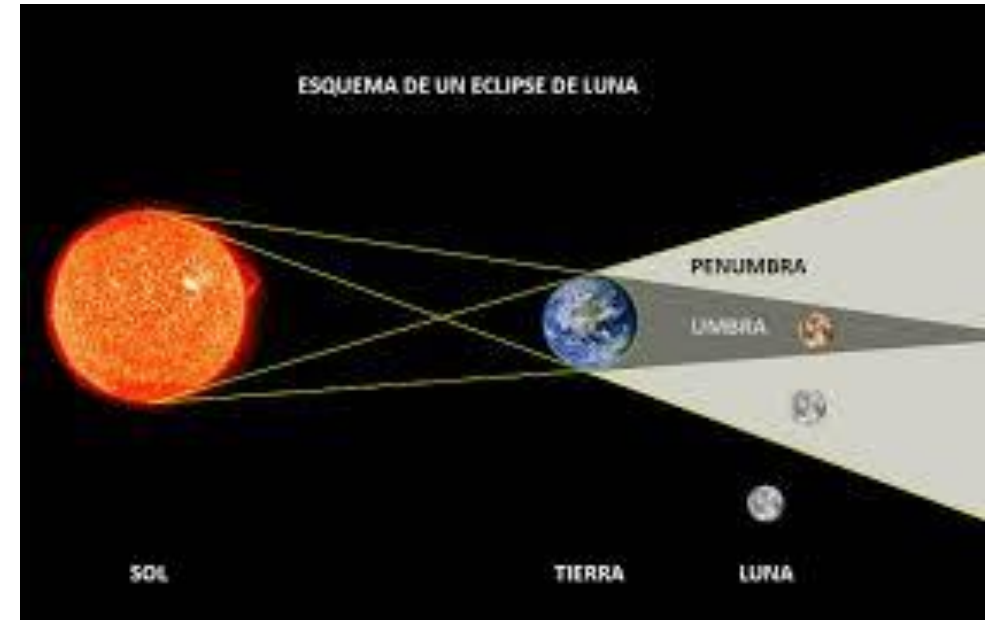
- Eclipses de Sol, en: <https://www.tutiempo.net>

Eclipses de Luna

Los eclipses de Luna, a diferencia de los de Sol, son visibles desde una zona geográfica mayor; concretamente desde todo el lado nocturno de la Tierra que tiene la Luna llena sobre el horizonte. La **zona de visibilidad** es incluso mayor al 50% de la superficie terrestre, debido a que los eclipses de Luna llegan a durar hasta de 3½ horas.

La **sombra que proyecta la Tierra** aparece algo aclarada y suele mostrar una coloración rojiza. Incluso en un eclipse total de Luna, es raro que la Luna desaparezca del todo. El fenómeno se debe a la atmósfera terrestre: los rayos de Sol que inciden tangencialmente en ella **se refractan y penetran en el cono de sombra** proyectado por la Tierra, y es la luz rojiza de longitud de onda larga la que pasa con más facilidad. El tipo de coloración y el grado de obscurecimiento en un eclipse de Luna dependen de las **condiciones atmosféricas** de la Tierra, pero a veces también, del contenido de polvo de la atmósfera, habiéndose observado **eclipses oscuros** después de erupciones volcánicas.

Ver: [Los seis eclipses del 2020.](#)



- Eclipse de Luna, <https://www.guioteca.com/>

Las mareas y la gravedad

- Para Newton, las **mareas de los océanos**, no se deben a la rotación terrestre (Galileo) ni a los Vórtices (Descartes).
- Las mareas se generan principalmente por las fuerzas de atracción gravitatoria, gracias a la **acción combinada de la Luna (Kepler) y del Sol**. Sin embargo, habrá que añadir que las mareas de la litosfera son insignificantes con respecto a las de los océanos, y también lo son las de la atmósfera, si se comparan con el aumento del espesor de la atmósfera causado por la **fuerza centrífuga** del movimiento de rotación terrestre en la zona ecuatorial.
- **Otros fenómenos** ocasionales, como vientos, lluvias, desborde de ríos y tsunamis provocan pequeñas variaciones ocasionales y locales del nivel del mar, que no son mareas, por no estar causados por la fuerza gravitatoria ni tener periodicidad. Ver: [Cosmografía](#).

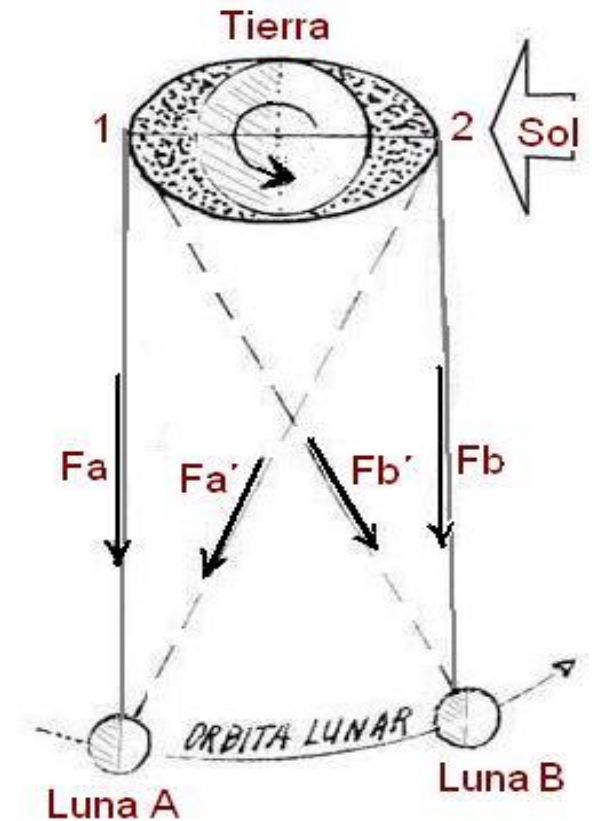
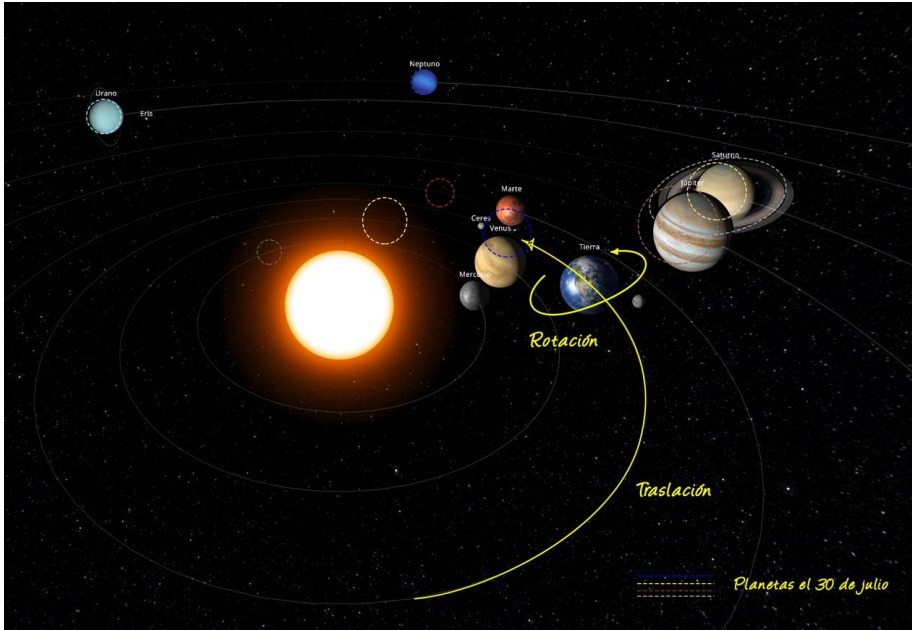


Imagen: Variación del torque ejercido sobre la rotación de la Tierra por la Luna: se observa cómo la Luna puede favorecer o contrarrestar la rotación terrestre.

Fuente: [Guía astronómica](#).

Cálculo de la masa de un planeta, con satélite.



Sistema solar en

<https://astroaficion.com/>

Tomemos el Sol de masa M , el planeta de masa m y el satélite de masa m_s . Sean los períodos p del planeta y p_s del satélite, y G la constante de gravitación de Newton. De la tercera ley, tenemosr que: Planeta vs. Sol: I, y Planeta vs. Satélite II

$$p^2(m + M) = 4\pi^2 a^3 / G \quad (I)$$

$$p_s^2(m_s + m) = 4\pi^2 a_s^3 / G \quad (II)$$

Dividiendo miembro a miembro I y II, y luego, al dividir por m y considerar m_s/m despreciable, tenemos:

$$\frac{p^2(m + M)}{p_s^2(m_s + m)} = \frac{a^3}{a_s^3}$$

$$\frac{p^2}{p_s^2} \left(1 + \frac{M}{m}\right) = \frac{a^3}{a_s^3}$$

De donde obtengo esta ecuación con la cual, al reemplazar los períodos y semiejes orbitales medidos, puedo conocer m en comparación con la masa solar M :

$$\left(\frac{M}{m}\right) = \left(\frac{a}{a_s}\right)^3 \left(\frac{p}{p_s}\right)^2 - 1$$

Masa inercial y masa gravitacional

Cuando se aplica una fuerza (F) a un cuerpo con cierta masa (M_i), éste se mueve con una aceleración " a " dada por la expresión:

$$F = M_i a$$

Fuerza es el producto de la masa inercial M_i y la aceleración " a " del cuerpo.

Otra cosa es la **atracción gravitatoria** que un cuerpo con su masa gravitacional M_g ejerce sobre todos los demás. Por ejemplo, si estamos midiendo la fuerza gravitatoria entre el cuerpo anterior y la Tierra, usamos la expresión:

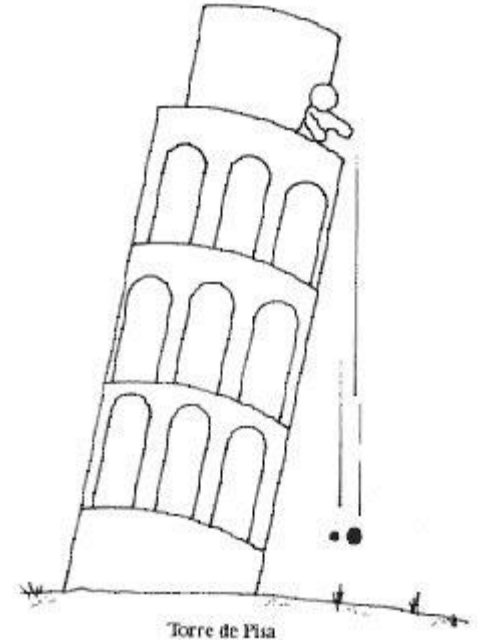
$$F = G M_T M_g / r^2$$

G es la **constante gravitacional**, M_T es la masa de la Tierra, " r " es la distancia entre los centros de masa y M_g la masa del cuerpo en cuestión que produce la atracción gravitatoria. Galileo comprobó la equivalencia entre la masa inercial y la gravitacional. Cuando se habla de campos suele distinguirse entre **masas gravitatorias activa y pasiva**: la activa es la que crea el campo (la Tierra) y la pasiva la que es acelerada como consecuencia de estar en él.

La pregunta que se hizo Newton es: ¿por qué tienen que ser necesariamente iguales la **masa inercial** M_i y la **masa gravitacional** M_g ?

Einstein también se preguntó lo mismo pero no resolvió el enigma; supuso que era un principio fundamental del universo y lo llamo "principio de equivalencia" al expresar que $E = mc^2$. Hoy se discute que dicha igualdad y expresión no podría ser exacta bajo ciertas circunstancias, por la curvatura del espacio-tiempo.

Ver: [*Albert Einstein en los cien años de la TGR*](#).

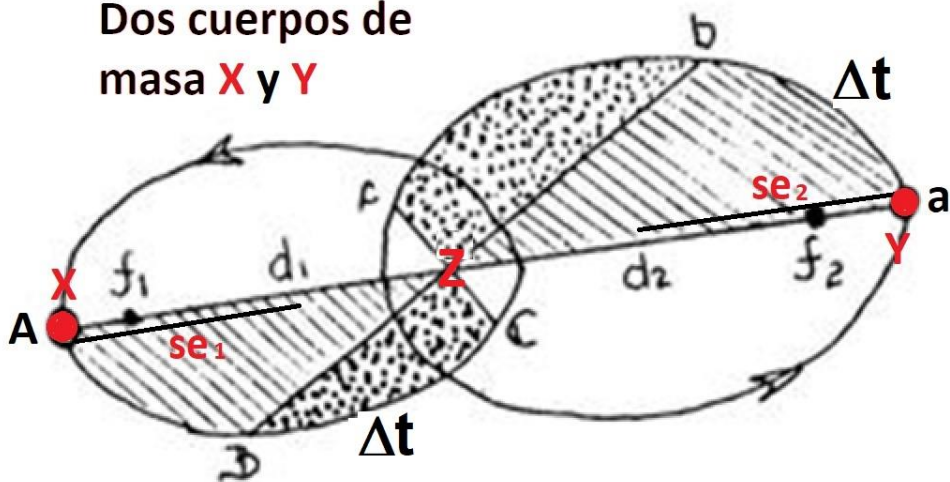


Equivalencia entre dos masas:
la masa inercial y la masa
gravitacional. In:

<http://fisicacolbuenco.blogspot.com/>

Problema de los dos cuerpos

Dos cuerpos de masa **X** y **Y**



masa **X** . d_1 = masa **Y** . d_2 (Ley de Distancias)

$d_1 + d_2 = se_1 \cdot \text{masa X} / \text{masa Y}$

$d_1 + d_2 = se_2 \cdot \text{masa Y} / \text{masa X}$

Áreas $BCZ + bcZ = ABZ + abZ = \text{constante}$ (Ley de Áreas)

Fuente: [Guía astronómica.](#)

• Dos cuerpos de masa **X** y **Y**, como en el caso de dos estrellas girando alrededor de un centro de masa común "**Z**", ilustran el problema de los dos cuerpos.

• Los dos soles que se orbitan entre sí, tienen **órbitas dispuestas en el mismo plano, que se recorren en el mismo sentido, y con los focos alineados** de tal manera que tengan un **foco común ubicado en el centro de masa**, y alineado con las masas siempre dispuestas a lado y lado suyo. Añádase además que las áreas barridas en un mismo intervalo de tiempo " Δt ": $BCZ + bcZ$, como $ABZ + abZ$, deben ser iguales .

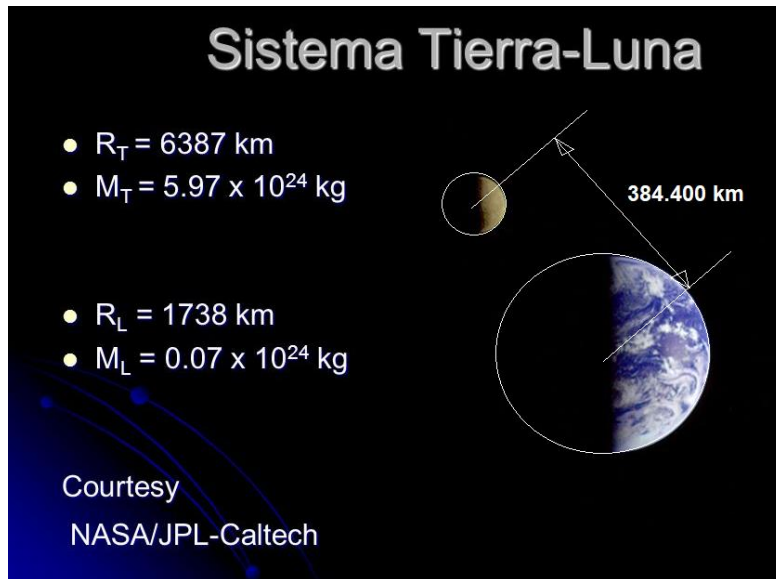
• Los sistemas de tres y más cuerpos presentan varias soluciones, razón por la cual dichos sistemas múltiples resultan **indeterminados**.

• En el diagrama, al tratarse de **elipses**, siendo **se1** y **se2** los semiejes mayores, la distancia entre los dos cuerpos $d_1 + d_2$, será el producto entre uno de los semiejes y la razón de las masas **X/Y** o **Y/X** según se trate del **Cuerpo X** o del **Y**.

• En este arreglo geométrico el período de los planetas es el mismo, como condición de alineamiento con el **centro de masa "Z"**, y debe cumplirse **la ley de las áreas** señalada. La tierra y la Luna, admiten esta consideración, como lo veremos adelante.

• Ver: [Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.](#)

Sistema Tierra-Luna



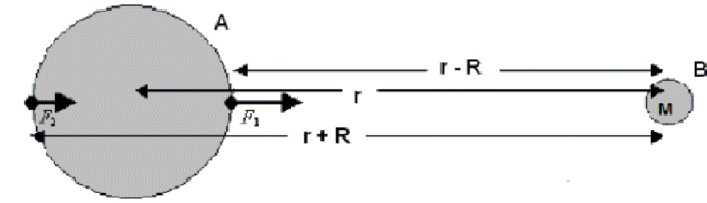
Distancia Tierra-Luna (entre centro y centro de cada cuerpo), sistema donde conocemos que la masa de la Tierra es 81 veces la masa lunar.
Imagen: Nasa/JPL-Caltech

- Si la **masa** de un cuerpo **X** resulta insignificante, comparada con la de su compañero **Y** -caso del sistema Luna-Tierra o del **sistema Tierra-Sol-**, el centro de masa coincide prácticamente con la masa **Y**, y la distancia total ($d_1 + d_2$) se hace semejante a d_1 .
- En este caso el cuerpo de gran masa, la Tierra por ejemplo, puede considerarse en reposo, como primera aproximación, para que el primero (la Luna) describa una **órbita elíptica**, cuyo semieje será la suma de los semiejes para la Luna y la Tierra, con la Tierra en uno de sus focos.
- Para el caso de dos cuerpos con **masas similares**, la órbita es también una elipse cuyo semieje mayor es igual a la suma de los semiejes de Luna y Tierra..
- Ilustraremos el caso del sistema **Tierra-Luna**, haciendo uso de los valores conocidos para averiguar que tan cerca de la Tierra, y tan lejos de la Luna, se encuentra el centro de masa Tierra-Luna:
- Relación de masas entre la Tierra y la Luna $m_T/m_L = 81 \quad (1)$
- Distancia media entre la Tierra y la Luna $(d_T + d_L) = 384400 \text{ km} \quad (2)$
- Aplicando lo anterior: masa X. $d_1 = \text{masa Y. } d_2 \cdot \quad 1/81 = d_T/d_L$
- De las dos últimas ecuaciones (1) y (2) $d_T = 384400 - 81 d_T$
- De la anterior ecuación se obtiene una distancia d_T de **4700 km**, valor que, comparado con el radio de la Tierra de **6378 km**, nos dice que el centro de masa, queda en el manto de la Tierra, a una profundidad del orden de **1678 km** medidos desde su superficie. Ver: [Los albores de la civilización.](#)

Las mareas terrestres

- En la imagen, r es la distancia entre centros de masa y R el Radio de la Tierra. Despreciemos el radio lunar. Entonces, la interacción gravitatoria del Sol y la Luna sobre la Tierra, implica una diferencia en la intensidad gravitatoria entre los extremos mas cercano y lejano, ΔF **que explica las mareas**.
- Sin considerar el efecto de la **fuerza centrífuga**, la siguiente es la estimación de las fuerzas de atracción gravitacional en el caso del sistema Sol, Tierra y Luna:
- La Tierra ejerce sobre la Luna una **fuerza de marea** máxima ΔF , del orden de $1.8 \cdot 10^8$ N.
- Al mismo tiempo, la Tierra siente debido a la Luna una fuerza de marea máxima ΔF , del orden de $6.69 \cdot 10^8$ N.
- Y también el Sol ejerce sobre la Tierra una **fuerza de marea** máxima ΔF , del orden de $3.02 \cdot 10^8$ N.
- Es decir, la fuerza de marea generada por la Luna sobre la Tierra supera **2.2 veces** la del Sol, a pesar de que la **atracción gravitacional** del Sol es **178 veces** mayor que la de la Luna; y aunque comparado con la Luna, el Sol es mucho más masivo, la Luna está **400 veces** más cerca de la Tierra.
- Además, en la **interacción Luna-Tierra**, la Luna ejerce sobre la Tierra una fuerza de marea **3.5 veces** mayor, dado que la masa de la Tierra es **81 veces** mayor y el diámetro de la Luna es el 27% del diámetro de la Tierra.
- Ver: [Astronomías precolombinas: Mayas y Aztecas](#).

Cálculo de la fuerza de marea ΔF .

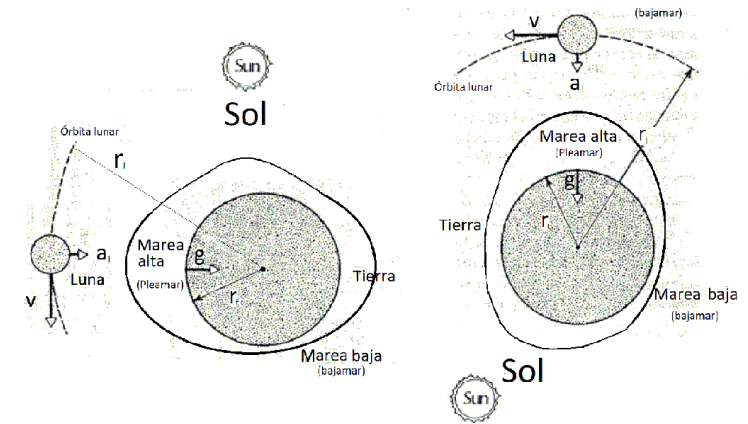


$$F_1 = G \frac{m \cdot M}{(r - R)^2} \quad F_2 = G \frac{m \cdot M}{(r + R)^2}$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 = G \frac{m \cdot M}{(r + R)^2} - G \frac{m \cdot M}{(r - R)^2} =$$

$$\Delta F = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2} \left[\left(1 + \frac{R}{r} \right)^{-2} - \left(1 - \frac{R}{r} \right)^{-2} \right]$$

en marea máxima : $r \gg R$, $\Delta F \approx \frac{4 \cdot G \cdot m \cdot M \cdot R}{r^3}$



Sistema Sol-Tierra-Luna: en las marías, donde intervienen el Sol y la Luna, la atracción lunar influye más del doble.

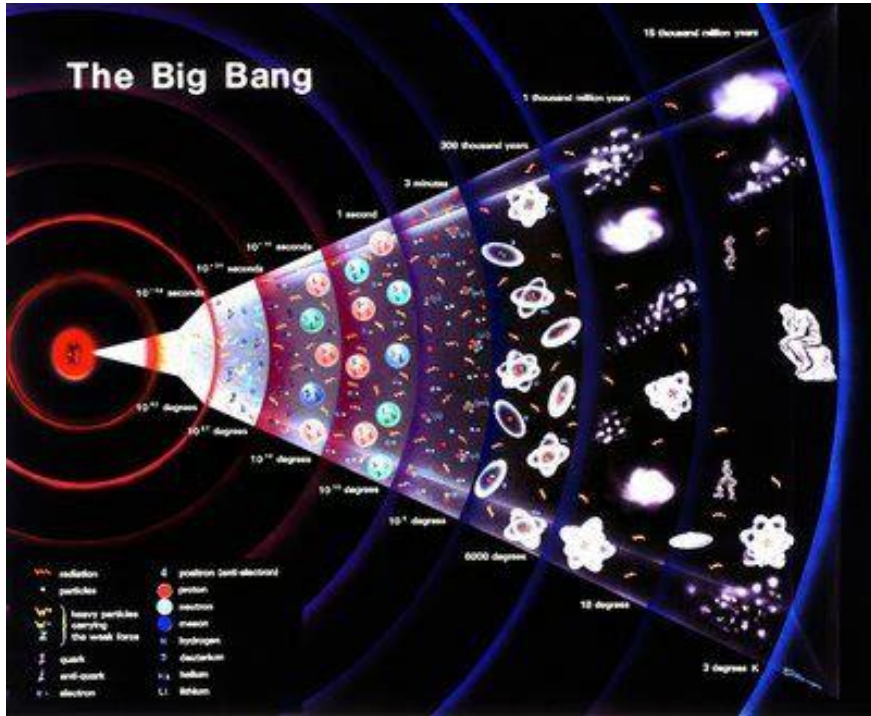
Adaptado de: <http://www.iesleonardoalacant.es/>

Parte II: Tiempo y Calendarios



Portada: Secuencia de la Luna, en: Emilyjacobi.com

El remoto pasado de nuestro mundo



La teoría Del Big Bang explica el origen y desarrollo del universo.

<https://www.taringa.net/>

- Mientras la Tierra tiene casi la edad del Sistema Solar, el Universo podría ser casi tres veces más antiguo, ya que su edad probable es aproximadamente, de unos 15000 Ma, aunque existen teorías que hablan de 13700 y de 21000 Ma, siendo más probable entre estas dos últimas la primera basade en el Big Bang y que se apoya en la edad de los cúmulos globulares de estrellas.
- Lo anterior que es uno de los problemas de la cosmología y de la astronomía observacional, casi que la respuesta invita a responder: “eso depende”. Como ejemplo, la edad absoluta de los cúmulos globulares más viejos está en el rango de 11 mil a 21 mil millones de años, pero de conformidad con los valores actuales del satélite Hiparco, el rango es de 9 mil a 18 mil millones de años.
- Ahora, hace unos 4751 Ma, aparece el Sistema Solar primitivo, y hace 4600 millones de años, la Tierra primitiva y la Luna. Son varias las teorías acerca del origen de la Luna, y la más aceptada, es la “teoría del gran impacto”, de la década de 1970. La teoría explica mejor las condiciones de inclinación orbital y tamaños comparables de la Tierra y la Luna, como también las diferencias en las estructuras internas de una Tierra con un núcleo metálico más grande.
- Incluso, los océanos tardaron cerca de mil millones de años para formarse y un poco más para formar la actual atmósfera gracias a la fotosíntesis y por lo tanto a la vida primogénita, ya que la atmósfera primitiva con un 70% de vapor de agua y el de la actual es un 4%. Un nuevo estudio indica que la atmósfera primitiva con un 40% de hidrógeno ofrecía un medio más favorable para la producción de compuestos orgánicos prebióticos, lo que se aparta del modelo de atmósfera tipo Marte y Venus, rica en CO₂ y pobre en hidrógeno, lo que obliga a considerar el aporte de moléculas orgánicas a partir de meteoritos.

- Ver: [Manual de geología para ingenieros.](#)

El origen de las cuentas



El Génesis, y la creación de Adán, en la Capilla de El Vaticano. Por Miguel Ángel, alrededor del año 1511.

<https://www.lespañoldigital.com/>

- La primera unidad de medida del tiempo fue el día, y para períodos mas largos el mes con las fases de la Luna, e incluso el año con las estaciones, desde cuando el hombre inicialmente nómada, se asienta, gracias a la creación de los calendarios y con ellos al desarrollo de la agricultura.
- Y respecto al inicio del día, mientras los egipcios asumen el orto o amanecer, los hebreos toman la puesta el Sol, razón por la cual anticipamos la natividad para el 24 de diciembre y celebramos el año nuevo desde el 31. No obstante, ahora tomamos la media noche en lugar del mediodía, para no entrar en conflicto con el cambio de fecha.
- Igualmente el primer día de la semana es el Domingo, ya que sábado en hebreo por ser el Sabbath o descanso, es el último día. Y para el año, si su inicio se relaciona con las cuatro estaciones: Primavera, Verano, Otoño e Invierno, y estas con la mañana, el medio día, la tarde y la noche, pareciera ser el 21 de marzo, aunque las sociedades discreparon porque los Solsticios, al ofrecer el día mas largo y la noche mas corta del año, daban pautas para escoger el primero y el último día en Junio 21 y Diciembre 22, y porque si las estaciones se invierten en los hemisferios de la Tierra, el criterio no resultaba universal. A esto se sumaron otros valores sesgados a un imperio, hasta que se acoge el primero de Enero adoptado Julio Cesar.
- Respecto al año cero, además de fechas notables como la Primera Olimpiada (76 aC) o la Fundación de Roma (753 aC), e incluso hechos bíblicos como la Creación del Mundo, que según cálculos bíblicos pudo ser entre el 3251 y el 4755 años antes de la fundación de Roma, así los judíos tengan como fecha el 3007 antes de dicha fundación, también aparece la fecha del nacimiento de Cristo como inicio de la actual era, con algún error, puesto que la natividad parece haberse dado en el año 4 aC, aunque otros estiman que ocurrió en el 6 aC o el 17 aC.
- Ver: [De los números y su historia](#).

El tiempo

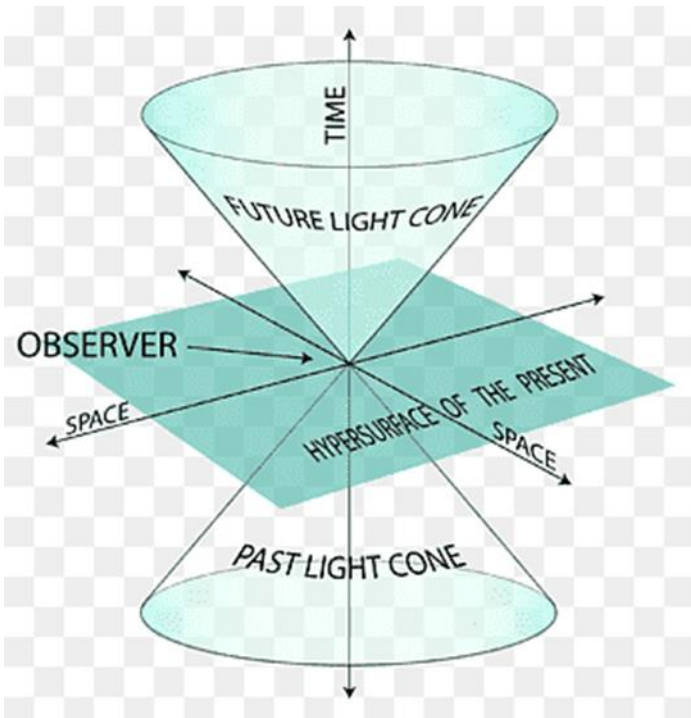


Mapa de constelaciones y signos del zodiaco.
Frederick De Wit, Amsterdam 1680

<https://www.bigstockphoto.com/>

- Definía Newton **el tiempo absoluto, verdadero y matemático**, por sí sólo, como algo que debido a su naturaleza fluye de manera regular, e independiente de cualquier relación con el exterior. Para Newton, si el universo es infinito, el tiempo no puede tener un inicio y debe ser eterno.
- Pero **hoy se sabe que el tiempo no es absoluto**. Según la teoría restringida de la relatividad, sus medidas dependen del estado de movimiento del observador, y el tiempo es la cuarta dimensión de las coordenadas en el continuo espacio-tiempo. Tampoco es una sustancia que fluye regularmente, sin relación con nada exterior, pues los campos de gravedad intensa, al deformar el espacio tiempo, advierten de qué manera se **dilata el tiempo**.
- **Si fluyera** el tiempo, no podría medirse experimentalmente. El desplazamiento del presente, del pasado al futuro, parece ser subjetivo. Vemos cómo la física se ocupa de **intervalos** de tiempo, sin llevar a las ecuaciones matemáticas el momento presente. No obstante, podemos decir que el tiempo tiene una flecha o dirección, al desplazarse hacia adelante, a una rata de un segundo por segundo.
- La irregularidad, que se le niega poseer al tiempo, no podría tampoco ser objeto de determinación por no existir método alguno que nos permita medir una eventual irregularidad. Queda entonces establecido que las determinadas flechas del tiempo no tienen que ver con un flujo. Sólo que el mundo no es simétrico respecto al tiempo.
- Ver: [Albert Einstein.](#)

Espacio-Tiempo



Espacio-tiempo de Minkowski <https://e7.pngegg.com>

- Planteadas estas dificultades en el tiempo newtoniano, ¿cómo se ha de definir el tiempo? no se puede decir que sea lo que define el **orden temporal** de los acontecimientos. Con omisión de las implicaciones del término temporal, aparece la dificultad de que el orden de los acontecimientos también **es relativo**, por depender de la posición del observador.

- Al explotar dos estrellas, veremos primero la luz que primero llegue a nuestros ojos, independiente de cual acontecimiento haya sucedido primero: si ocurrieran en el mismo instante los eventos, de estar equidistantes las estrellas, la información la recibiría el observador simultáneamente; y si no son equidistantes, llegará primero la información de la estrella más próxima. Puede ocurrir, en el segundo caso que explotando primero la estrella más lejana, la luz de ambas llegue simultáneamente al observador, y este erróneamente, suponga los eventos en el mismo orden cronológico. Por eso es conveniente considerar el tiempo a la luz de la teoría general de la relatividad, para verlo como un elemento geométrico del **espacio tiempo tetradimensional**.

- Nadie sabrá si este concepto tendrá sentido alguno cuando se entra a la región de Planck; pues a la escala de 10^{-43} segundos o menos, pudiera el tiempo dejar de existir, o estaría constituido por las partículas llamadas "**cronos**". Es que de pronto el tiempo tampoco tiene una estructura continua y uniforme, es decir, discreta y posiblemente sus partículas constituyentes no se han podido detectar.

- Ver: [La Astronomía en América Precolombina.](#)

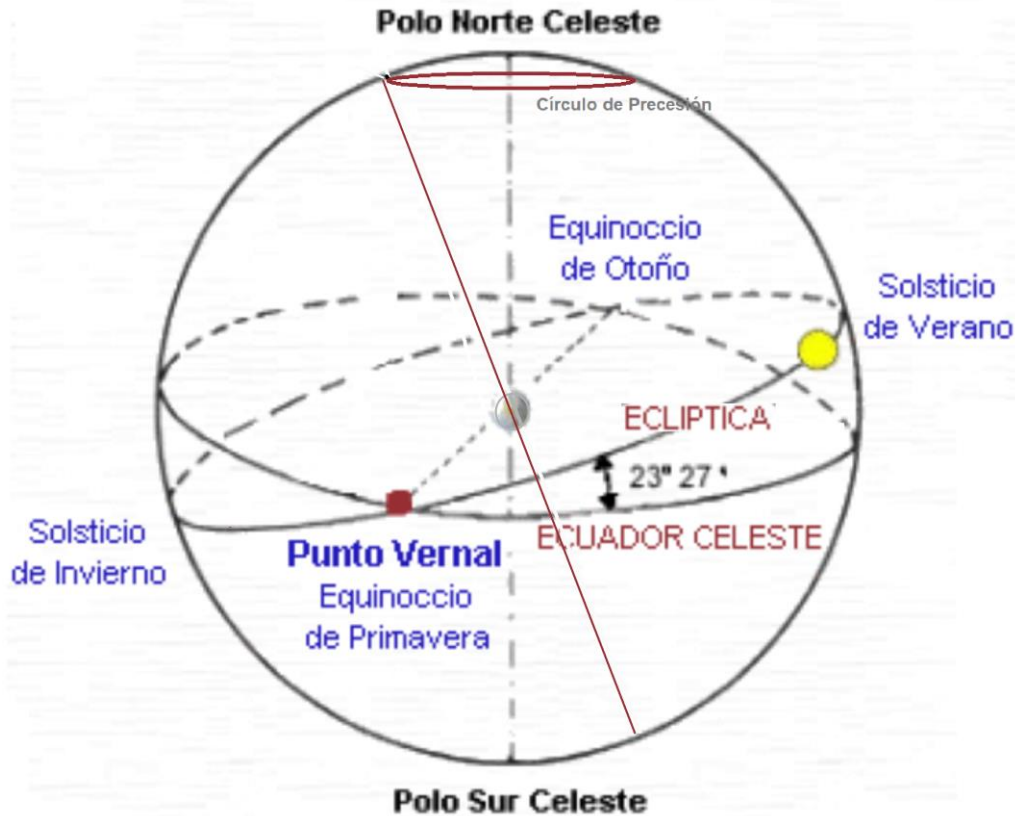
Las flechas del tiempo



Del tiempo absoluto al tiempo relativo,
en <https://www.astromia.com/>

- La teoría general de la relatividad, que parece ofrecer la definición más completa, no nos ha aclarado la razón de las flechas del tiempo, ni la relación entre ellas.
- Es la primera flecha la **termodinámica**, que anuncia la entropía creciente, el pasado y el futuro son diferentes, pues el universo viene de un estado más a uno menos ordenado; es la flecha más importante.
- La **expansión** del universo es la segunda flecha; y no se sabe de su relación con la flecha termodinámica. Claro sí, que esta dinámica del universo en expansión, se conecta con las interacciones gravitatorias, aunque no tenemos el cálculo de la entropía en un campo gravitatorio.
- La tercera flecha del tiempo se relaciona con las partículas elementales. En la física nuclear se permiten reacciones en sentidos opuestos. No obstante, existe una extraña excepción en una reacción entre partículas elementales. Se trata del **mesón neutro K o kaón**, que sí presenta una asimetría de tiempo. El kaón es una subpartícula ligada a colisiones hiperenergéticas. Es inestable, desintegrándose de diferentes formas. Se transforma en tres piones, o en un pion, un positrón y un neutrino. Pero según las leyes de la física, el kaón habrá de desintegrarse en tres partículas, pues de ser sólo dos, el proceso no sería reversible. En 1964 se observó que, a veces, sucede una desintegración en dos partículas, y esa es una flecha del tiempo, ya que se constituye en una asimetría.
- La cuarta flecha es la **electromagnética**. Las ondas se propagan en el futuro, no en el pasado. Cuando se mira el Sol, han transcurrido ocho minutos entre la emisión y la recepción de su imagen, tiempo suficiente para que el astro cambie de posición. Así, todo lo que vemos, lo vemos en el pasado, en su pasada posición y estado.
- La quinta flecha es la **sicológica**. Tan enigmática es que, algunos filósofos, han puesto en duda la existencia del tiempo. Según ella no recordamos el futuro.
- Ver: [*El tiempo y sus dimensiones en la ciencia*](#).

Una referencia en el cielo

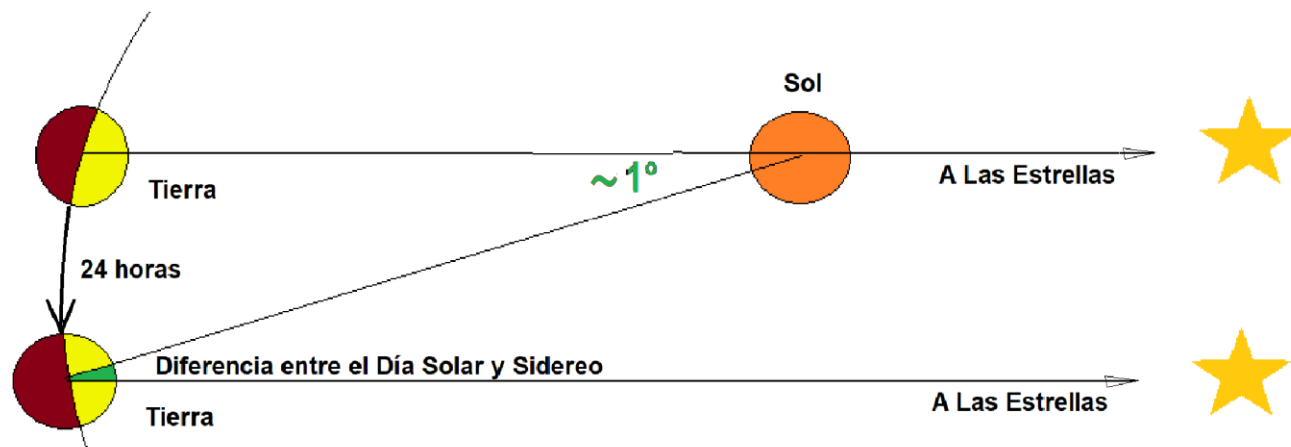


El plano de la Eclíptica, está inclinado $23^{\circ} 27'$ respecto al Ecuador Celeste. Donde se cortan aparece la línea de los equinoccios.

Imagen(adaptada), en <http://www.astronom.net/>

- Es el punto Aries o punto Vernal, lugar de la eclíptica a partir del cual el Sol pasa del hemisferio sur celeste al hemisferio norte, en el equinoccio de Marzo. El Equinoccio de primavera o Punto Vernal, es llamado también punto Aries porque entre el año 2000 y 50 aC aproximadamente, por la precesión de los equinoccios, este punto de la eclíptica estaba dentro de la constelación Aries.
- Igualmente, si en épocas del nacimiento de Cristo, el Punto Vernal emigró de la constelación de Aries a la constelación de Piscis, entonces estaría entrando a Acuario, ya que por la lenta rotación precesional de la Tierra en promedio cada 2150 años, (25800 años de precesión/12 signos del zodiaco), el Punto Vernal pasaría de una constelación zodiacal a otra.
- Recordemos que la órbita de la Tierra es elíptica, luego, por la segunda Ley de Kepler, si la velocidad de traslación de la Tierra es variable, el cambio de la imagen aparente del Sol en la Eclíptica, también es variable. Además, el eje de la Tierra está inclinado y su órbita es excéntrica, pero los solsticios no coinciden con el perigeo y el apogeo. De esto se desprende que la duración de los días solares sea en realidad variable: los días son más largos cuando la velocidad de traslación es mayor.
- Ver: [Cosmografía: cómo observar el cielo](#).

Día sidéreo y día solar medio.

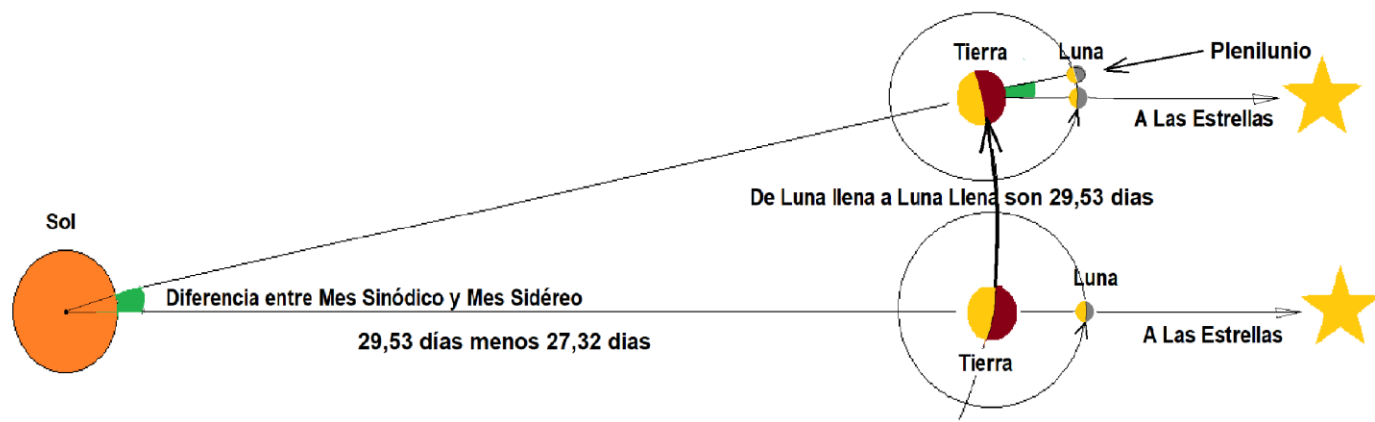


Día sidéreo y día solar: por la traslación, el Sol parece haberse quedado atrás respecto de las estrellas del fondo. Fuente: <http://fomalhaut-mp.blogspot.com/>

- Viendo la gráfica, **se acaba primero el día sideral que el día solar medio**. Para que termine el día solar, falta la rotación cercana a un grado (1°) de la órbita terrestre. Por tal circunstancia, el día solar dura 3 minutos 56,555 segundos de tiempo más, que el día sideral. Acumulando estos valores, aparece en consecuencia el año bisiesto con lo cual nos empalmamos al año tropical, aunque no exactamente, dado que el año trópico termina, no con las estrellas, sino con el equinoccio de primavera o Punto Vernal. Ver: [Isaac Newton.](#)

El **tiempo sideral** se mide con relación a las estrellas. Un día sideral es de 23 horas 56 minutos y 4,0916 segundos, o sea casi 4 minutos más corto que el día solar. Y un año sidéreo, 366,256 días sidéreos o 365,2563631 días solares medios. Pero esto supone dejar de lado ciertas irregularidades de la rotación terrestre y el movimiento del polo para poder medir el tiempo sideral con el ángulo horario del Punto Vernal desde una posición dada. El **tiempo tropical** se mide con relación al Punto Vernal, aunque este cambie por la precesión de los equinoccios. Un año trópico vale 365,242189 días de tiempo solar medio (365 días 5 h 48 m 45,10 s). Igualmente, se denomina año anomalístico al tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de un planeta por su perihelio, y su duración media es 365,259 635 864 días (365 d 6 h 13 min 52 s). Ver: [Stephen Hawking.](#)

Tiempo sidéreo y tiempo tropical

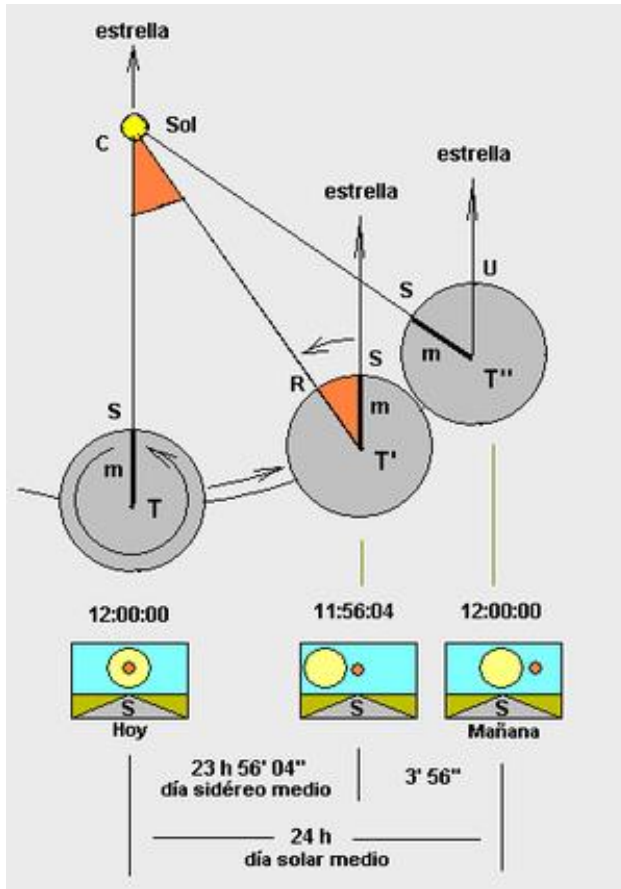


El mes sidéreo o con referencia a las estrellas lejanas, es más corto que el mes sinódico o con relación al Sol y por lo tanto entre dos lunas llenas, ya que la Tierra está en movimiento. <https://astronomiasimple.wordpress.com/>

- Un año tropical llamado también año solar es el tiempo que tarda el Sol en volver a la misma posición en el ciclo de las estaciones, visto desde la Tierra. ¿Y con relación al año sidéreo, qué? Sabemos que el año tropical es aproximadamente 20 minutos más corto que el tiempo que tarda la Tierra en recorrer su órbita, medido con respecto a las estrellas fijas (año sideral), y que por lo tanto el ciclo de las estaciones no está exactamente sincronizado con la posición del planeta en su recorrido alrededor del Sol; esto debido a la precesión de los equinoccios. Ver: [*Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.*](#)

Se denomina **culminación superior** de un astro, al paso del astro por el punto más alto sobre el horizonte del observador. El **día trópico** es el intervalo de tiempo entre dos culminaciones unívocas del punto vernal. Si con alguna aproximación, para efectos prácticos el tiempo sidéreo se mide por el ángulo horario del punto vernal, entonces el día solar verdadero, a diferencia del anterior, es el intervalo entre dos culminaciones superiores o inferiores consecutivas del Sol, razón por la cual el tiempo solar verdadero se mide por el ángulo horario del Sol. Si el inicio del **día sidéreo** es la culminación superior del punto vernal, mientras que el comienzo del **día solar** es la medianoche, entonces **el tiempo solar** es igual al ángulo horario del Sol más 12 horas. La duración del día solar verdadero, en el transcurso del año, varía como consecuencia de la velocidad no uniforme del Sol por la eclíptica, y también por la inclinación entre el plano de la eclíptica y el ecuador celeste ($23^{\circ} 27'$). Igualmente, durante largos períodos de tiempo la tasa de rotación de la Tierra, o sea, la duración del día solar medio, no es constante; esto resulta fundamental para comprender el año tropical, o sea el tiempo requerido para que el Sol realice un ciclo completo de las estaciones y regrese a la misma longitud eclíptica.

Día solar medio



• Por ello aparece un nuevo concepto: "**Día solar medio**". Utilizando un Sol medio imaginario que se mueve uniformemente por el ecuador celeste, realizando una vuelta completa durante un año tropical. Sirve esto, dado que los relojes solo pueden cronometrar un valor medio y no el ritmo variable de la posición aparente del Sol en la eclíptica, dados los cambios de velocidad de la tierra alrededor del Sol, en su órbita.

• El **año sidéreo**, es el período necesario para que el Sol ocupe la misma posición en la órbita aparente respecto a una estrella fija, y equivale a 365,2564 días solares medios.

• El **año tropical** es una revolución de la Tierra alrededor del Sol, hasta ubicarse nuevamente respecto de la misma estrella del fondo. Dicho año, es casi igual al año sidéreo, el que se toma con relación al punto Vernal " γ "; pero el punto vernal por el movimiento de precesión, modifica su posición respecto a las estrellas del fondo en 50,26" por año.

• El **tiempo solar medio** se mide por el ángulo horario del Sol medio. La duración de este día es constante. La ecuación de tiempo es igual al tiempo medio menos el tiempo verdadero y por lo tanto, será igual a la ascensión recta del Sol verdadero menos la del Sol medio. Esas diferencias entre los tiempos medio y verdadero a lo largo del año se publican en las **efemérides** de cada año, en el Calendario astronómico del año en curso.

• Si llamamos **m** el tiempo solar medio, **s** el tiempo sidéreo y **So** el tiempo sidéreo a mediodía, expresado en **m** horas, la **conversión de un tiempo sidéreo** en intervalo de tiempo solar medio, se da por la fórmula:

$$S - S_o = m + (3\text{min } 56 \text{ seg}) m / 24$$

Ecuación de Tiempo 1

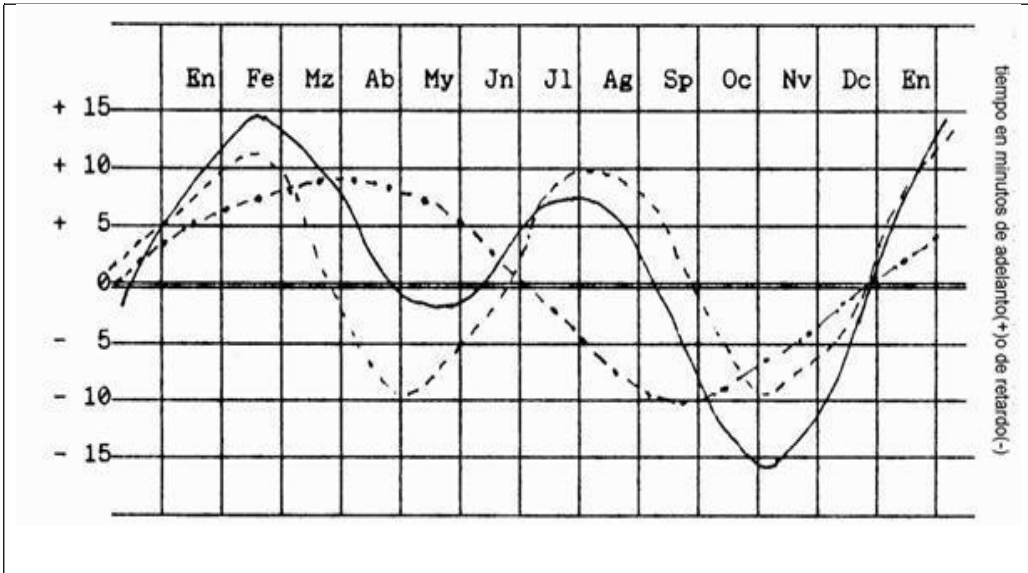


Imagen: La ecuación de tiempo: — Ecuación de Tiempo; --- Función de la inclinación de la eclíptica; ·-·- Función de la excentricidad de la órbita terrestre.

Fuente:

- Se llama Ecuación de Tiempo a la expresión **W** que permite evaluar cada día los minutos que tarda o que se adelanta el Sol, en su paso por el meridiano, con relación al reloj: **m** es el tiempo del reloj de pulso con cronómetro y **v** el tiempo verdadero en el cual pasa el Sol obtenido con la sombra en un reloj de Sol. Se trata aquí de encontrar la ecuación de empalme entre los dos relojes.

- Siendo **W** la diferencia entre el tiempo medio **m** y el verdadero **v**, tendremos que la diferencia es mayor a comienzos de noviembre, cuando el tiempo solar medio está a más de 16 minutos por detrás del tiempo solar aparente, y a mediados de febrero cuando el tiempo solar medio va más de 14 minutos por delante del tiempo solar aparente. Los dos son iguales cuatro veces al año, el 15 de abril, el 14 de junio, el 1º de septiembre y el 25 de diciembre.

- Siendo la ecuación de tiempo, una función que puede representarse con **W = m - v**, tenemos en el siguiente diagrama el valor de **W en minutos, a lo largo del año** -ver la línea continua- cuya ordenada es la suma de las ordenadas de las funciones **m** y **v**.

- Ver: [Guía astronómica](#).

Ecuación de Tiempo 2

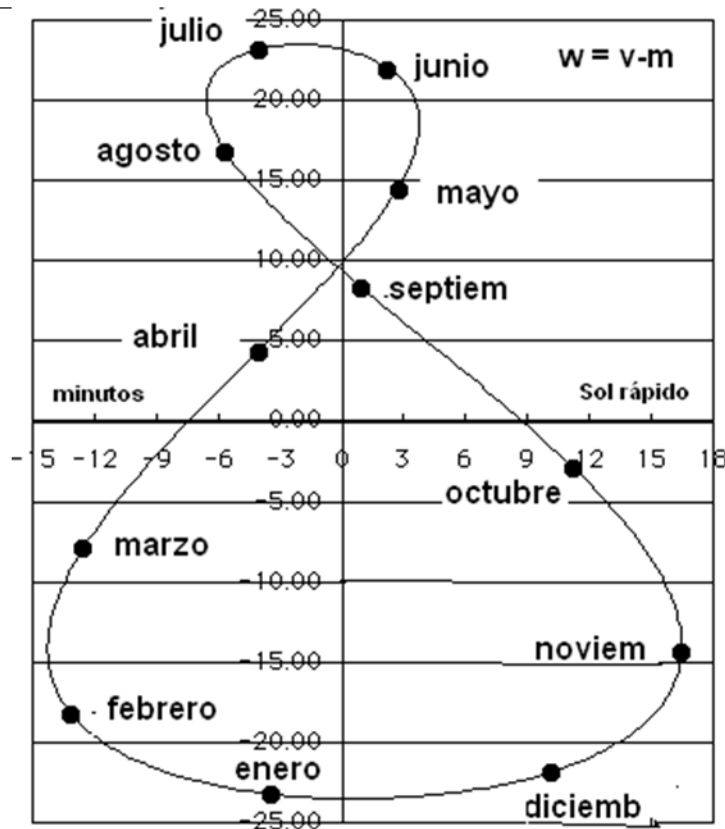


Imagen: Analema solar expresando de otra forma la diferencia del tiempo verdadero menos el tiempo medio. Fuente, Diccionario Rioduero de la Física y el Espacio.

- También se puede representar la ecuación de tiempo con el analema o curva adjunta.

$$W = m - v$$

- En ella, “**W**” es la diferencia “**v**” menos “**m**”, por lo que los datos se ofrecen con signo contrario a los de la gráfica anterior.
- Se puede aproximar por la siguiente fórmula.

$$E = 9.87 \cdot \sin(2B) - 7.53 \cdot \cos(B) - 1.5 \cdot \sin(B)$$

- Donde

$$B = 360 \cdot \frac{N - 81}{365} \quad N = \text{día del año}$$

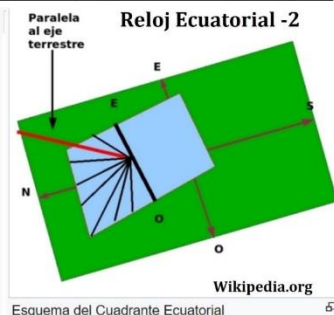
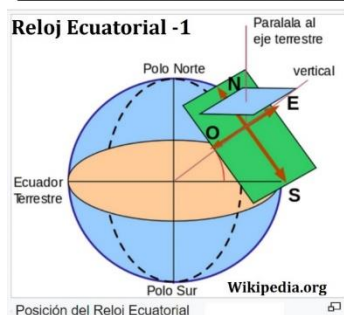
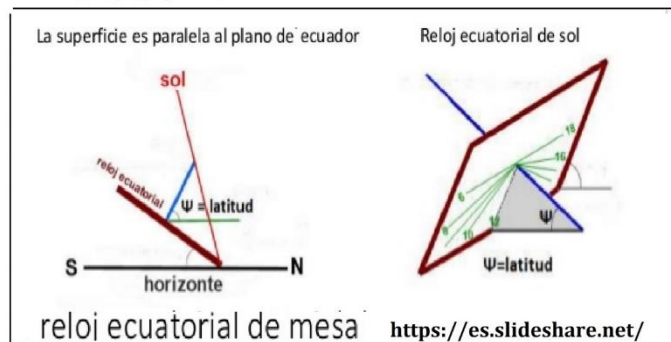
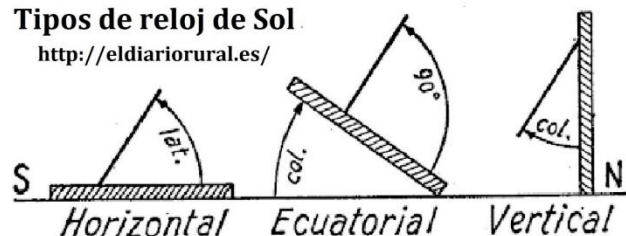
Cuando se lee el tiempo en un reloj de Sol, pueden darse errores en la lectura de la hora, dado que el reloj de Sol marca tiempo solar real o verdadero y el cronómetro tiempo solar medio u oficial.

- Ver: [La astronomía en Colombia: perfil histórico.](#)

El reloj de sol

Tipos de reloj de Sol

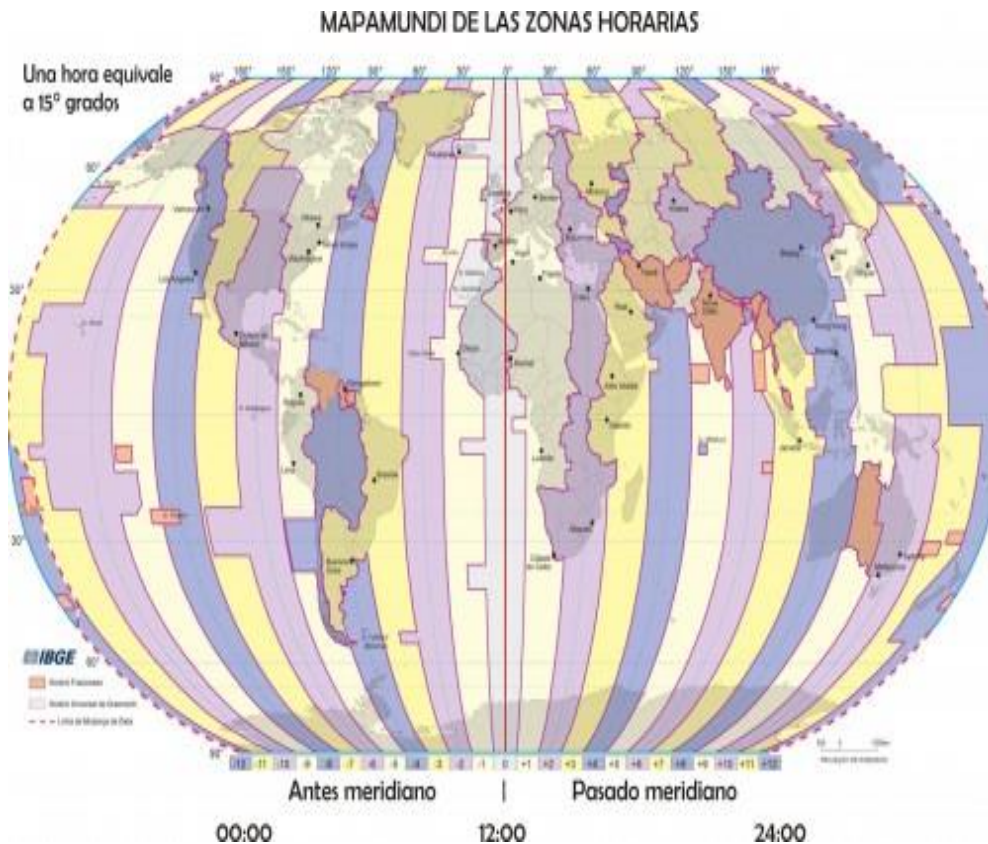
<http://eldiariorural.es/>



Relojes de Sol en el diario rural, y Reloj Ecuatorial en: <https://es.slideshare.net/> y en <https://es.wikipedia.org/>

- El reloj solar es un instrumento usado desde tiempos remotos para medir el paso de las horas. También se denomina cuadrante solar, y consiste en un **gnomon o estilete** sobre una superficie donde proyecta su sombra sobre una escala que mide el tiempo según la posición del Sol valla cambiando con su movimiento diurno.
- Según la disposición del **gnomon** y forma de la escala, se pueden medir diferentes tipos de tiempo; el más habitual es el **tiempo solar aparente**. Existen varios **tipos de reloj de sol**; entre ellos: R. Ecuatorial, R. Horizontal, y R. Vertical, según se disponga la superficie de proyección de la sombra. Ver imagen superior, donde se alude a la **Latitud** y a la **Colatitud**.
- En el R. Ecuatorial, el **gnomon o estilete es paralelo al eje de rotación de la Tierra**, y se cuenta con una **superficie plana** perpendicular al gnomon, y por lo tanto **paralela al plano del ecuador terrestre**, para proyectar sobre el la sombra. Para el **trazado de las líneas horarias sobre el cuadrante**, se dibuja un círculo con el centro en el polo del cuadrante y **se divide en 24 partes de 15°**. Posteriormente se trazan los 24 radios correspondientes a la división anterior. Lo anterior, dado que **la altura del Sol sobre el horizonte**, cambia 15° por cada hora transcurrida.
- La dirección de la sombra del estilete, cae sobre el radial de la hora correspondiente, y todas ellas a lo largo del día son simétricas con relación a la sombra de las 12 meridiano, si el reloj esta orientado correctamente con el **meridiano del lugar -salvo el corrimiento asociado al uso horario**. Ver las imágenes central e inferior.
- Aun mas, **si el reloj es de gran tamaño**, la extensión o longitud de las sombras para cada hora, mes a mes permite trazar puntos en cada radio, que al unirse generan las líneas del calendario.
- Ver: [*El tiempo y sus dimensiones en la ciencia*](#).

Tiempo Universal



Colombia adoptó, mediante la ley 91 de 1914, el uso horario GMT -5 para todo el territorio nacional. Imagen: Zonas horarias, en: <https://ameliecalot.wordpress.com/>

- **Tiempo Universal TU; Tiempo de Efemérides TE, Tiempo del Meridiano de Greenwich GMT, y Tiempo Dinámico TD.** En los observatorios hay generalmente un reloj que marca el tiempo sidereal del lugar, con el fin de hacer las observaciones, tomando como punto de partida el punto Aries o Punto Vernal.

- El tiempo sidereal de **Greenwich** puede venir tabulado en los almanaques astronómicos, a fin de transformar el tiempo sidereal local en éste último, según nuestra longitud astronómica. Otras escalas de tiempo, además del tiempo medio de Greenwich (GMT), son: el universal (TU), el de efemérides (TE) y dinámico (TD).

- Se denomina **tiempo universal** el tiempo zonal del meridiano de Greenwich.

- Pero hay defectos en la uniformidad de este tiempo basado en la rotación de la Tierra. Para uniformar la escala se recurre al tiempo newtoniano que se presenta en las efemérides, como tiempo de efemérides TE. Desde 1984 se utiliza el tiempo dinámico terrestre de gran utilidad en la mecánica celeste.

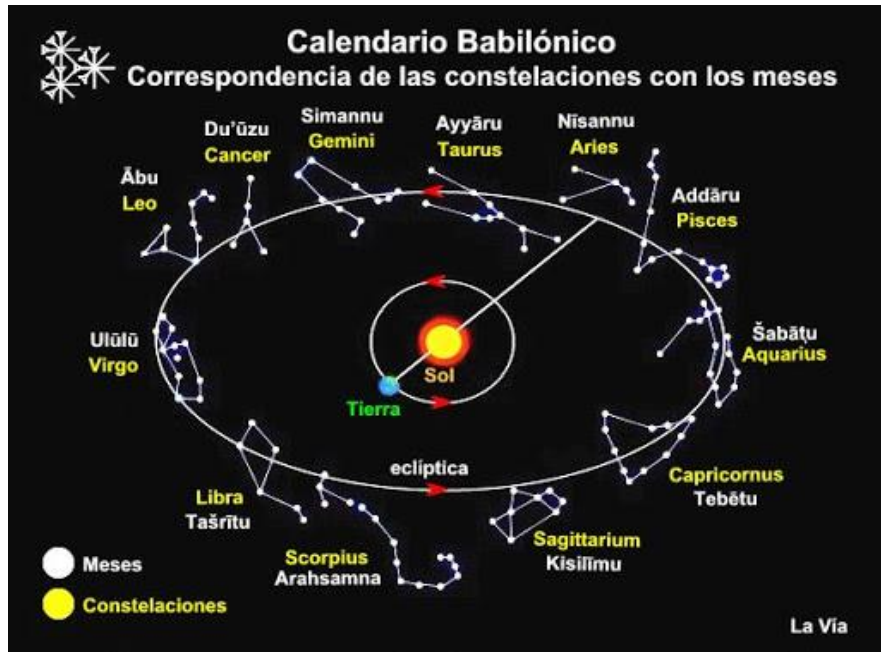
- En la Royal Canadian Institute el 8 de febrero de 1879, Sandford Fleming propuso que el horario universal estándar tuviera como meridiano de origen al Antimeridiano de Greenwich, denominado ahora como el meridiano de 180°. Por lo tanto, el tiempo de Greenwich es 12 horas inferior al TU; esto es:

$$\text{TU} - \text{GMT} = 12 \text{ horas}$$

- **Nota:** Colombia ha adoptado como su hora oficial, el Tiempo Universal Coordinado (UTC) menos 5 horas.

Ver: : [La Luna](#).

Calendarios



Calendario babilónico, y constelaciones,
en <http://www.lavia.org/>

- Antes de Galileo el concepto de tiempo que manejaba la humanidad, era el de un **tiempo discreto**: día, semana, mes, año... Entre una y otra puesta del Sol se tenía el día, cada fase de la Luna daba la idea de una semana, entre una Luna nueva y la siguiente el lapso era un mes, entre una primavera y otra, o entre dos posiciones homólogas entre el Sol y una constelación, se tenía el año. Después de Galileo el tiempo se comprende como una **función continua**: la velocidad con la cual se desplazan los objetos y la aceleración como una variación de la velocidad, son dos magnitudes que suponen el transcurrir continuo del tiempo.

- Nos ocuparemos aquí del tiempo en su primera versión. Esa dimensión siempre fue importante para el hombre que depende de los ciclos de la caza, la pesca y las cosechas de la tierra. También lo es hoy si comprendemos la ciudad, desde el punto de vista cosmológico, como el espacio reticulado controlado por la hora.

- Los calendarios suelen ser solares, lunares y lunisolares: veamos

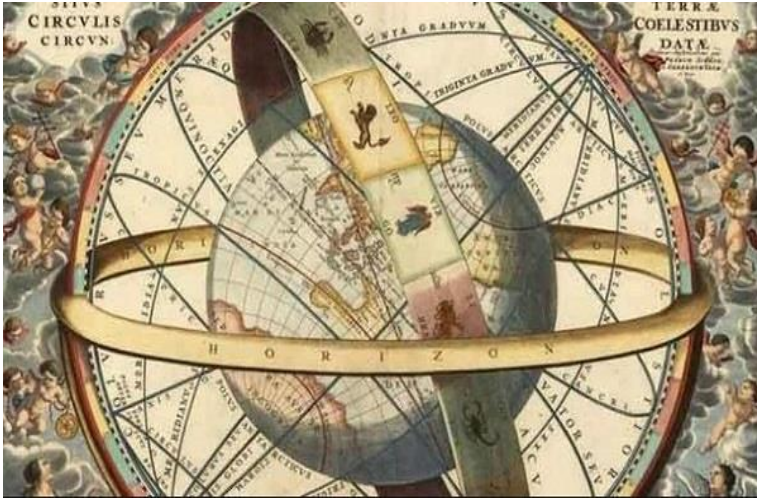
- **Calendario solar**: basado en el movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol.

- **Calendario lunar**: basado en el ciclo de las fases de la Luna en el que 12 meses sinódicos constituyen un año lunar.

- **Calendario lunisolar**: toma en consideración tanto las estaciones del año como las fases de la Luna. Si el año solar se define como un año tropical, entonces un calendario lunisolar dará una indicación de la estación; si se toma como un año sideral, entonces el calendario predecirá la constelación cerca de la cual ocurrirá la luna llena.

- Ver: [Eclipse Total de Sol del 21/07/2017.](#)

Reformas calendáricas



La revolución de octubre tuvo lugar en noviembre según el calendario gregoriano, pero en la Rusia de los zares, quienes no eran afines al Vaticano, todavía regía por entonces el calendario juliano. Calendario, en <https://www.catalunyavanguardista.com/>

- Cayo Julio César o Gayo Julio César| (100-44 a. C.) fue un político y militar romano del siglo I a. C. Asesorado por el astrónomo egipcio Sosígenes corrigió el calendario en uso, dado el desorden de las intercalaciones, con lo cual las fiestas de la recolección no caían ya en estío, ni las vendimias en otoño. Ajustó el año al curso del sol, al suprimir el mes intercalado y aumentar un día cada cuatro años. Iniciado en el año 46 a. C., daba una extensión media de 365.35 días, algo más que la duración del año tropical; por esa razón el calendario juliano se iba desajustando lentamente de las estaciones.

- Calendario Gregoriano:** utilizado para la mayoría de los fines en el mundo, e iniciado por el papa Gregorio XIII en 1582. Se corrige un desfase que provenía de un inexacto cómputo del número de días con que cuenta el año trópico; según el calendario juliano que instituyó un año bisiesto cada cuatro, consideraba que el año trópico estaba constituido por 365,25 días, mientras que la cifra correcta es de 365,242189, o lo que es lo mismo, 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45,16 segundos.

- La regla del calendario juliano** para fijar los años bisiestos (según la cual había que intercalar un día adicional cada cuatro años), **fue modificada** en el sentido de considerar años bisiestos, de 366 d, todos aquellos años cuyas dos últimas cifras fuesen exactamente **divisibles por 4, pero conservando** como años comunes, de 365 días, **aquellos años que, siendo un número entero de centenas, no son divisibles por 400**, por ejemplo: 1700, 1800, 1900, etc.; **si el año es múltiplo de 400 es bisiesto**, por ejemplo: 1600, 2000, 2400.

- Ver: [Amenaza sísmica en el Eje Cafetero.](#)

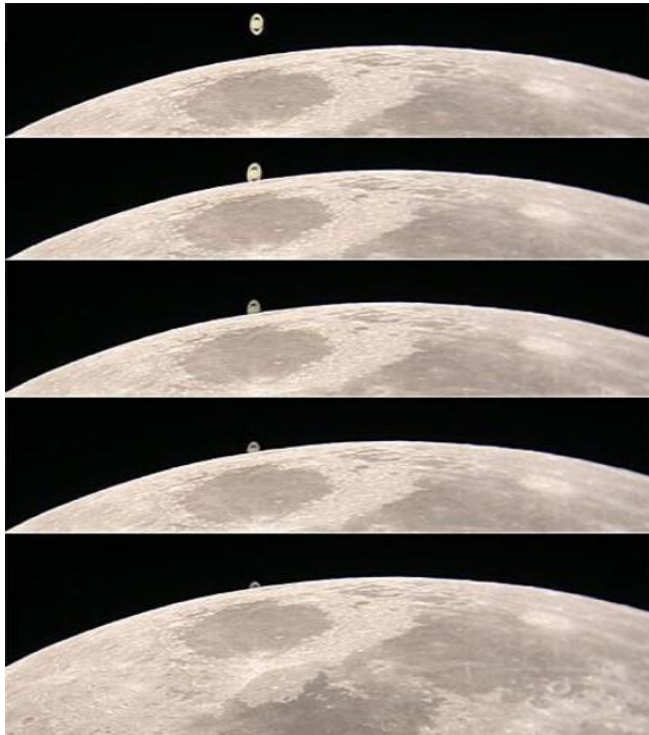
Duración del año y el mes



Stonehenge en el solsticio de verano, cuando el Sol alcanza su mayor altura y la duración del día es la máxima del año. Fuente, <https://www.visitarstonehenge.com/>

- **El año gregoriano** tiene una duración media de 365,2425 días solares medios, con lo cual acumula un error de aproximadamente un día cada 3300 años con respecto al valor actual del año tropical medio.
- **Año tropical** = 365 d 5 h 48 m 46 seg. o 365,24220 días solares medios. **El año tropical** es ligeramente más corto que el año sidéreo por la precesión del punto vernal hacia el Sol ; pero se pueden asumir iguales dada la insignificante diferencia de tiempo.
- **Mes sinódico** = 29 d 12 h 44 m 3 seg. o 29,53059 días solares medios. **El mes sinódico** dura más que el mes sidéreo, (27,3217 d sm).
- **El mes anómalo** es el tiempo que tarda la Luna entre dos perigeos. Ella recorre su órbita en 27,3216 días solares medios. **El año anómalo** es el tiempo que tarda la Tierra entre dos perihelios consecutivos, es decir, lo que demora la Tierra para recorrer su órbita. Es más largo que el año sidereal porque dura 365,2596 días solares medios contra 365,2564 días del año sidereal.
- **Año lunar:** duración de 12 meses sinódicos. El Año nuevo lunar es el comienzo de un año cuyos meses son ciclos lunares. Todo el año puede dar cuenta de un calendario lunar o un calendario lunisolar. En el Ciclo de Metón el año lunar tenía 354 días, dado que el mes lunar tenía 29 días y medio, ya que aunque en un año la luna realiza trece recorridos en torno a la tierra, si la luna hace un giro alrededor de la tierra en 28 días aproximadamente, como la Tierra avanza en su recorrido solar, a los 28 días hay que sumar un día y medio aproximadamente para que se repita la misma fase entre sol' tierra y luna..
- **Mes dracónico:** período transcurrido entre dos pasos de la Luna por el nodo: su plano tiene una inclinación de $5^{\circ} 9'$ con el plano de la Eclíptica $\sigma \sigma'$, aunque varía de $4^{\circ} 59'$ a $5^{\circ} 19'$ por la Nutación.
- Ver: [Atlantis cierra la era del transbordador.](#)

Período entre configuraciones homónimas



Ocultación de Saturno, por la Luna.
Martínez (Astronomical Society of
Kansas City)

- A veces queremos saber cuándo vuelven a alinearse los planetas o a repetirse los eclipses. El problema empieza por calcular el intervalo entre una y otra conjunción u oposición. Ese intervalo de tiempo es lo que se denomina revolución sinódica de un planeta.

Planeta superior

$$1/T = 1/S + 1/P$$

Planeta inferior

$$1/S = 1/P + 1/T$$

- S = período sidéreo u orbital de un planeta alrededor del Sol
- T = duración de un año, en la Tierra (en las mismas unidades de S y P).
- P = intervalo de tiempo entre dos configuraciones homónimas del planeta (período sinódico).
- En el caso de la Luna, la revolución sinódica tiene una duración de 29 d 12 h 44 min 2,78 s, período que se le denomina lunación o mes lunar, ya que es el tiempo necesario para que la Luna vuelva a tener una posición análoga con respecto al Sol y a la Tierra.
- Ver: [Sol, lunas y planetas.](#)

Tres ciclos



La doble rueda calendárica maya, cronológica y ritual, más la tercera que empleaban para contar las eras. El Calendario maya consiste en dos diferentes cuentas de tiempo, que transcurren simultáneamente. Imagen: Pinterest

- **Ciclo de Saros:** se denomina al período de $6585 \frac{1}{3}$ días (18 años, $11 \frac{1}{3}$ días); que es el intervalo de tiempo de 242 meses draconicos, después de cuyo transcurso la Luna vuelve a adoptar la misma posición respecto del Sol, la Tierra y la línea nodal, de forma que los eclipses de Sol y de Luna vuelven a repetirse con el mismo ciclo. En la antigüedad se empleó para predecir eclipses. Después de un eclipse solar o lunar dado, después de 9 años y 5,5 días (medio saros), se producirá un eclipse que es lunar en lugar de solar, o viceversa.
- Ver: [Isaac Newton.](#)
- **Ciclo Juliano:** intervalo de tiempo de 28 años, en el que después de su transcurso, los días de la semana vuelven a caer en el mismo día del mes del calendario juliano.
- **Ciclo Metónico:** se conoce como ciclo lunar. Es el intervalo de tiempo de 6140 días, iguales a 19 años solares, que son aproximadamente 235 meses lunares sinódicos (125 meses de 30 días, 110 de 29 días). Este ciclo reconocido por Metón el año 32 a.C.; es fundamento del calendario lunisolar griego.
- La rueda **calendárica**, en los calendarios mesoamericanos, es la combinación del **ciclo de 260 días** (Tzolkin en el Calendario maya, tonalpohualli en el calendario mexica) y **el de 365 días** (Haab en maya, xihpohualli en náhuatl, pije en zapoteco) que, para encajarse tardan un período de más o menos 52 años, o sea 18.980 días (el mínimo común múltiplo de 260 y 365).
- Ver: [Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.](#)

Los movimientos de la Tierra.

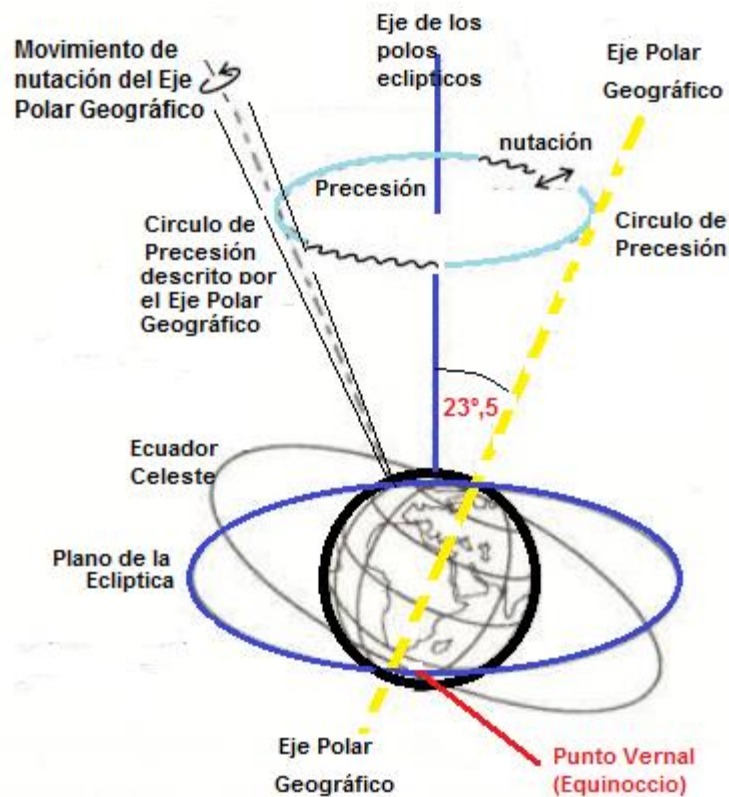


Imagen: La Precisión y la Nutación. In: [Guía astronómica](#).

- Aunque son populares la Rotación y Traslación terrestres como causa del día y el año y en menor grado los movimientos de Precesión y Nutación, también se ha encontrado un quinto movimiento de bamboleo del eje polar. Estos son en consecuencia los cinco movimientos de la Tierra:
- El de **Rotación**, consistente en un giro sobre su propio eje y en dirección oeste-este, cuyo período es de 23 h 56 m 4 s; por él se explica el intercambio del día y la noche.
- El de **Traslación**, por el que describe la órbita alrededor del Sol en 365 d 5 h 48 m y 46 s, recorriendo 936 millones de Km a una velocidad de 29,8 k/s; en el afelio, a comienzos de julio la distancia Tierra-Sol es 152 millones de Km y en el perihelio de 147 millones de Km.
- El de **Precesión**, consistente en un movimiento de peonza, en el que el eje polar o de rotación, por su oblicuidad de $23^{\circ} 27'$ describe un cono circular en un lapso de 25800 años; la precesión se debe a las fuerzas gravitacionales del sistema Sol-Luna, y a la forma elipsoidal de la Tierra.
- El movimiento de **Nutación** provocado por el efecto gravitatorio de la Luna, consistente en un cimbreo del eje polar, que se da conforme describe el círculo de precesión, provocando picos de 700 metros respecto a la trayectoria circular. Dicho movimiento es cíclico, y cada episodio dura algo más de 18 años y medio. La nutación fue descubierta en 1728 por James Bradley, y dada a conocer en 1748.
- Finalmente, el **Bamboleo de Chandler**, un movimiento descubierto en 1891 cuyo origen que no se conoce, produce una variación de 0,7 segundos de arco en el periodo de 433 días del eje giratorio de la Tierra, ocasionando un giro circular de los polos geográficos terrestres, de entre 3 y 15 metros de diámetro.
- En el año 2006, ocurrió algo que dejó atónitos a los científicos: durante seis semanas este movimiento dejó de sucederse, para después volver a tener lugar. De la misma forma que no se sabe por qué ocurre, tampoco pudo conocerse la razón por la que se detuvo durante este tiempo.
- Ver: [Eclipse Total de Luna del 28-08-07](#).

Los movimientos de la Luna.

- La Luna es nuestro satélite natural, y por tanto **gira alrededor de la Tierra** a una distancia media de 384.400 kilómetros, aunque la distancia real varía a lo largo de su órbita.
- La Luna gira y orbita la Tierra de occidente a oriente, en un movimiento que permite distinguir **dos períodos de revolución**: el sidéreo, tomando como referencia una estrella, de 27 d 7 h 43 m y 11,47 s, y el sinódico, tomado con relación al Sol (llamado también lunación o mes lunar), de 12 h 44 m y 2,78 s.
- La rotación de la Luna sobre su eje tiene una duración igual al mes sidéreo, por lo que **siempre presenta la misma cara vista desde nuestro planeta**. A pesar de ello, desde la Tierra se ve algo más de un hemisferio lunar (59% de su superficie), debido a unos balanceos aparentes llamados libraciones, como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra y de la inclinación orbital.

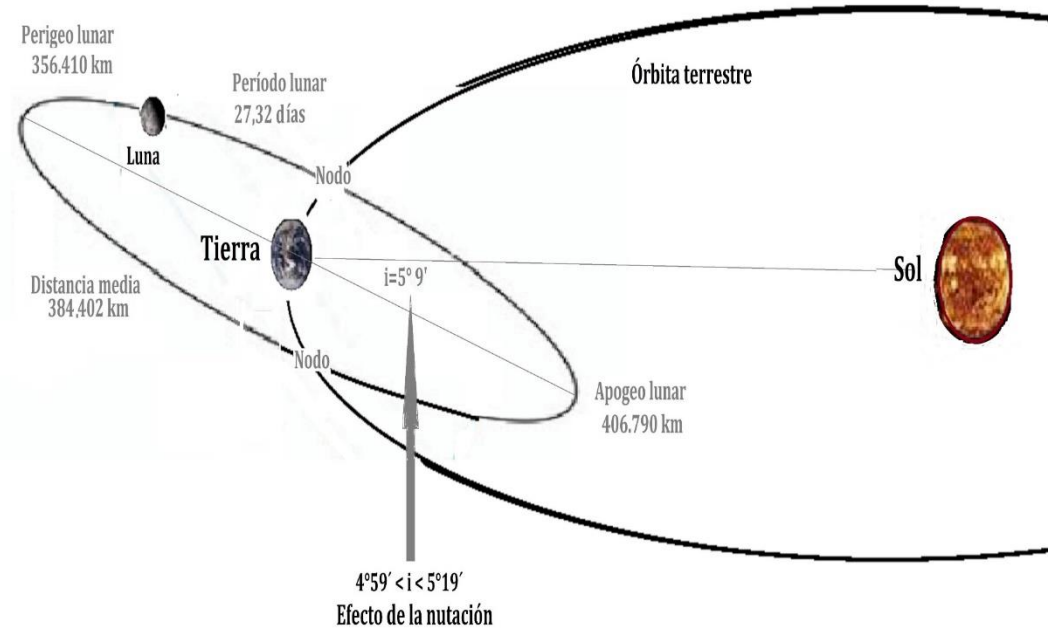


Imagen: Órbita lunar, con su inclinación respecto a la eclíptica, y distancia a la Tierra, variables.

- La **libración o desplazamiento de oeste a este** cuyo movimiento aparente se produce de este a oeste se debe a la atracción terrestre, mientras **la libración en la latitud o de norte a sur** como efecto de la inclinación de su órbita lunar respecto de la eclíptica.
- La Luna **posee otros movimientos**, como el retrógrado de los nodos, con una duración de 18,6 años, y otro más que afecta la línea de los ápsides, o sea la recta que une apogeo y perigeo. El primero origina la llamada revolución anomalística. El movimiento de precesión de los equinoccios da lugar a la revolución trópica.
- El **mes anomalístico**, o tiempo medio que tarda la Luna en pasar por el perigeo, tiene una duración media de 27.55455 días solares medios.
- El **mes draconítico o dracónico** tiene una duración media de aproximadamente 27 1/5 días, y es el período entre dos pasos por el nodo ascendente, aunque la línea de los nodos no está fija sino que gira retrogradando y dando una vuelta completa en aproximadamente 18.6 años. Ver: [La Luna](#).

Parte III: La Luna



Panorámica de la luna en Acienciasgalilei.com y Orto lunar con el Faro Byron Bay en Nueva Gales Australia.

Datos básicos de la Luna

- La Luna es el satélite natural del planeta Tierra, y con el Sol es la **responsable de las mareas**.
- La distancia media entre los centros de la Tierra y de la Luna es 384.400 km, por lo que la **luz solar reflejada sobre ella tarda 1,3 seg** en llegar a la tierra. Ver Imagen.

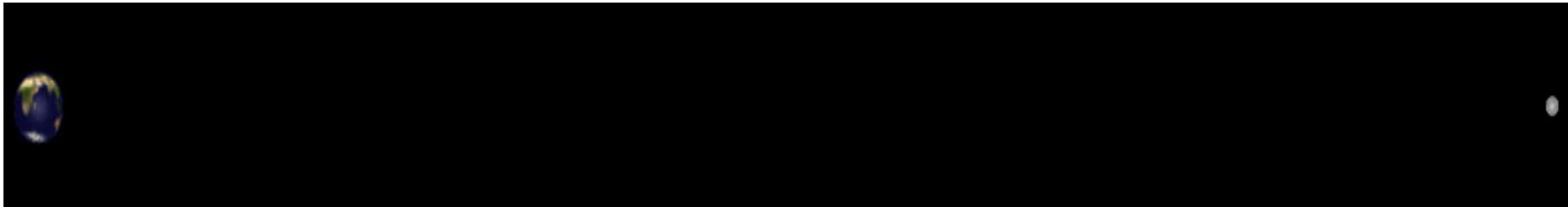


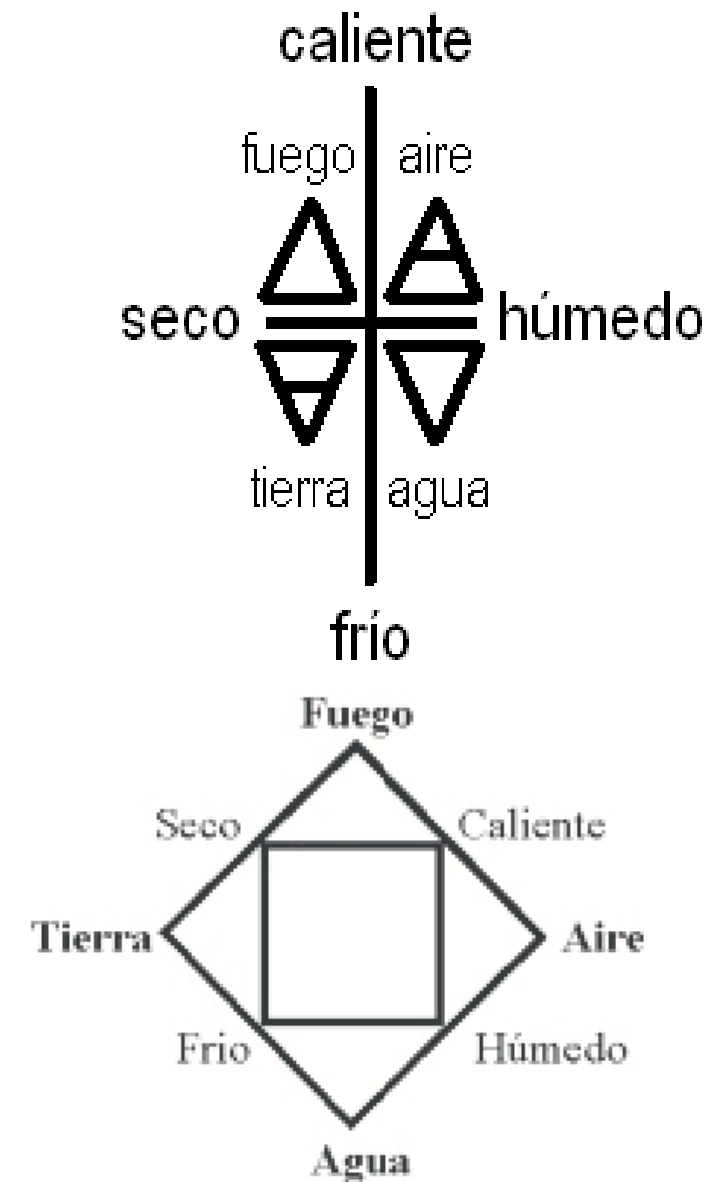
Imagen: <http://es.wikipedia.org/wiki/Luna>

- El **periodo orbital de la luna, igual al de rotación**, es de 27 días 7 h 44 min: en consecuencia, siempre apreciamos su misma cara desde la Tierra.
- El **diámetro** lunar de 3.474 km es de menos de un tercio del terrestre que varía entre 12.757 km y 12.714 km.
- La **masa** terrestre es 81 veces mayor que la lunar, y la gravedad en la superficie terrestre 6 veces superior.
- La Luna **no posee atmósfera**, por lo que su temperatura superficial media varía entre +117°C en el día y -153°C en la noche.

Ver: [El sistema solar.](#)

El modelo aristotélico

- La teoría aristotélica explica **la caída y movimiento de los cuerpos**, afirmando que ellos buscan su lugar propio, dependiendo de su mayor o menor balance de gravedad y levedad.
- Entre los cuatro elementos, el elemento tierra presenta **máxima gravedad** y el elemento fuego, **máxima levedad**. Por ello el agua que desaloja el aire está por encima de la tierra.
- El modelo aristotélico contempla la **Tierra** quieta en el centro del Universo y rodeada primero por tres esferas materiales sucesivas de **agua, aire y fuego**. Esto en **el espacio sublunar**, que es el de las imperfecciones.
- Y más allá de estas esferas elementales, estará el **mundo supralunar** de la perfección. Allí, dentro de un conjunto concéntrico se ubicaban las esferas cristalinas y transparentes, primero de los planetas y luego de las estrellas.
- Esta **teoría geocéntrica** y de un Universo considerado finito, perdura hasta el Siglo XVI cuando Copérnico cambia el concepto.
- Ver: [*Los albores de la civilización.*](#)

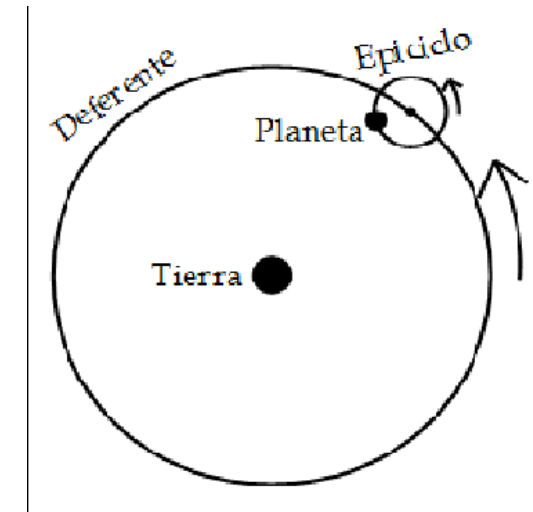
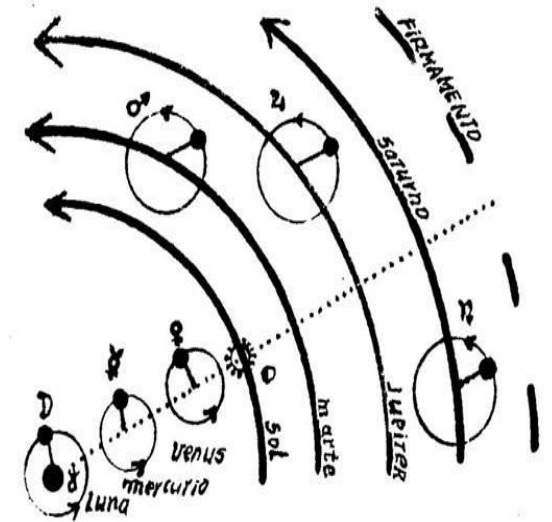


El mundo según Aristóteles

La filosofía

- La súper nova de 1572 visible de día, conmovió a Tycho Brahe: no se mueve entre las estrellas, está con ellas, y por lo tanto **es del firmamento y no un fenómeno sublunar** o de la atmósfera.
- Además se advierte que el cielo cambiaba, lo que contradice a Aristóteles quien suponía inmutable la esfera supralunar.
- **El Plenum** de Descartes es un fluido material que ocupa todos los vacíos y que impulsa a los planetas, y por lo tanto es materia en forma de energía.
- Para Aristóteles el éter es el elemento material en el mundo supralunar, y en el sublunar lo son sus cuatro elementos.
- Contra **un espacio lleno de Éter**, Newton considera un espacio vacío a modo de contenedor.
- **El Vórtice de Descartes**, es lo que excluye del movimiento rectilíneo a los planetas.

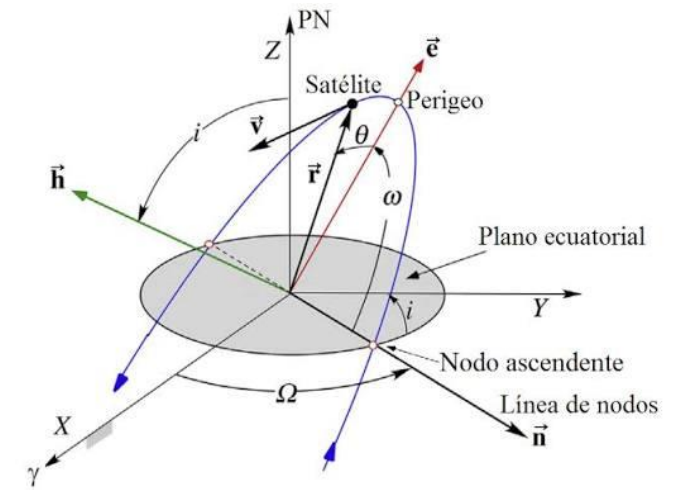
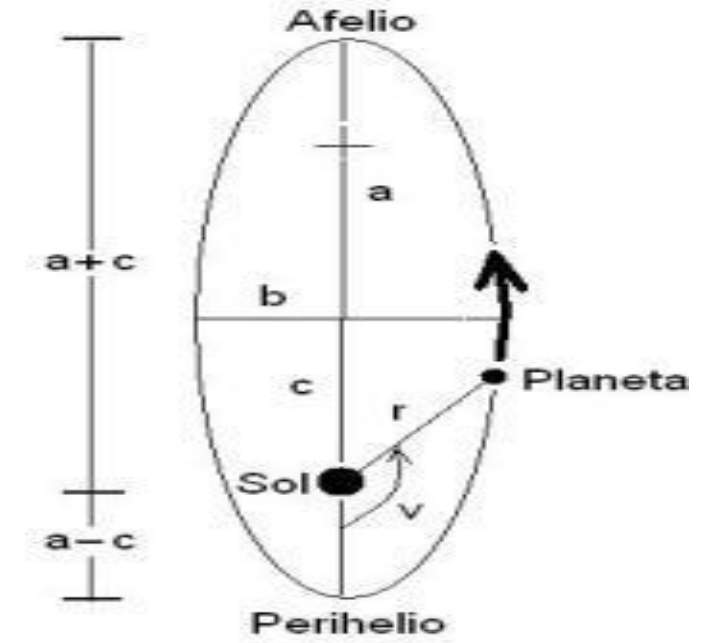
Ver: [Galileo: el conflicto entre la razón y el poder.](#)



Modelo geocéntrico de Ptolomeo

Fuerza a distancia

- Para Descartes es el **Plenum** lo que hace que los planetas no tengan trayectoria rectilínea, sino circular y en torno a su respectivo **Vórtice**, que para ellos es el Sol como lo son los planetas para sus respectivas lunas en el sistema solar.
- **Descartes y Galileo** pensaban que Magnetismo y Gravedad eran algo mágico: para los mecanicistas, la influencia de los cuerpos materiales supone el contacto directo de la materia requiriéndose como medio el Éter; para Newton existe **fuerza a distancia**.
- La filosofía mecanicista cartesiana no aceptaba el concepto de “**fuerza a distancia**” que propondrá Newton, quien no encuentra en sus experimentos el Plenum de Descartes, friccionando el péndulo con efecto medible: los resultados al sumergir los péndulos en agua, aceite y mercurio son demoledores para Descartes.
- Ver: [Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.](#)



Elementos orbitales. ETSID

Gravitación universal

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

- La fuerza F depende de las masas m1 y m2 que interaccionan y de la distancia r entre sus centros de gravedad. G es la constante de gravitación universal. Imagen en: <http://www.xtec.cat/>
- Isaac Newton (1643-1727) elabora una teoría gravitacional, que explica el comportamiento de todos los cuerpos del Universo, y el movimiento expresando espacio y tiempo como invariantes.
- Para el efecto, toma lo fundamental del pensamiento que le precede, así: 1-De Copérnico: el modelo heliocéntrico. 2-De Kepler: las tres leyes y las mareas. 3-De Galileo, toma la caída libre y el movimiento parabólico. 4-De Descartes: incorpora la inercia rectilínea.

Estas son las tres leyes de Newton:

1-Ley de la inercia: “Todo cuerpo preservará su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, a no ser que actúe sobre él otra fuerza que cambie su estado inicial”.

2-Ley de la interacción y la fuerza: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y ocurre en la misma dirección de la línea de acción de la fuerza que se aplique”. Esta segunda ley puede resumirse en la fórmula: $F = m \cdot a$

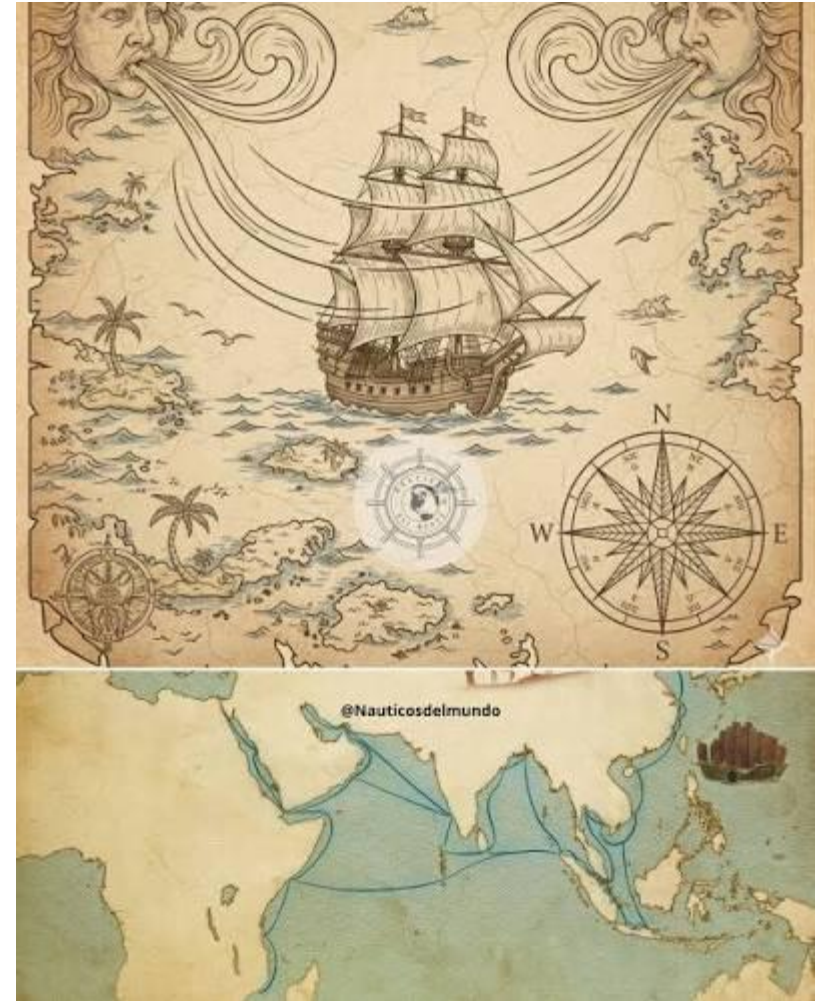
3-Ley de acción y reacción: “A toda acción siempre corresponde una fuerza de reacción igual y contraria”.

Ver: [Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.](#)

Importancia de la Luna

- Gracias a la Luna surgen los conceptos de semana y mes, fundamentales para los **calendarios** y por lo tanto para el desarrollo de las civilizaciones.
- La comprensión de los fenómenos celestes referidos a la Luna permitieron **integrar las leyes** que rigen el mundo sublunar y supralunar: **Galileo** descubre su real naturaleza al observar montes y cráteres; **Kepler** crea la ciencia Ficción con un cuento de un viaje a la Luna; y **Newton** demuestra la naturaleza de las mareas valorando la fuerza gravitacional en el sistema Luna-Tierra-Sol con su Ley de Gravitación Universal.
- La Luna fue fundamental para orientar **la navegación** en los océanos y dar **posición** a las nuevas rutas y tierras descubiertas.
- La Luna por su tamaño es el **quinto satélite** del Sistema Solar, pero también el primer **eslabón** para la conquista del planeta Marte. No obstante, habrá que resolver las dificultades asociadas a la baja gravedad, a la alta radiación, al vacío, al ciclo sinódico (día y noche de 2 semanas), a los 270°C en el contraste de temperaturas, y al polvo del ambiente lunar.
- La hazaña norteamericana por la llegada a la Luna el 20 de julio de 1969, significó **un hito tecnológico** para la humanidad.

Ver: [Tránsito de Venus del 8/06/2004.](#)



Antes de la brújula los navegantes se orientaban con el viento.
Nauticosdelmundo

Calendarios

- Antiguamente **la sistematización del tiempo** para la organización de las actividades humanas, estaba basada en los ciclos lunares; hoy los diversos calendarios son solares por basarse en el ciclo que describe la Tierra alrededor del Sol.
- Dado que la Tierra tarda cerca de 365 y $\frac{1}{4}$ días en recorrer su órbita, la solución para las **casi seis horas sobrantes** de cada año que se van acumulando, da origen a un día bisiesto el 29 de febrero; excepto los años terminados en 00, ya que sólo son bisiestos si son múltiplos de 400.

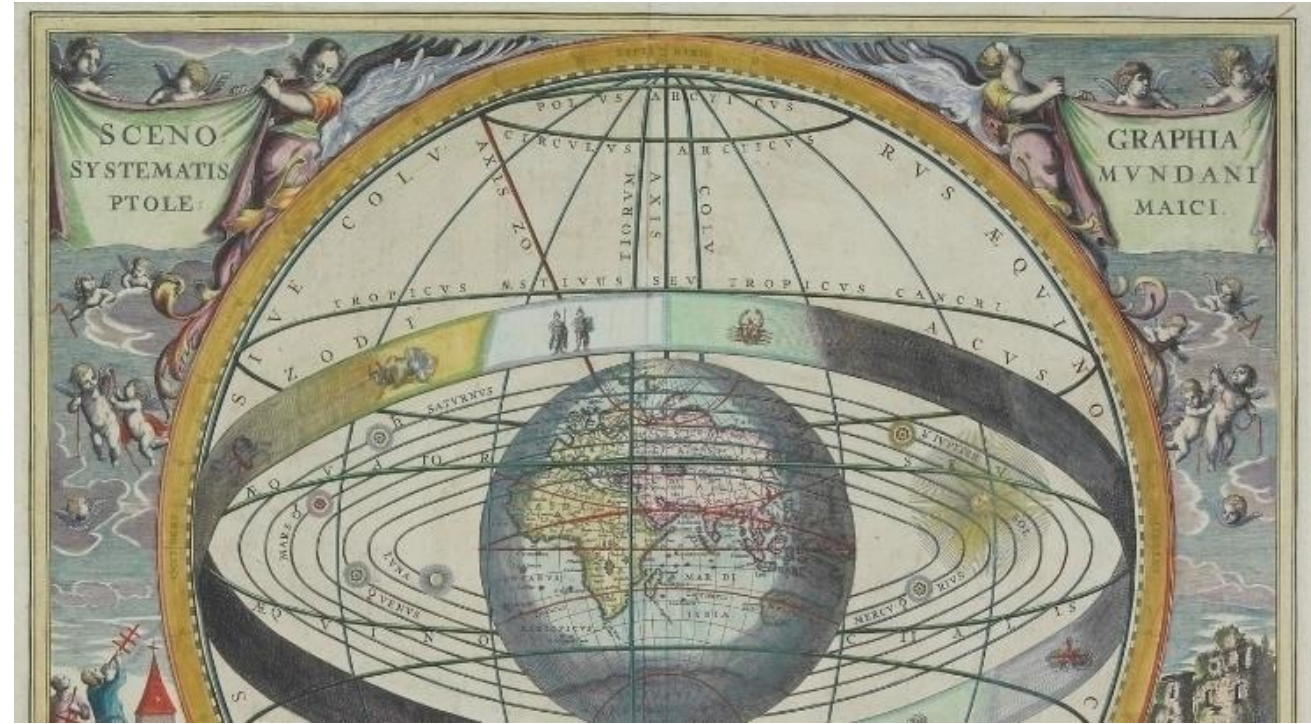
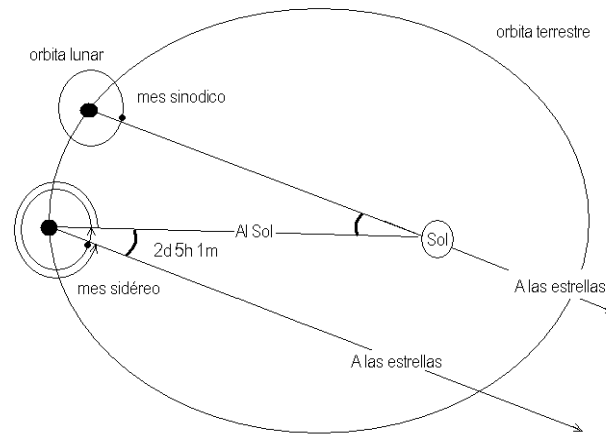


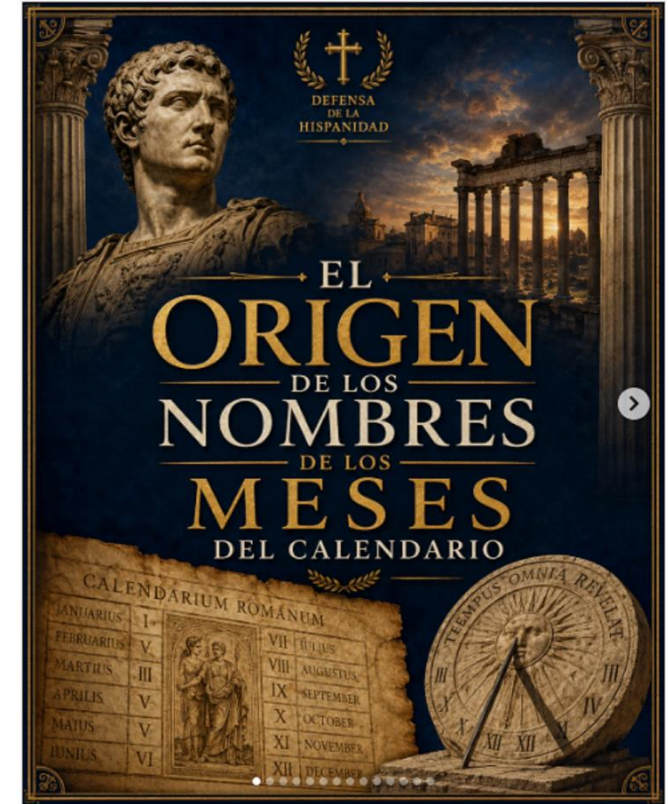
Imagen: Aunque el modelo ptolemaico no podía explicar algunos fenómenos que se observaban, fue aceptado fue aceptado como correcto durante más de un milenio. BBC.com

Y debido a que los 365 días del año **no son cantidades múltiplo de siete**, y por lo tanto el año tiene 52 semanas más casi un día sobrante, y que los meses no empiezan con luna llena ni son todos de 28 días: ni el año ni el mes inician los días lunes, que son el primer día de la semana. Otro problema, es que **las estaciones del año**, muy importantes para los países alejados del Ecuador y que definen la llegada del monzón y de los períodos secos y húmedos en el trópico andino, tampoco se acompasan con las semanas. Ver: [Los Calendarios](#).

Mes sideral y mes sinódico



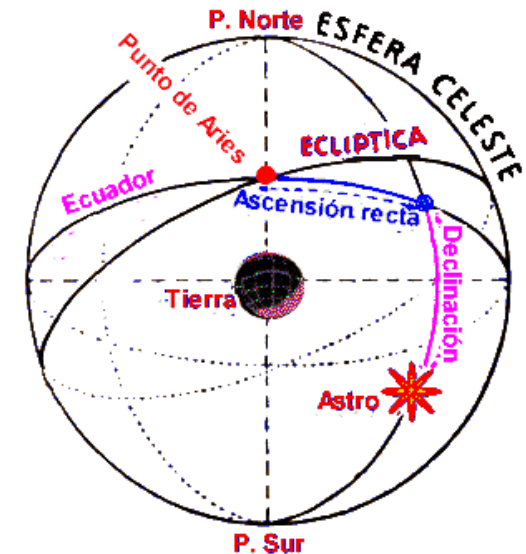
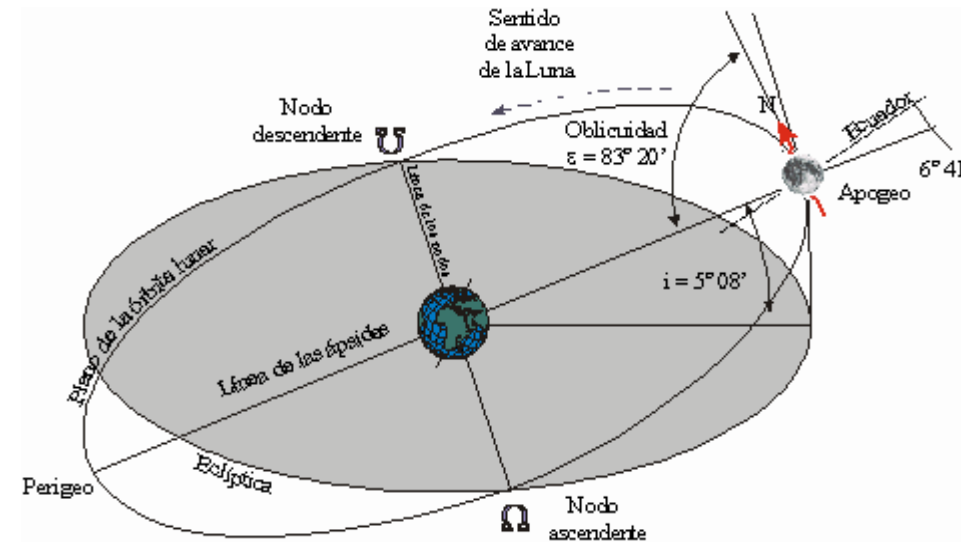
- El **año trópico** que es el tiempo que tarda la Tierra en completar una vuelta completa, dura 365,242198 días de tiempo solar medio, que son 365 días 5 h 48 m 45,9 s. Similarmente, el **mes sideral**, que es el tiempo que tarda la Luna en dar una vuelta alrededor de la Tierra y que vale 27 d 7 h 43 min, es diferente al **mes sinódico** que es el período de tiempo de su revolución respecto al Sol, cuyo valor es de 29 d 12 h 44 min. **La diferencia** de 2 d 5 h 1 m, entre estas revoluciones lunares, es porque en este lapso la Tierra ha recorrido alrededor del Sol, cerca de 1/12 de su órbita.
- La **revolución sinódica** rige las fases de la Luna, los eclipses y las mareas terrestres causadas por la atracción gravitacional lunisolar.
- Ver: [La astronomía en América Precolombina.](#)



Los nombres de los meses nacieron en la Antigua Roma. Algunos fueron dedicados a dioses, como Jano, Marte, Maia o Juno, y otros a personajes como Augusto y Julio César. Defensa.de.la.hispanidad.

La órbita lunar

- La Luna describe una elipse con una excentricidad $e=0,05490$ en torno a la Tierra que se ubica en uno de sus focos, y está a 363.296 km del perigeo y a 405.504 km del apogeo.
- Su semieje mayor es de 384.399,1 km y la inclinación del plano orbital es de $5^{\circ} 08'$ respecto al plano de la órbita terrestre (eclíptica).
- La figura muestra los dos planos señalados, que se intersecan en la **línea de los nodos**, de interés para los eclipses de Luna y Sol que solo ocurren estando la Luna sobre ella, a causa de la inclinación.
- La longitud del nodo ascendente y la latitud del perigeo, **varían cíclicamente** con el tiempo entre 0° y 360° , y no se las puede definir con un valor medio.

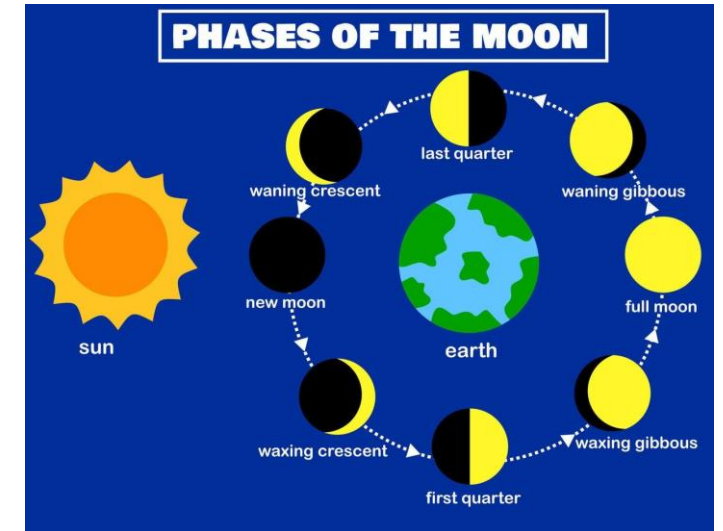


Fuentes: Elementos orbitales en Mailxmail.com
y Esfera Celeste en Alandalus-siglo21

Las 4 fases de la Luna

- En el mes lunar o sinódico, tiempo transcurrido entre dos novilunios, se dan cuatro fases de la Luna. Estando el Sol a la derecha estas son: a
- Imagen 1: **Luna nueva** o novilunio, es la fase de la Luna de cara al Sol y normalmente imposible de verla a simple vista, salvo cuando ocurre un eclipse total de Sol.
- Imagen 3: **Cuarto creciente; cuando** su orto por el Este, se da a las 12 del mediodía y su ocaso por el oeste a las 12 de la media noche.
- Imagen 5: **Luna llena** o plenilunio, se da a la mitad el mes lunar, cuando la Luna está del lado contrario del Sol, lo que favorece su vista completamente iluminada.
- Imagen 7: **Cuarto menguante**, cuando su orto es aproximadamente a la media noche 12 p.m. y se oculta hacia las 12:00 del mediodía.
- El mes sinódico o tiempo transcurrido entre dos novilunios, es de 29 días, 12 horas, 43 minutos y 12 segundos.

Ver: [Llegamos a Marte.](#)



Rotación lunar itu.physics.uiowa.edu, y Fases lunares, en Magnific.com

Eclipses de Sol y de Luna

- Los eclipses en el sistema Tierra-Luna sólo ocurren cuando el Sol, la Tierra y la Luna están alineados, lo que supone como **condición necesaria**, además de la fase llena o nueva, que la Luna esté en la **línea de los nodos**. Los eclipses se dividen en dos grupos:
- **El eclipse lunar**, que sólo puede ocurrir en luna llena, se da cuando La Tierra se interpone entre el Sol y la luna, oscureciéndose por la primera nuestro satélite. Y los eclipses lunares a su vez pueden ser totales, parciales o de penumbra, según la Luna pase en su totalidad o en parte por el cono de sombra, o únicamente por la penumbra.
- **El eclipse solar**, que sólo se da en la luna nueva, ocurre cuando La Luna que se interpone entre el Sol y la Tierra oscurece al Sol. Estos eclipses a su vez puede ser totales, parciales o anulares. Dado que la distancia a la Luna y al Sol varían, el anular se da cuando al estar la Luna más alejada de la Tierra, no se alcanza a cubrir todo el disco solar. Si ocurre lo contrario será un eclipse total de Sol de gran duración. El parcial ocurre cuando el alineamiento es imperfecto.

Ver: [*Atlantis cierra la era del transbordador.*](#)

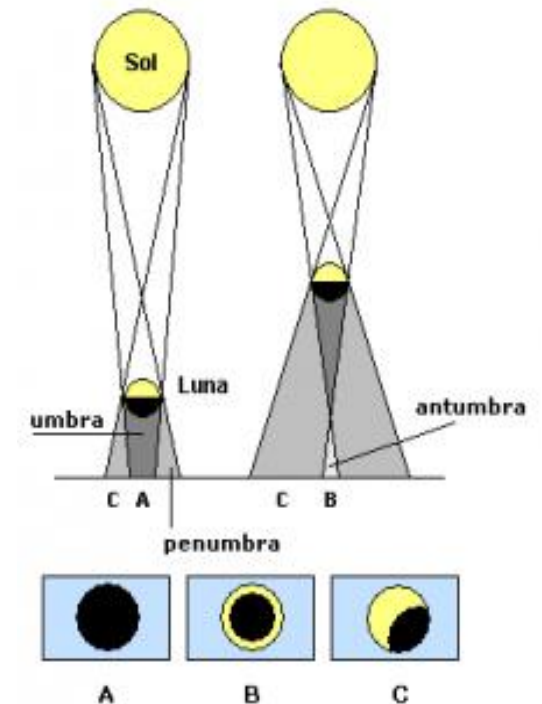
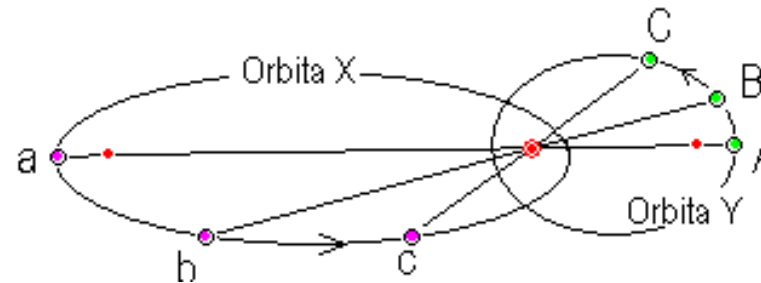
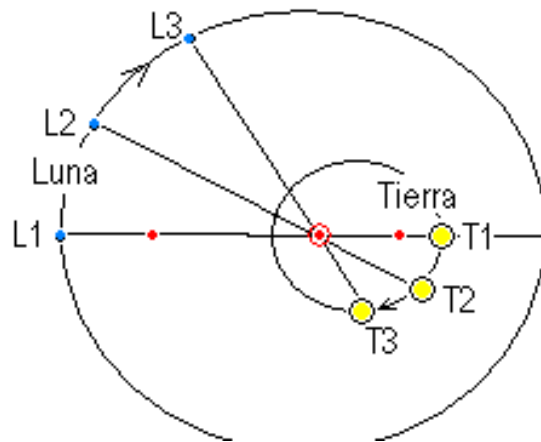


Imagen: Eclipse solar total Vs eclipse solar anular; y eclipse parcial de Sol

<http://quintogradomav.wordpress.com>

El centro de masa

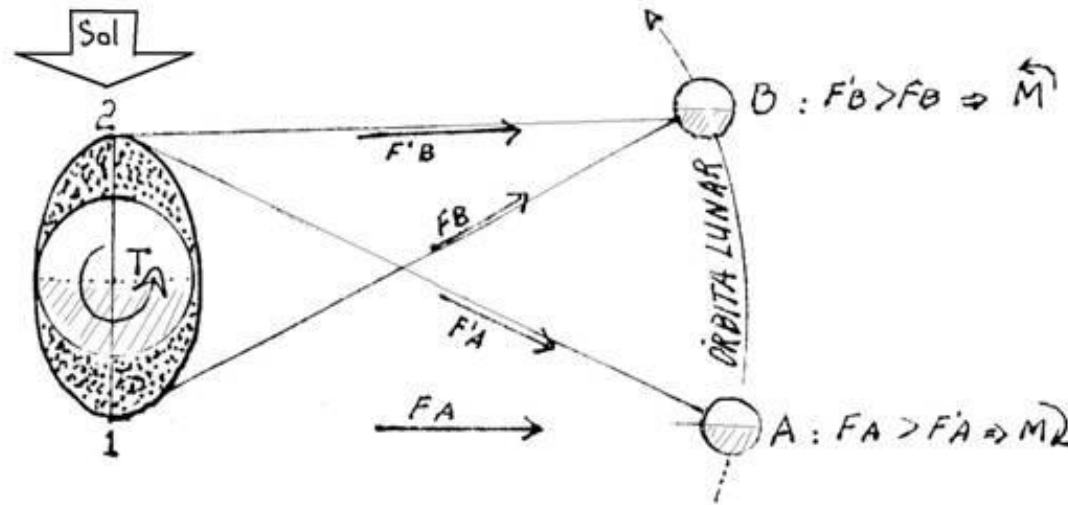
- Dado que la **masa lunar es significativa**, la Luna y la Tierra se comportan como **un sistema doble**. Sus órbitas coplanares tienen **un foco común** en el Centro de masa de los dos cuerpos y sus radios son del orden de 4.700 km para la Tierra y 343.700 km para la Luna.



- La Luna y la Tierra **giran en torno al Centro de masa** de ambos cuerpos, un lugar ubicado más cerca de la Tierra que de la Luna, por ser la masa de la Tierra 81 veces mayor. Además, el Centro de masa está **más ceca de la superficie terrestre que del centro** de la Tierra: a 1.678 km de la superficie cuando su radio es de 6.378 km.
- Ver: [Mecánica planetaria.](#)

Perturbación gravitacional lunar

- La atracción que la Luna y el Sol ejercen sobre las masas líquidas de la Tierra dan lugar a las **mareas**, explicadas por Lagrange y Laplace.



- La Figura muestra **el efecto de marea sobre el planeta Tierra**. Las masas 1 y 2 son atraídas en A y en B, con diferente fuerza. Lo que genera un momento, contrario en A y favorable en B, que afecta la rotación de la Tierra, cuyo sentido se muestra en T. Como la Luna **dista mucho menos de la Tierra que el Sol**, su acción a pesar de tener menos masa, es 2,5 veces mayor que la de éste astro. Ver: [Eclipse de luna del jueves 15 de mayo de 2003.](#)

Precesión y nutación

- Si la Tierra fuese esférica, solo tendría los **movimientos de rotación y traslación**; pero al ser un elipsoide la atracción gravitacional del Sol y de la Luna, sobre su ensanchamiento ecuatorial, provocan un lento **balanceo** a medida que se traslada y que recibe el nombre de **precesión**, **consistente en un movimiento de peonza**
- El segundo movimiento que se superpone con la precesión, es **la nutación**, un pequeño vaivén del eje de la Tierra causado por las variaciones en la atracción de la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra al tener el eje de rotación inclinado 23° y $\frac{1}{2}$.
- Mientras el eje de rotación describe el **movimiento cónico de precesión** con un período de 25.767 años, la pequeña elipse o **bucle de la nutación** tiene un periodo de 18,6 años.
- Ver: [*La farsa de las dos lunas en cielo.*](#)

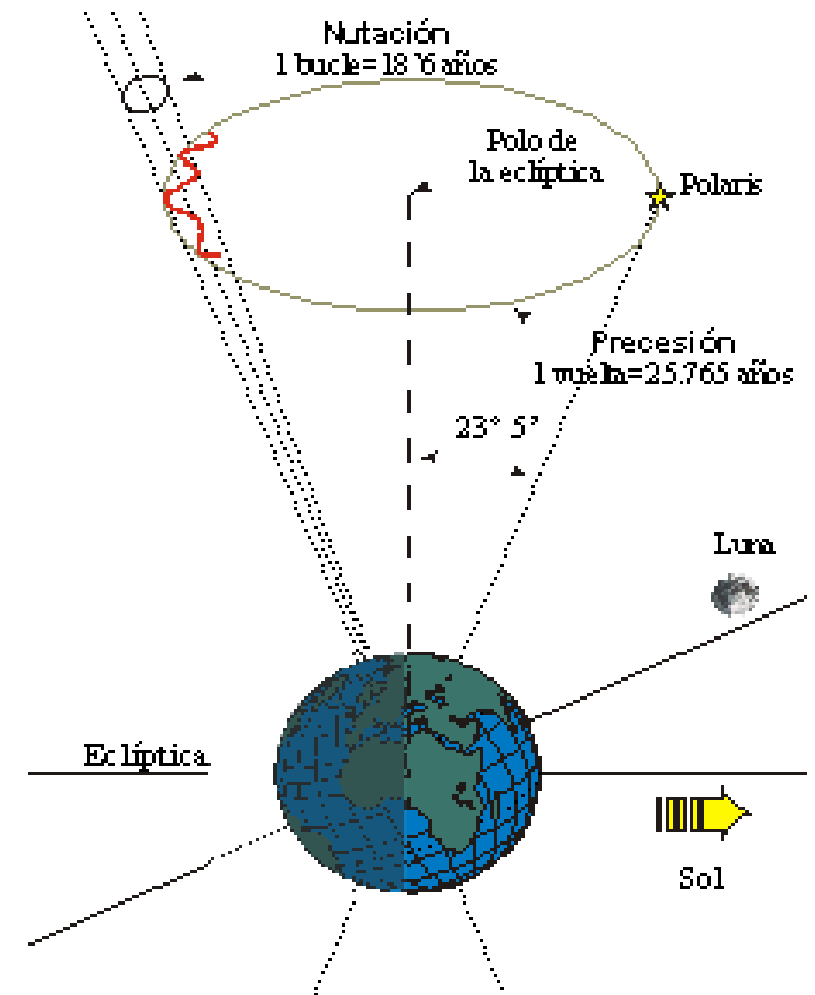
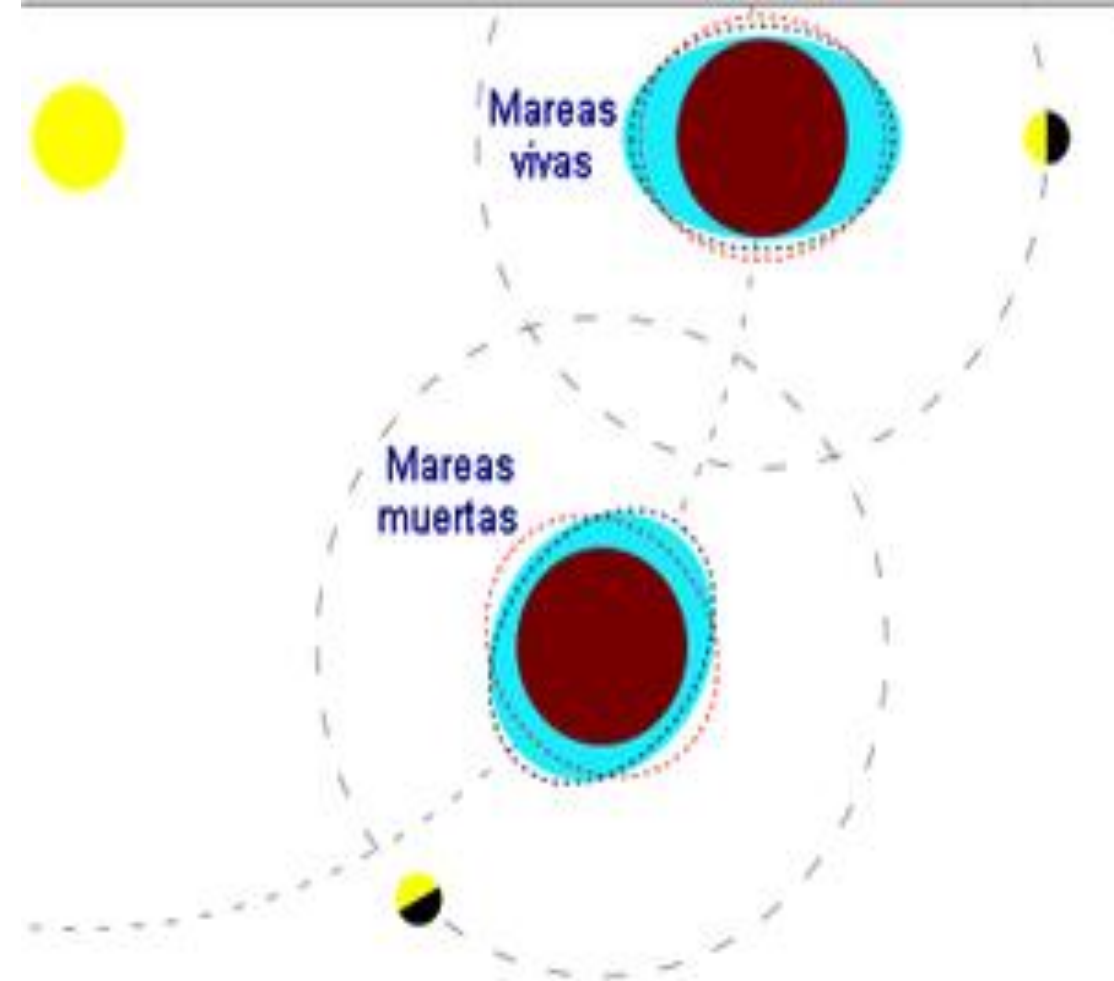


Figura: <http://www.mailxmail.com/curso-iniciacion-astronomia/>

Las mareas

- Las mareas se conocen desde la antigüedad: Piteas (siglo IV a. C.) fue el primero en señalar la relación entre mareas y fases de la Luna, así como su periodicidad. Plinio el Viejo (23-79) describe correctamente el fenómeno y lo relaciona con la Luna y el Sol. Bacon, Kepler y otros trataron de explicarlas, admitiendo la atracción de la Luna y del Sol.
- Pero fue Isaac Newton en su obra “Principios matemáticos de la Filosofía Natural” de 1687 quien dio la explicación aceptada actualmente. Más tarde, Pierre-Simon Laplace (1749-1827) y otros científicos ampliaron su estudio.
- Al girar la Luna no entorno al centro de la tierra sino del **Centro de masa** del sistema binario Tierra Luna, se genera un gradiente gravitatorio causante de las mareas.
- Al ser la Tierra sólida, **la deformación** afecta más a las aguas que a la litósfera, dando como efecto el que los océanos suban y bajen dos veces al día (sube en dos puntos: el más cercano y el más alejado de la Luna).
- En la **marea viva**, el sistema Tierra-Sol-Luna está alineado, la fuerza es mayor y la marea máxima. Y esto se intensifica cuando Tierra y Luna transitan por sus perihelio y perigeo, respectivamente.
- Ver: [*Sol, clima y calentamiento global*](#).

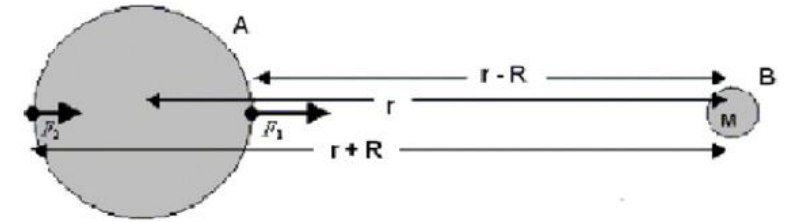


Tipos de Mareas: Imagen: <http://es.wikipedia.org/wiki/Marea>

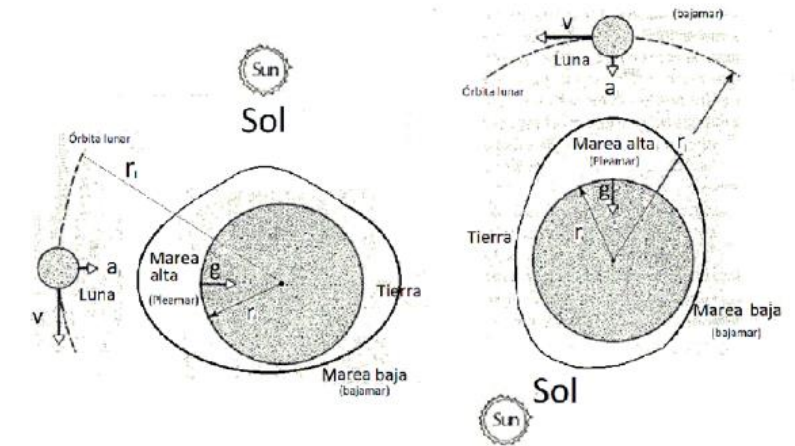
Las mareas terrestres

- La interacción gravitatoria del Sol y la Luna sobre la Tierra, implica una diferencia en la intensidad de la fuerza gravitatoria entre los extremos mas cercano y lejano, ΔF **que explica las mareas**.
- Sin considerar el efecto de la fuerza centrífuga, la siguiente es la estimación de las fuerzas de dichas fuerzas en el caso del sistema Sol, Tierra y Luna, ya que la atracción planetaria sobre la Tierra no es relevante:
- La Tierra ejerce sobre la Luna una fuerza de marea máxima ΔF , del orden de $1.8 \cdot 10^8$ N.
- Al mismo tiempo, la Tierra siente debido a la Luna una fuerza de marea máxima ΔF , del orden de $6.69 \cdot 10^8$ N.
- Y también el Sol ejerce sobre la Tierra una fuerza de marea máxima ΔF , del orden de $3.02 \cdot 10^8$ N.
- Es decir, la fuerza de marea generada por la Luna sobre la Tierra supera 2.2 veces la del Sol, a pesar de que la atracción gravitacional del Sol es 178 veces mayor que la de la Luna; y aunque comparado con la Luna, el Sol es mucho más masivo, la Luna está 400 veces más cerca de la Tierra. Además, en la interacción Luna–Tierra, la Luna ejerce sobre la Tierra una fuerza de marea 3.5 veces mayor, dado que la masa de la Tierra es 81 veces mayor y el diámetro de la Luna sólo el 27% del diámetro ecuatorial de la Tierra.
- Ver: [Sol, lunas y planetas](#).

Cálculo de la fuerza de marea ΔF .



en marea máxima: $r \gg R$,
$$\Delta F \approx \frac{4 \cdot G \cdot m \cdot M \cdot R}{r^3}$$



Sistema Sol-Tierra-Luna: en las marías, donde intervienen el Sol y la Luna, la atracción lunar influye más del doble.

Adaptado de: <http://www.iesleonardoalacant.es/>

Las libraciones lunares

- Debido a las libraciones de longitud, de latitud y la nocturna combinadas y cuyo efecto es una especie de cabeceo, se conoce un **59% de la superficie lunar, a pesar de la sincronía** entre su rotación y traslación, y que oculta siempre la misma cara para observarla desde la Tierra.
- La **libración en longitud es una oscilación E-W** que se debe a la excentricidad de su órbita, dado que la velocidad de traslación varía de rápida en el perigeo a lenta en el apogeo.
- La **libración en latitud** es una oscilación N-S consecuencia de la pequeña subverticalidad del eje de rotación de la Luna, con respecto a la normal al plano de su órbita.
- **Libración diurna** se debe al hecho de que el diámetro terrestre no despreciable con respecto a la distancia a la Luna, y podemos ver desde sus extremos cerca de 1° más algo como consecuencia del paralaje.
- Ver: [*Colombia, por un desarrollo satelital*](#).



[Para ver las libraciones, debe activarse el video
http://es.wikipedia.org/wiki/Luna](http://es.wikipedia.org/wiki/Luna)

Julio Garavito Armero (1865 1920)

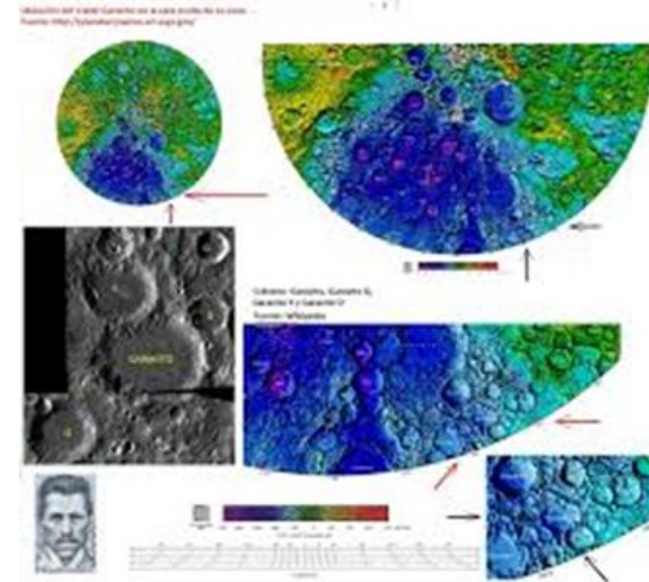
- Este el **más notable astrónomo Colombiano** de todos los tiempos nacido en Bogotá e Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, fue director del Observatorio Astronómico Nacional en 1902, al centenario de haberse iniciado la magna obra.
- En 1970, a escasos meses de concluida la hazaña que llevó al hombre a la Luna, la **Unión Astronómica Internacional UAI**, asigna el nombre del colombiano Julio Garavito Armero a un conjunto de cráteres selenitas del lado oculto de la Luna.
- Este bogotano quien **había asumido las cátedras de mecánica racional y de astronomía**, además de trabajar su Método Talcott y aportar a la geodesia, hará trabajos de astronomía observacional y de astronomía dinámica, como la aplicación del método de Olbers para determinar las órbitas de los cometas de 1901 y 1910, usando registros de observación suyos, además de su obra titulada “Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna”.
- La propuesta para la UAI de Jorge Arias de Greiff **incluía al sabio Francisco José de Caldas, quien no fue aceptado** por haber sido prócer de la independencia, y en cierto modo no aplicar para este asunto donde no se aceptan militares y políticos.
- Sus investigaciones publicadas en *Los Anales de Ingeniería*, se suman entre otras labores científicas suyas, a su más importante trabajo titulado “*Fórmulas definitivas para el movimiento de la Luna*”, que es la aplicación de la **Dinámica Celeste** - considerada una de las proezas más grandes de la mente humana- al estudio de los movimientos y fluctuaciones lunares.
- Ver: [*Garavito Armero y Francisco José de Caldas*](#)..



Julio Garavito Armero
(1865 1920)

El cráter Julio Garavito Armero

- El nombre de Julio Garavito Armero se asigna al cráter de la cara oculta de la Luna ubicado en $47^{\circ},6$ Sur y $156^{\circ},7$ Este.
- Además de haber logrado demostraciones originales de teoremas relativos al cambio de variables canónicas y trabajos empleando estas variables al método Hamilton–Jacobi para órbitas elípticas, y de haber desarrollado una expresión para el complejo "problema de los tres cuerpos", con las "Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna", Julio Garavito quiso alcanzar un instrumento teórico de gran utilidad para preparar efemérides como complemento del cronómetro en la determinación de longitudes.

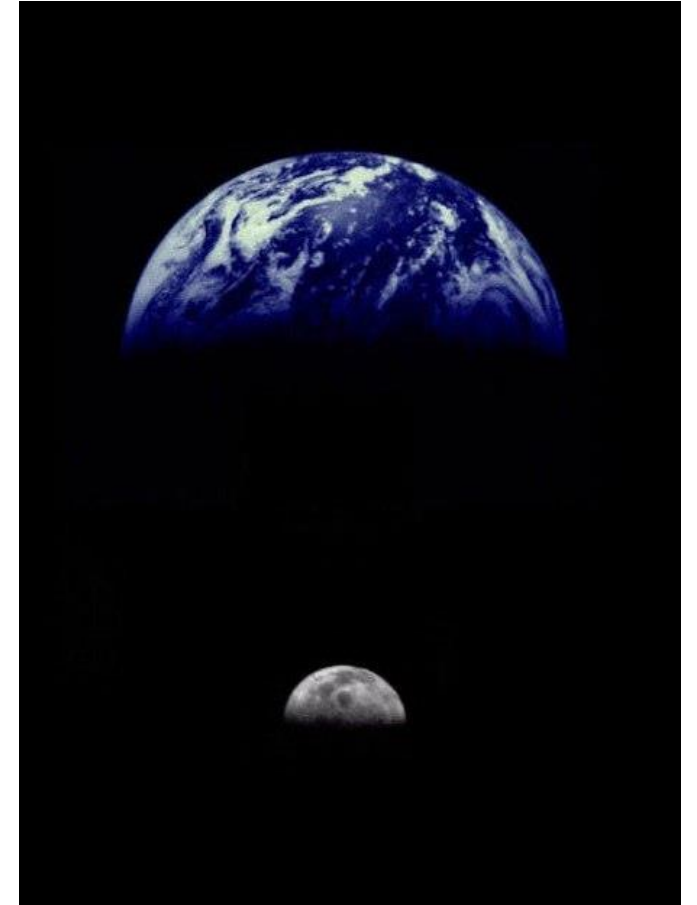


Hoy 5 cráteres, éste y otros cuatro más vecinos, llevan estos nombres: Garavito S, C, D, Q, y Y.

Garavito Armero, que no conocía la naturaleza del movimiento de la deriva lunar, ya explicada por el norteamericano Ernst William Brown quien incluye un término empírico para ajustar los cálculos, se ocupa en explicándola detalladamente como una función en términos del movimiento medio del Sol, y de la diferencia del movimiento de la Luna y el Sol; para el efecto usa la ecuación de la órbita variacional empleando el método de G.W. Hill que emplea coordenadas rectangulares, denominado por Poincaré "Soluciones Periódicas de Primer Género". Ver: [Colombia habla sobre asteroides, meteoros y chatarra espacial](#).

El origen de la luna

- Son básicamente, tres las teorías que tratan sobre el origen de la luna:
 1. La Tierra y la Luna como **un sistema doble y congénito**, surgieron de la acreción de la misma masa de materia en el Sistema Solar.
 - 2.- Se trata de un cuerpo celeste de trayectoria independiente que, al pasar accidentalmente cerca a la Tierra, **quedó capturado** en su órbita.
 - 3.- La luna surgió de una porción de la Tierra, que se desprendió **tras una colisión** de importancia.
- Nota: esta tercera hipótesis del gran impacto, que origina los fragmentos que darán origen a un cuerpo tan grande tras una cataclismo, también explica la gran inclinación del eje de rotación terrestre.
- Ver: [*Sonda Huygens llega a Titán.*](#)

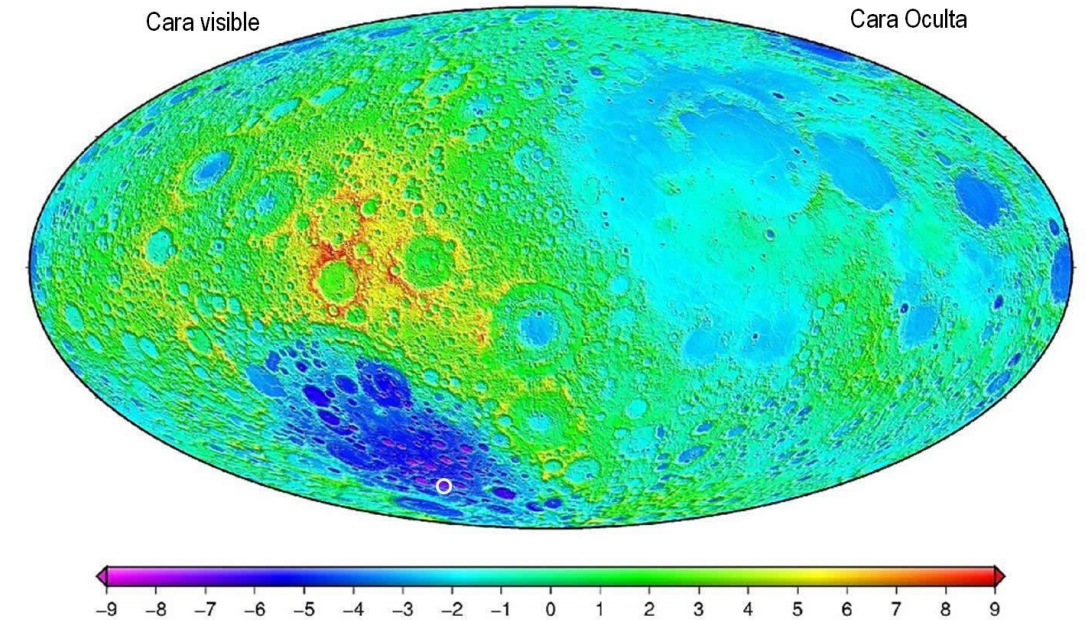


Sistema Luna-Tierra:
Images.astronet.ru/

Cartografía de la Luna

- Los detalles más gruesos de la Luna se pueden observar a simple vista, aunque tras la invención del anteojo, Galileo, Scheiner y otros, descubrieron entre 1610 y 1620 **diferencias de altura y profundidad**, así como montañas y cráteres lunares.
- Hoy con **las sondas espaciales** se han logrado planos detallados. El **lado oculto de la Luna** ya no tiene secretos para los astrónomos.
- Gracias a la **sonda japonesa SELENE** (Kaguya) se acaba de completar el mapa topográfico más completo de nuestro satélite, el que publica la revista *Science*.

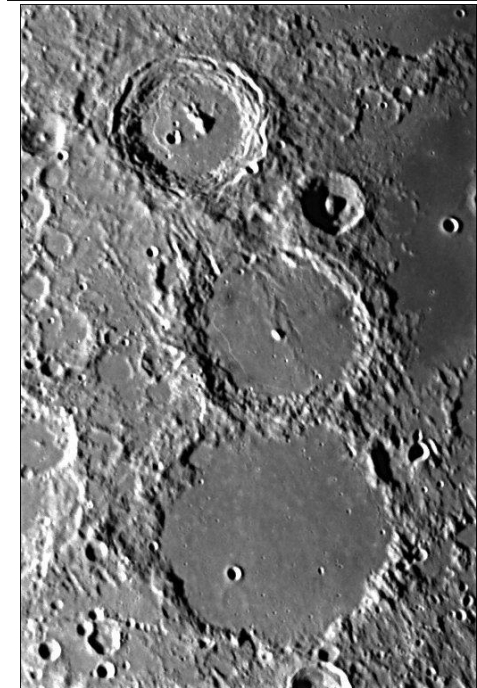
Ver: [Geomorfología.](#)



Detalles de la superficie lunar por las caras oculta y visible Kaguya.jaxa.jp

La topografía lunar

- La topografía lunar comprende los **Maria** (mares), las **Terrae** y **Estructuras menores**.
- **Maria** (mares): son las regiones oscuras, o valles sin ningún relieve notable. El más grande de los mares es el Mare Imbrium (Mar de Lluvias), de unos 1120 km de diámetro. Hay unos 20 mares importantes en el lado de la Luna encarado a la Tierra.
- **Terrae**: representan el 85% de la superficie lunar y son las zonas claras de la Luna, que se corresponden con sus regiones accidentadas de montañas y cráteres. Las grandes montañas que rodean los mares tienen nombres como Alpes, Pirineos y Cárpatos. La cordillera lunar más alta es Leibnitz, con crestas de hasta 9.140 metros.
- **Estructuras menores**: Son los cráteres, montañas anulares y planicies amuralladas individuales, que representan estructuras específicas con identidad propia. El cráter Copérnico por su fácil identificación, es el más emblemático. Las grandes fisuras lunares de pocos Km de ancho y que alcanzan a 480 km de largo, se asocian a la retracción térmica del océano lávico primitivo.
- Ver: [Montañas y teorías orogénicas.](#)

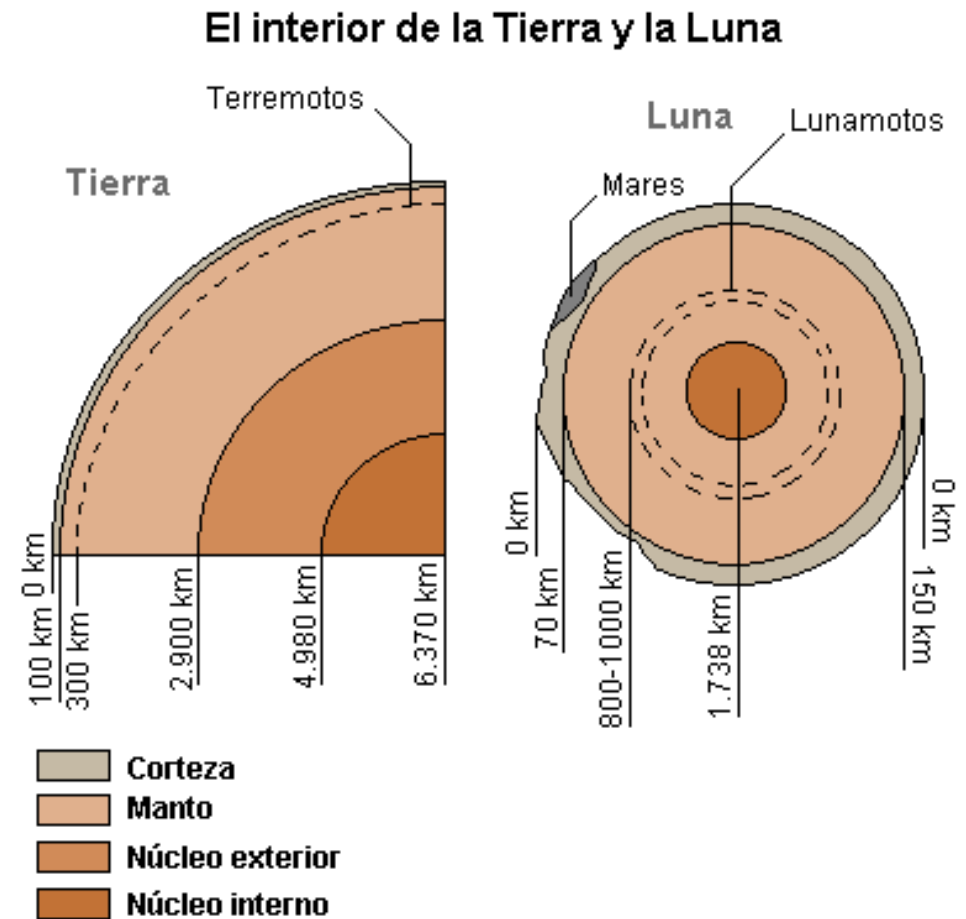


Los Mares lunares: holloworbs.com

Estructura lunar

- La Luna posee un diámetro de 3476 km. y una densidad promedio de 3,34 g/cm³.
- Encontraríamos tres estructuras, una corteza, un manto intermedio y un núcleo muy pequeño.
- **La Corteza:** con un espesor medio de 80 km, menor en torno al lado visible (60 km) que en el no visible (150 km).
- **El Manto:** su zona externa sólida con un espesor entre 70 km y 150 km, y luego otra posiblemente sólida entre 150 y 1000 km, de hierro y magnetita. No existen corrientes de convección y por lo tanto no existen tectónica de placas, ni vulcanismo, ni campo magnético.
- **El Núcleo:** el más exterior de 1000 km a 1500 km, y luego el central ya líquido, a unos 1100 °C de temperatura.
- **Tectónica:**, salvo por los sismos generados en la interfase manto-núcleo, la Luna geológicamente está muerta. Las dos tectónicas presentes son:
 - 1.- **De Dilatación**, que explica estructuras de expansión y retracción térmica, formadas sobre la superficie desde la formación de su corteza.
 - 2.- **De Impacto y vulcanismo**, explicada por el impacto de meteoritos en la superficie y por el vulcanismo que pudo llegar hasta hace 1200 Ma.

Ver: [Macizo rocoso.](#)



Estructura de la Luna:
en Wikipedia.org

Geología lunar

- La **densidad y superposición de los cráteres de impacto** son los acontecimientos más útiles para la estratigrafía lunar. Las tierras altas con mayor número de impactos, muestra cráteres con diámetros de hasta 1000 km. Los mares por su menor número de impactos, son más jóvenes.
- La **falta de atmósfera y agua en la superficie** hace que, salvo por las variaciones térmicas entre día y noche y la acción de la gravedad, se preserve el paisaje lunar para que muestre los impactos meteóricos.
- Los mares que cubren cerca del 16% de su superficie fueron formados por **coladas de lava basáltica** que llenaron enormes cuencas de impacto de hasta 1 km de profundidad.
- El **espesor del regolito** varía entre 2 m en los mares más jóvenes y 20 m en las superficies más antiguas de las tierras altas.
- Las variaciones en intensidad del campo gravitacional se asocian con grandes **concentraciones de masas** (mascons) presentes en los mares de las cuencas.

...

Ver: [Geología estructural.](#)

Formación de la corteza de anortosita



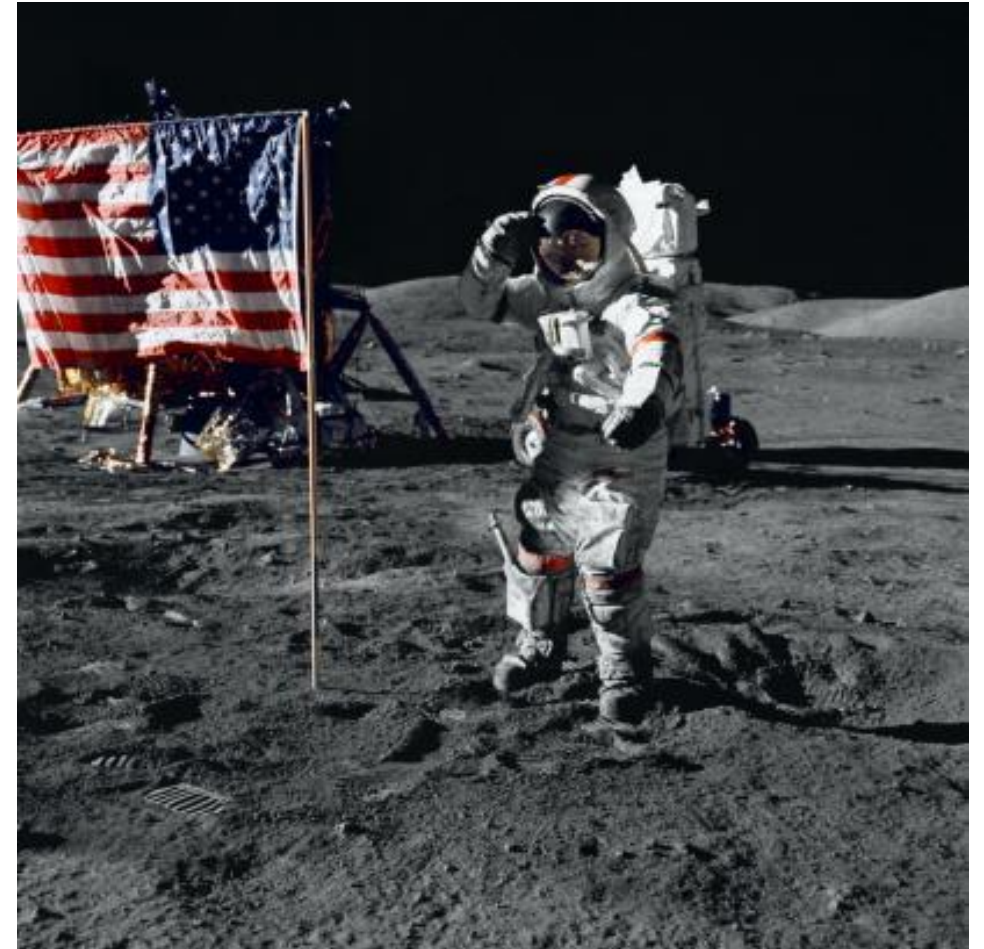
Geología y Petrografía
de La Luna

[Wikipedia.org/](https://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa_y_Petrografa_de_La_Luna)

La exploración lunar

- La primera imagen de **su cara oculta** obtenida el 7 de octubre de 1959 es del satélite soviético Lunik 3, mientras en 1966 dos sondas más de dicho programa logran nuevos record: el del Lunik 9 que hará el **primer alunizaje** exitoso el 3 de febrero y el del Lunik 10 que la **orbitará por vez primera** el 4 de abril.
- En 1961, un mes después de que el ruso Yuri Gagarin se convirtiera en el primer humano en orbitar la Tierra, el presidente Kennedy propuso al Congreso conseguir el objetivo de “**poner un hombre en la Luna y traerlo de vuelta a la Tierra**”, antes de finalizar la década
- La hazaña del 20 de julio de 1969 con la misión norteamericano Apollo 11, es haber logrado que Neil Armstrong sea el **primer humano en pisar la superficie lunar** y protagonista con Edwin F. Aldrin, y Michael Collins, del gran salto de la humanidad hacia la conquista del espacio.

Ver: [*Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.*](#)



Apollo 11 y el Hombre en la Luna
Cache.boston.com

La conquista de la Luna

- En noviembre de 1969 el Apollo 12 aluniza a 500 pies del Surveyor 3 y los astronautas recuperan su cámara y la traen de vuelta a la Tierra.
- En total **se han completado 6 misiones tripuladas** a la Luna y todas entre 1969 y 1972. Solo falló el Apollo 13 en 1970, cuya tripulación orbitó la Luna.
- Después de 1972, algunas **misiones orbitales** han estudiado el campo magnético de la Luna, y las emisiones de rayos X y Gamma, útiles para estimar la composición de su superficie.



El hombre sueña con regresar a La Luna en 2028 y seguir a Marte.

Imagen, en: <http://www.rfi.fr/>

- Hasta ahora **van 51 misiones no tripuladas** pertenecientes a Unión Soviética, Estados Unidos, Japón y China.
- La Nasa se alista para retornar a la Luna: aunque la idea era alunizar en el año 2020, **el regreso tripulado a la superficie lunar está programado por la NASA para el 2028 con la misión Artemis IV.**
- Se trata de la primera etapa para preparar misiones de exploración habitada hacia Marte y en el conjunto del sistema solar.

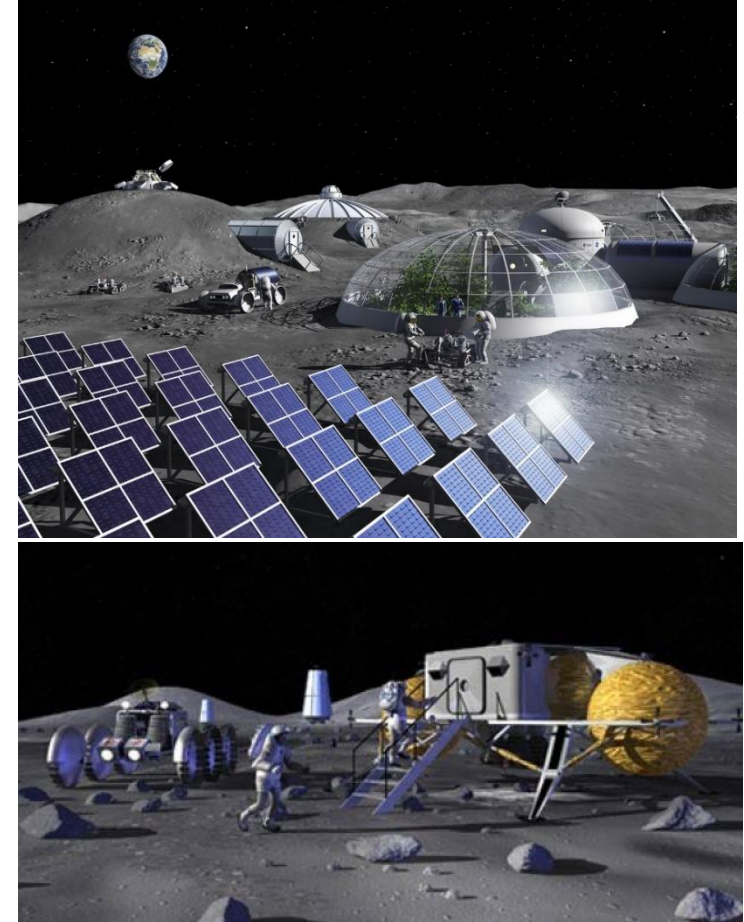
Ver: [Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.](#)

¿Base lunar?

- El asentamiento permanente para la colonización lunar, con el inicio del siglo XXI, parece ser un objetivo factible ya que todas las grandes potencias han iniciado programas para ir en torno a 2020, con aspiraciones de continuar a Marte una década después. Debido a su cercanía a la Tierra, la Luna pareciera ser el siguiente paso lógico, pues las dificultades tecnológicas y económicas de abastecer una base lunar desde la Tierra son relativamente sencillas en comparación con una base marciana.
- Pero las objeciones no son sólo económicas: ya que los peligrosos niveles de radiación espacial podrían descartar no solo una misión a Marte, sino también las misiones a largo plazo a la Luna. Otros científicos opinan que en el actual estado de la tecnología, la presencia humana en la Luna o en otros planetas es innecesaria y precipitada. Aunque la rentabilidad económica de la base lunar no sea un tema relevante a corto o medio plazo, la colonización permanente de la Luna sólo tendrá éxito si las colonias son autosuficientes y económicamente viables.
- Aunque por el momento resulte ser una especulación, a largo plazo estas serían las razones:

los intereses económicos en minería (Titanio 66, uranio y helio 3 que fusionado con deuterio produce electricidad, con muy mínimos niveles de radiación y de pérdida de calor; y astilleros para naves espaciales; también, procesamiento de materiales a baja gravedad y en condiciones de vacío, y por último turismo científico y medicinal.

Ver: [Artemis I, abre nuevo camino a la Luna.](#)



Imágenes: Arriba: base planeada por ESA; Abajo, Base planeada por NASA.



ENLACES DEL OAM U.N.

<u>A propósito de Kaguya: ciencia y contaminación en la Luna.</u> <u>Acciones frente al clima y el desarrollo.</u> <u>Adaptación del PCC al Cambio Climático.</u> <u>Advertencia de experto.</u> <u>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</u> <u>Año Internacional de la Astronomía IYA 2009.</u> <u>Astronomía en América Precolombina.</u> <u>Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.</u> <u>Astronomías precolombinas: Mayas y Aztecas.</u> <u>Atlantis cierra la era del transbordador.</u> <u>Artemis I, abre nuevo camino a la Luna.</u> <u>Breve Historia de la Astronomía.</u> <u>Cambio climático en Colombia: La Amenaza.</u> <u>Carta abierta de CORALDEA GLOBAL a la ciudadanía y medios institucionales.</u> <u>Cien años el universo relativista de Einstein.</u>	<u>Ciencia y contaminación en La Luna: a propósito del KAGUYA.</u> <u>Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.</u> <u>Ciencias Naturales & CTS.</u> <u>Científicos del IPCC cuestionan informe de ONU sobre cambio climático.</u> <u>Cincuenta años de la llegada a la Luna.</u> <u>Clima: las heladas en Colombia.</u> <u>Colombia, por un desarrollo satelital.</u> <u>Colombia, trópico andino y agua.</u> <u>Cosmografía: cómo observar el cielo.</u> <u>CTS, Economía y Territorio.</u> <u>Cultura y Astronomía (CyA)</u> <u>Del geocentrismo y heliocentrismo al universo relativista.</u> <u>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</u>	<u>Descubrir el universo desde Colombia.</u> <u>Día del Medio Ambiente: El Universo.</u> <u>El Bosón de Higgs.</u> <u>El camino a las estrellas.</u> <u>El camino por el Río Grande de La Magdalena.</u> <u>El misterioso lado oscuro del universo.</u> <u>El quehacer de los astrónomos en Colombia.</u> <u>El Sistema Solar.</u> <u>El territorio caldense, ¿un constructo cultural? – UMBRA.</u> <u>El tiempo y sus dimensiones en la ciencia.</u> <u>El Universo acelerado.</u> <u>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</u> <u>F J de Caldas y J Garavito Armero.</u> <u>Galileo: el conflicto entre la razón y el poder.</u> <u>Geomecánica.</u> <u>Guía astronómica.</u> <u>Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.</u> <u>Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.</u>	<u>José María González Benito (1843-1903)</u> <u>Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar.</u> <u>La astronomía de los Muiscas a la Colonia.</u> <u>La Astronomía en América Precolombina.</u> <u>La astronomía en Colombia: perfil histórico.</u> <u>La Comisión Colombiana del Espacio CCE.</u> <u>La cosmología de Stephen Hawking.</u> <u>La farsa de las dos lunas en cielo.</u> <u>La “luna roja” de octubre 8 de 2014.</u> <u>La Luna.</u> <u>La Tierra Sólida y Fluida.</u> <u>Lecciones de la Comisión Corográfica: un reto para el urbanismo de hoy.</u> <u>Legado de Newton, como soporte para la ciencia moderna.</u> <u>Los albores de la civilización.</u> <u>Los seis eclipses del 2020.</u>	<u>Llegamos a Marte.</u> <u>Manual de geología para ingenieros.</u> <u>Materia y Energía.</u> <u>Mecánica de los suelos.</u> <u>Mecánica Planetaria.</u> <u>Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.</u> <u>Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales.</u> <u>Museo Interactivo Samoga: 2001-2015.</u> <u>Nobel de Física a tres astrónomos.</u> <u>Observación del Cielo y Carta Celeste.</u> <u>Observatorio de alta montaña para la astronomía de Colombia.</u> <u>Ola de calor en la antesala de El Niño</u> <u>Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.</u> <u>Periplo científico de Humboldt por América.</u> <u>Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.</u> <u>Problema “ALEPH”: planteamiento y solución a un problema topográfico.</u>	<u>Pronósticos a lo largo del tiempo para el macroclima.</u> <u>Protagonistas de la astronomía.</u> <u>Réquiem por la meteorología en Colombia.</u> <u>Sol, clima y calentamiento global.</u> <u>Sol Lunas y Planetas del Sistema Solar.</u> <u>Tiempo geológico.</u> <u>Tiempo y Calendarios.</u> <u>Tierra sólida y fluida.</u> <u>Tránsito de Mercurio 9/05/2016.</u> <u>Tránsito de Venus del 8/06/2004.</u> <u>Turismo espacial: ¿riesgos o beneficios?</u> <u>Tres décadas del Hubble.</u> <u>Una proeza tecnológica y un desafío para los cosmólogos.</u> <u>Webb, encuentra indicios de vapor de agua en exoplaneta.</u> <u>Webb, el telescopio capaz de descifrar grandes misterios.</u> <u>VIDEOTECA de SAMOGA</u>
---	---	---	---	---	---

Gracias



Museo Interactivo Samoga. UN Sede Manizales



*Gonzalo Duque-Escobar, es Profesor de la Universidad Nacional de Colombia e Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía. Web: <https://sites.google.com/unal.edu.co/godues1>

Documento del OAM de la U.N. de Colombia. Parte I: [Mecánica planetaria](#). Manizales, Septiembre 27 de 2020. Fuente, Capítulo 4 de la [Guía Astronómica](#). Parte II: [Tiempo y Calendarios](#). Manizales, Septiembre 23 de 2020. Fuente, Capítulo 3 de la [Guía Astronómica](#). Parte III: [La Luna](#); Manizales, julio 20 de 2009 (Act. 2020)

Contraportada: Museo Interactivo Samoga y Observatorio Astronómico U.N. de Colombia Sede Manizales.

Fuentes bibliográficas 1 de 3:

- [A Digital Books and Book Section UN.](#) Duque-Escobar, Gonzalo (2012) Textos digitales U. N. para los cursos del Profesor GDE.
- [Agenda U.N. de Eclipses para 2019.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- [Albert Einstein.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Contexto en Astronomía, Febrero 1 de 2016, Universidad Nacional de Colombia,
- [Astronomía en América Precolombina.](#) David Fernando Arbeláez Duque (2017) Contexto de Astronomía. OAM- U N de Colombia
- [Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.](#)- Claudia Torres Arango y Gonzalo duque Escobar (2020). Contexto en Astronomía. Observatorio Astronómico de Manizales. U.N. de C.
- [Atlantis cierra la era del transbordador.](#) Duque-Escobar Gonzalo (2011)
- [FJ de Caldas y J Garavito Armero.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2020) U.N. de Colombia. Manizales, Colombia.
- [Capítulos virtuales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Espacio.](#) VALLEJO VELÁSQUEZ, Juan Carlos (2015). U. N. de Coll.
- [Cien años del universo relativista de Einstein.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria. Manizales.
- [Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC (616).
- [Ciencias Naturales & CTS.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2006). In: Encuentro de Formación de Maestros Ondas, Junio de 2006, Manizales.
- [Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje] U.N. de Colombia.
- [Civilizaciones Cosmografía: cómo observar el cielo.](#) David Fernando Arbeláez Duque. Observatorio Astronómico de Manizales - OAM
- [Cultura y Astronomía \(CyA\).](#) Duque Escobar, Gonzalo (2007) Universidad Nacional de Colombia [Objeto de aprendizaje U.N. de Colombia.
- [De los números y su historia.](#) Isaac Asimov, Orbis. Muy Interesante, 1984.
- [Desarrollo y revoluciones tecnológicas.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2017) Documento de trabajo. Manizales, Colombia.
- [El Bosón de Higgs.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria. Manizales
- [El camino a las estrellas.](#) Gonzalo Duque-Escobar (2020). Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.
- [El misterioso lado oscuro del universo.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje] U.N. de Colombia. Contexto en Astronomía.
- [El tiempo y sus dimensiones en la ciencia.](#) Por Gonzalo Duque-Escobar. -Documento del OAM, de la U.N. de Colombia. Manizales, septiembre 12 de 2026.
- [El Universo acelerado.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (629).

Fuentes bibliográficas 2 de 3:

- [Elementos de astronomía de posición](#). PORTILLA BARBOSA, José Gregorio (2001). Ed: Unibiblos Colombia.
- [Elementos de Astrofísica y Las Estrellas](#). Duque Escobar, Gonzalo (2020) [Objeto de aprendizaje] U.N. de Col. Contexto en Astronomía.
- [GALILEO GALILEI](#). José E. Marquina (2009) In: “Galileo, 400 años de observación con telescopio”. Revista Ciencia de la UNAM.
- [Galileo y la nueva astronomía](#). Por Gerald Holton Harvard University. In: “Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas”. Rev, Stephen G. Brush University of Maryland. Trad J. J. Aguilar Peris. Editorial Reverté, S.A. 1989.
- [Guía astronómica](#). (Book) Duque Escobar, Gonzalo (2017). Manizales, Caldas, Colombia.
- [Isaac Newton](#). Duque Escobar, Gonzalo (2020) In: Universidad Nacional de Colombia. Curso de Contexto en Astronomía.
- [Julio Garavito Armero \(1865-1920\)](#) Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: Guía Astronómica: La astronomía en Colombia: perfil histórico.
- [Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar](#). Duque Escobar, Gonzalo (2016). Observatorio Astronómico de Manizales OAM.
- [La astronomía en Colombia: perfil histórico](#). Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: Curso de Contexto en Astronomía. U.N. de Colombia.
- [La constante cosmológica: ¿el gran error de Einstein?](#). Juan Manuel Tejeiro Sarmiento (2006) UN Periódico.
- [La Luna](#). Duque Escobar, Gonzalo (2009) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia. Curso de Contexto en Astronomía.
- [La Teoría de la Relatividad](#). Armando Martínez Téllez, (2009).
- [Leyes de Kepler](#). Por Enzo De Bernardini · Astronomía Sur.
- [Legado de Newton, como soporte para la ciencia moderna](#). Por: Gonzalo Duque-Escobar. OAM de la U.N. de Colombia. 2023. Act. 2026
- [Los albores de la civilización](#). Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: I Encuentro Internacional de Culturas. Andinas, 20 Agosto de 2009, Pasto.
- [Los seis eclipses del 2020](#). Duque Escobar, Gonzalo (2020) Curso de Contexto en Astronomía. U.N. de Colombia.
- [Manual de geología para ingenieros](#). DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2019) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- [Mecánica Planetaria](#) - Gonzalo Duque Escobar. 2020. Observatorio Astronómico de Manizales OAM U.N. Universidad Nacional de Colombia.
- [Misiones Galileo y Cassini](#). TORRES Arango Claudia, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 2016.
- [Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales](#). Torres Arango, Claudia (2002), Universidad Nacional de Colombia.

Fuentes bibliográficas 3 de 3:

- [NOTICIERO SIDERAL. GALILEO GALILEI.](#) Ramón Núñez Centella y José Manuel Sánchez Ron. MUNCYT. La Coruña y Madrid, 2010
- [Obras completas de Francisco José de Caldas](#), R.I. de la Universidad Nacional de Colombia (1966) Bogotá.
- [ÓRBITAS EN EL SISTEMA SOLAR: Leyes de Kepler, Cónicas, Movimiento orbital.](#) Ana Inés Gómez de Castro. Fac. Ciencias Matemáticas.
- [Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje] U.N de Colombia.
- [Periplo científico de Humboldt por América.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2019) . OAM de la U.N. de Colombia, Sede Manizales. Colombia.
- [Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación.
- [Problema “ALEPH”: planteamiento y solución a un problema topográfico.](#) Duque Escobar, Gonzalo (1984). Documento U.N. UN de Colombia.
- [Protagonistas de la Astronomía.](#) Claudia Torres Arango. Contexto en Astronomía. Observatorio Astronómico de Manizales. Junio de 2020.
- [Relatividad de Galileo.](#) FERNÁNDEZ, Hugo. Curso de Relatividad Especial UTN de Argentina
- [Relatividad Especial y General.](#) GERBER, Willy H. (2005) Instituto de Física. Universidad Austral de Chile, Diciembre 2007, nº 7,
- [Relatividad para niños.](#) CORRALES RODRIGÁÑEZ, Capi. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, nº 7.
- [Significado de un bisieto y balance del 2016.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2017). La Patria, Manizales, Colombia.
- [Sobre Hombros de Gigantes.](#) HOYOS Patiño, Fabián. Hombre Nuevo Editores E. U. Colombia. 2001.
- [Sobre la teoría especial y general de la relatividad.](#) EINSTEIN, Albert. The Albert Einstein Archives, Trad: Miguel Paredes Larrucea. The Jewish National & University. Library. The Hebrew University of Jerusalem, Israel. Alianza Editorial, S.A. Madrid..
- [Sol, clima y calentamiento global.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2014) Universidad Nacional de Colombia. La Patria. Manizales.
- [Sol, lunas y planetas.](#) Claudia Torres Arango 2019. Contexto de Astronomía . Observatorio Astronómico de Manizales OAM
- [Stephen Hawking.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2020) In: Año Internacional de la Astronomía IYA 2009, OA M de la U.N. de Col. Manizales.
- [TIMEO.](#) Edición de Patricio de Azcárate. In Platón, Obras completas, Tomo 6, Madrid 1872.
- [Tránsito de Mercurio.](#) DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] Universidad Nacional de Colombia,
- [Tránsitos Planetarios. Cálculo distancia Tierra-Sol a partir de imágenes de tránsitos planetas interiores \(Venus o Mercurio\).](#) Miguel Ángel Pío J.; Juan Carlos Casado; Miquel Serra-Ricart; Lorrain Halon; y Luciano Nicastro. Instituto de Astrofísica de Canarias y FECYT; España.
- [Tres décadas del Hubble.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2020) Universidad Nacional de Colombia. La Patria. Manizales.