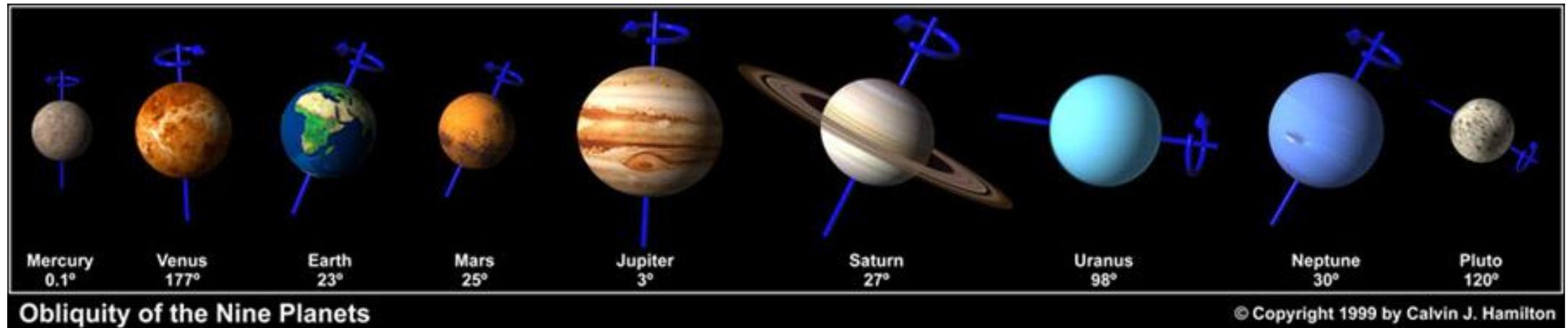


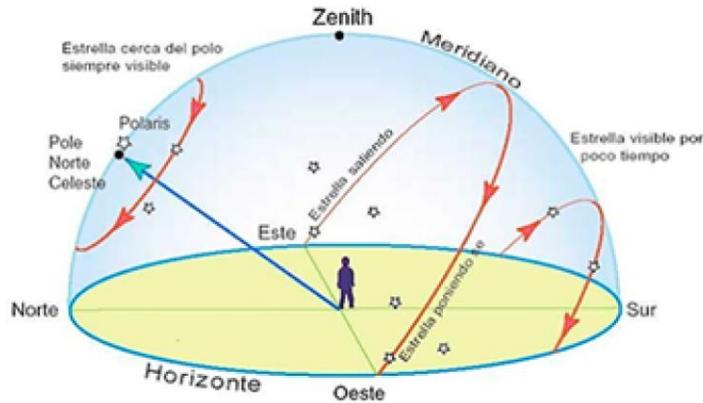
Mecánica Planetaria



Gonzalo Duque-Escobar*

Manizales, Septiembre 23 de 2020.

Fundamentos



<http://aulanautica.org>

Movimiento aparente del cielo, en:

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

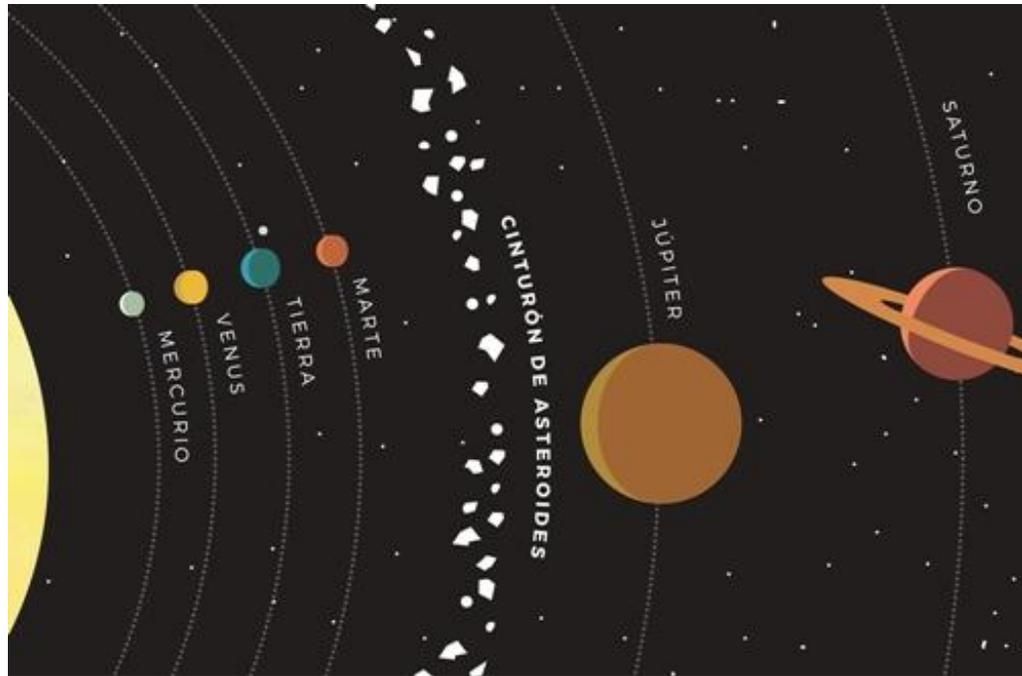


Disco de acreción y protoestrella en:

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

- Como asunto fundamental, las estrellas parecen fijas o firmes en el cielo o firmamento, mientras los planetas son errantes; es decir, con el transcurso del tiempo a lo largo del año, pasan de una constelación a otra. Nos preguntamos ahora ¿Cómo diferenciar planetas de estrellas, y planetas entre sí?
- Al mirar al cielo, para diferenciar los planetas de las estrellas, los primeros no titilan, pero las estrellas sí. Ello se debe 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, fruto de un colapso gravitacional, los planetas además de heredar el sentido de traslación de la nube primigenia, siempre aparecen ubicados en vecindades del plano orbital de la Tierra, así cambien de posición respecto a las estrellas del fondo.
- El color rojo o anaranjado de Marte y Saturno más intenso en el primero, y el color blanco de Venus y Júpiter, contribuye también a la diferenciación del planeta, al igual que el carácter matutino o vespertino de Venus condicionado a su ubicación mas interior en el sistema solar; pero adicionalmente, mientras Júpiter, al igual que Marte y Saturno, puede observarse a media noche, las fases y los movimientos que muestre un astro errante, son importantes. Ver: [Elementos de Astrofísica y Las Estrellas](#) .

Planetas del Sistema Solar

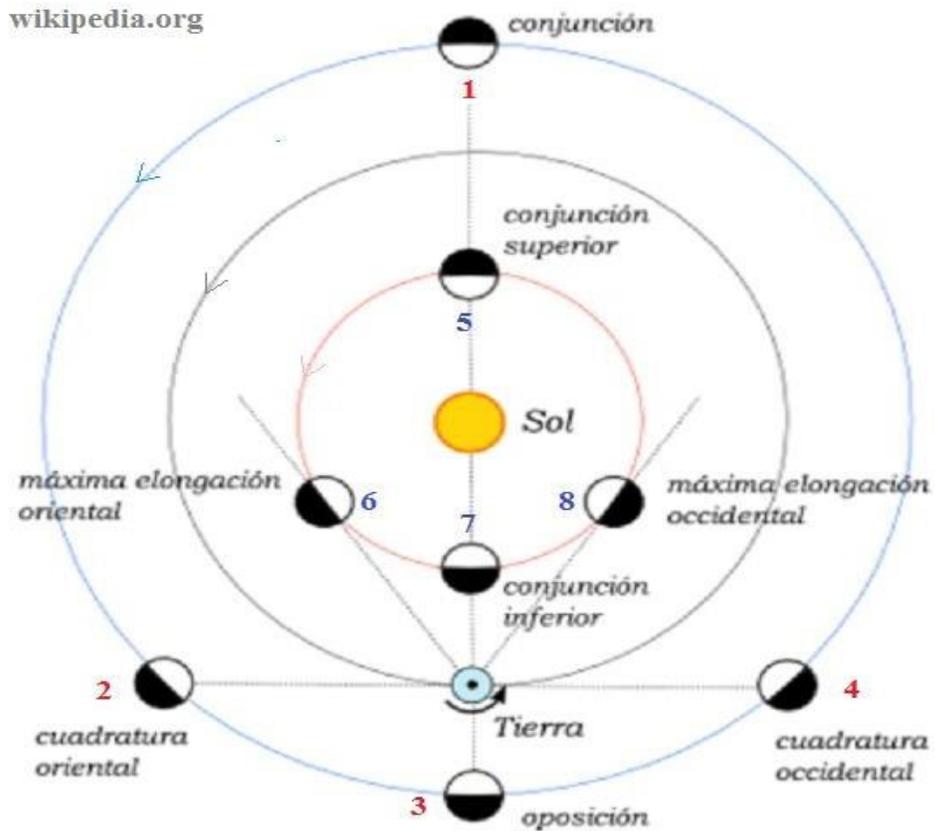


Estructura del Sistema Solar planetario, con el cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter. Algunos de los principales cuerpos en el cinturón de asteroides son Ceres, Vesta, Pallas e Hygiea. En <https://www.visualavi.com/>

- Por su composición, los planetas del sistema solar, suelen clasificarse **en rocosos y gaseosos**. Los planetas rocosos, telúricos, o terrestres, son cuerpos de densidad elevada, con una estructura interna bien diferenciada, y tamaño relativamente similar. Son ellos: **Mercurio, Venus, Tierra y Marte**. Contrariamente, los **planetas gaseosos**, están caracterizados por su enorme tamaño, y poseer atmósferas densas; son ellos Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.
- 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 planetas exteriores, son los que están más allá: 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, son visibles y hacen bucles, y como planetas exteriores pueden tener además de ocultaciones por el disco solar, oposiciones que los hacen visibles a media noche.
- Plutón, es un planeta enano del sistema solar, 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

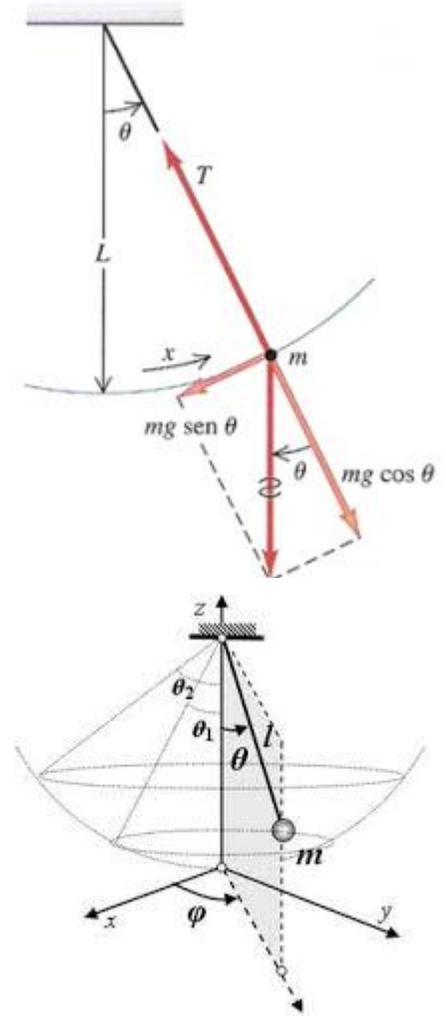


Puntos notables de un planeta interior o exterior., respecto al sistema Tierra-Sol.
Fuente: <https://es.wikipedia.org>

- 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. Esto dado que, en el sistema solar, la traslación planetaria es retrógrada respecto a la **estrella polar**.
- Al observar un **planeta interior** (caso Mercurio o Venus) o exterior respecto a la Tierra (caso Marte, Júpiter o Saturno), 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.
- Ahora, **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 durante la misa, 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. Se puede decir que el péndulo simple comprueba la rotación de la Tierra, ya que su plano de oscilación se mantiene invariable en la misma dirección, **comprobando el giro del planeta**. 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” tiempos en la caída de esferas de peso diferente (rodando en un tablero), e hizo fortuna vendiendo una brújula militar.
- 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, y por lo tanto con dos y con tres dimensiones.



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

“El mensajero de las Estrellas”

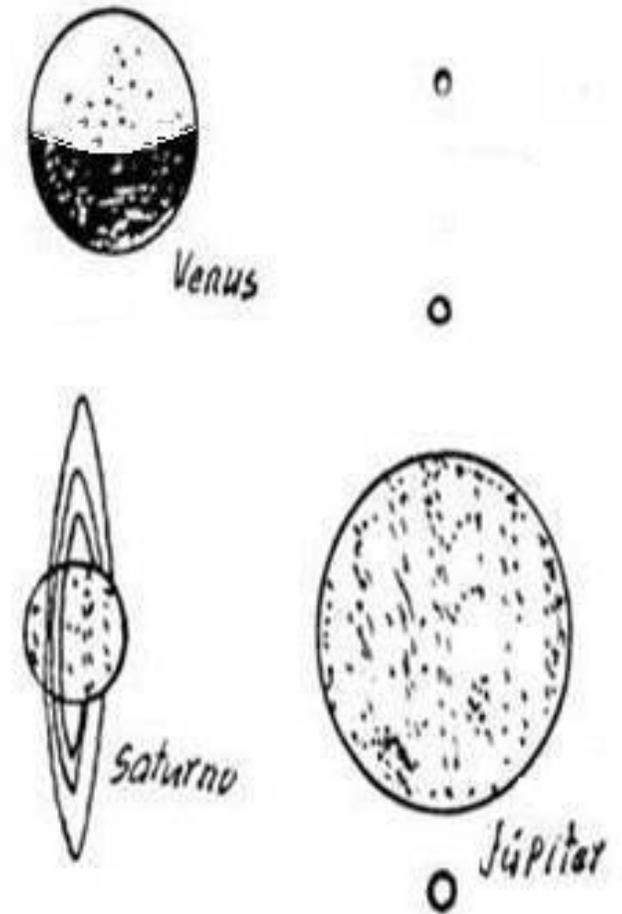
En 1610 Galileo publica “**El mensajero de las Estrellas**”, un sobrio, breve, e ingenioso trabajo de observación metódica, que contiene una vívida descripción de unas pocas observaciones astronómicas hechas con un telescopio de apenas 20 aumentos:

- *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 obtenía descubrimientos que renovaban radicalmente la base empírica de la astronomía, logrando así 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.

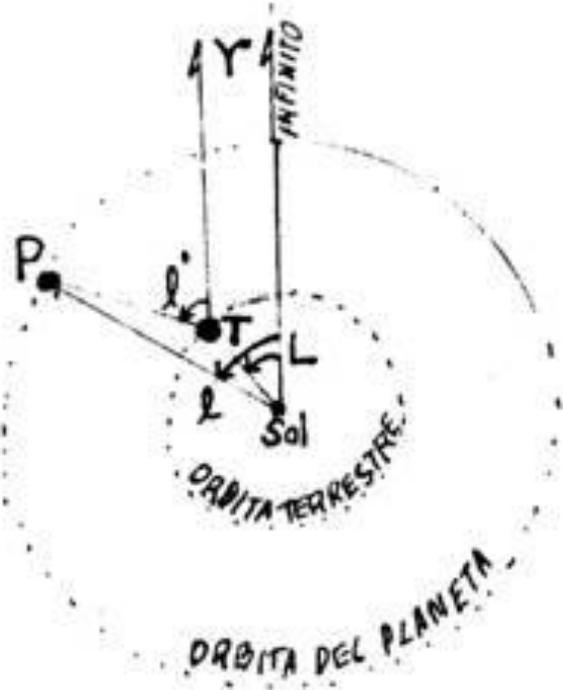
Ver: [Sol, lunas y planetas](#).



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 (o los contrarios) a las personas, según la fecha de nacimiento.
- **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.

Visto desde la Tierra, **Venus puede mostrarnos la cara iluminada o también su cara oscura**, alternando **fases de creciente y menguante**. Las fases de Venus fueron observadas por primera vez por Galileo Galilei a principios del 1600. Ver: [Sol, lunas y planetas](#).

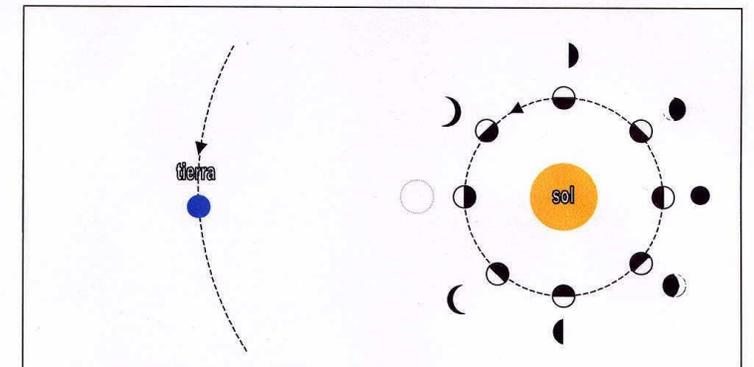
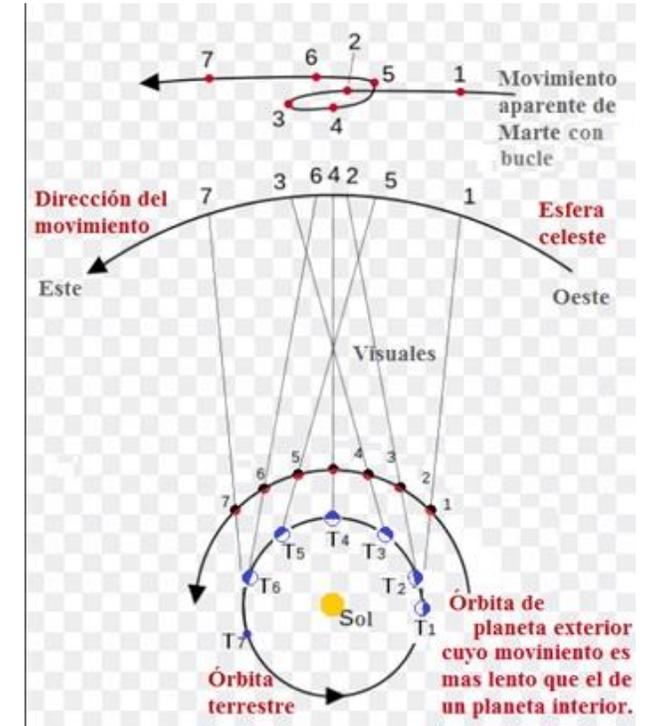
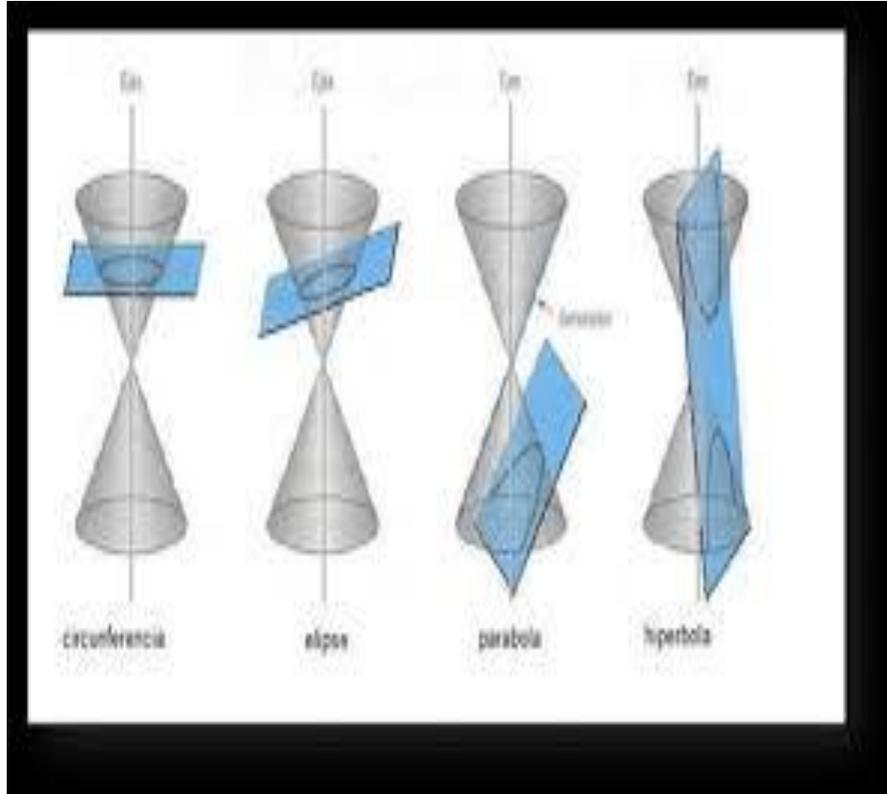


Imagen: bucle planetario en Fuente: Guía astronómica. Fases de Venus en <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/>

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 el lugar geométrico de todos los puntos de un plano, tales que la suma de las distancias a otros dos puntos fijos, llamados focos, es constante. Se trata de 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:

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

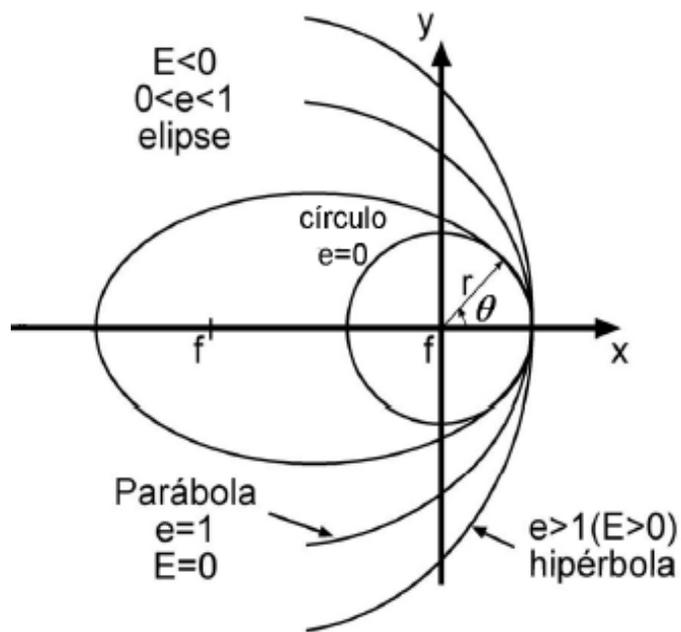
- En función de la excentricidad **e**, los tipos de órbitas podrán ser:
- Órbita parabólica sí: **e = 1**
- Órbita elíptica si: **0 < e < 1**
- Órbita circular si: **e = 0**
- También, la distancia máxima entre el Sol y el planeta, Afelio-Foco1 AF, y la distancia mínima Foco1-Perihelio FP, están dadas 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.

Velocidad orbital



¿A qué velocidad debe girar la Tierra para **mantenerse** en órbita? Si gira muy rápido escapa, si gira muy lento cae al Sol. Calcularemos V_1 y V_2 que son las velocidades límites para el giro del planeta. Fórmula general:

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

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.

$$V_1 = \sqrt{\frac{G(M + m)}{r}} \quad V_2 = \sqrt{\frac{2G(M + m)}{r}}$$

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 V_2 y su valor mínimo, en el afelio, no resulta inferior a V_1 .

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

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, donde se involucra la temperatura ambiental T y la masa molecular m , 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.

Las cónicas.

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

Leyes de Kepler

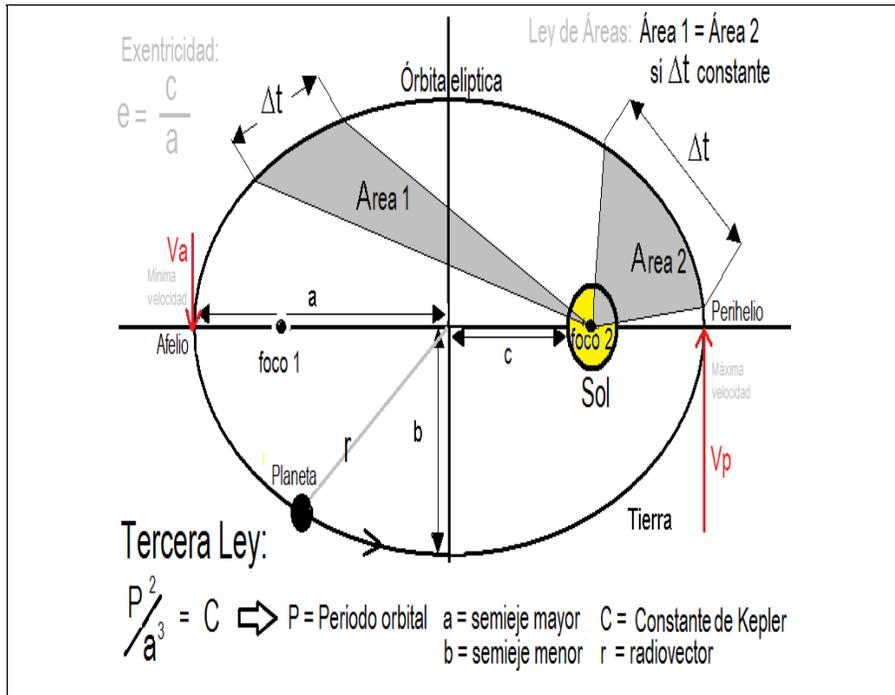


Imagen: Representación de las leyes de Kepler: Órbita elíptica de un planeta, con el Sol en uno de sus focos, según la primera ley. Los textos aluden a la segunda y a la tercera ley. Fuente: [Guía astronómica](#).

•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 astronómicas y dimensionar el tamaño del 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: [Isaac Newton](#)

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: $F = m a$

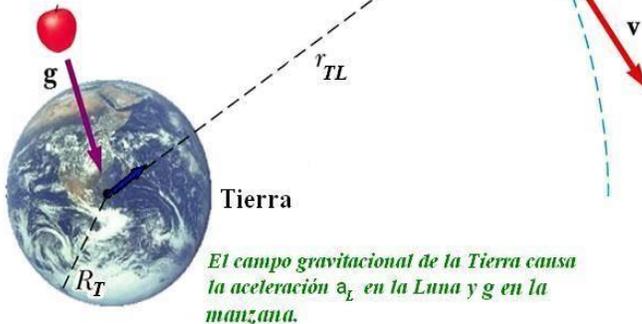
3-Ley de acción y reacción: “A toda acción siempre corresponde una fuerza de reacción igual y contraria”.

Ver: [Isaac Newton](#)

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 está dado por:

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

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 , esta dado por una expresión análoga:

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

Dividiendo entre sí ambas ecuaciones, al reemplazar numéricamente masas y radios, se obtiene la relación de las fuerzas de gravedad, que para el efecto es **seis veces mayor** en la Tierra.

De otro lado, de la ley gravitatoria se pueden deducir las leyes de Kepler. 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 hacia el Sol, como consecuencia de la fuerza de gravedad, ni sale despedido de la órbita como consecuencia de la fuerza centrífuga. La fuerza de gravedad del Sol y la fuerza centrífuga del planeta orbitando, tienen que equilibrarse mutuamente.

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.

$$C = mv^2/r$$

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 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: [Isaac Newton](#)

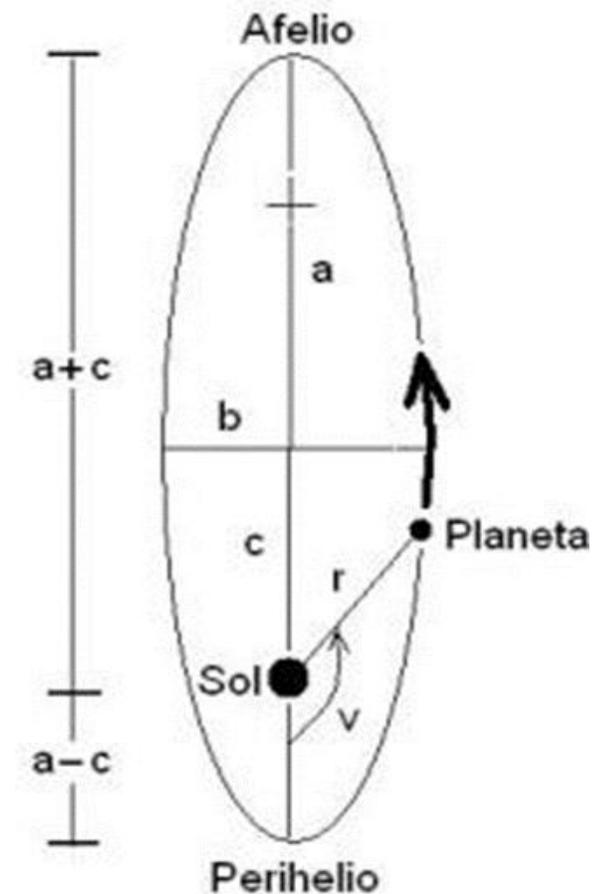
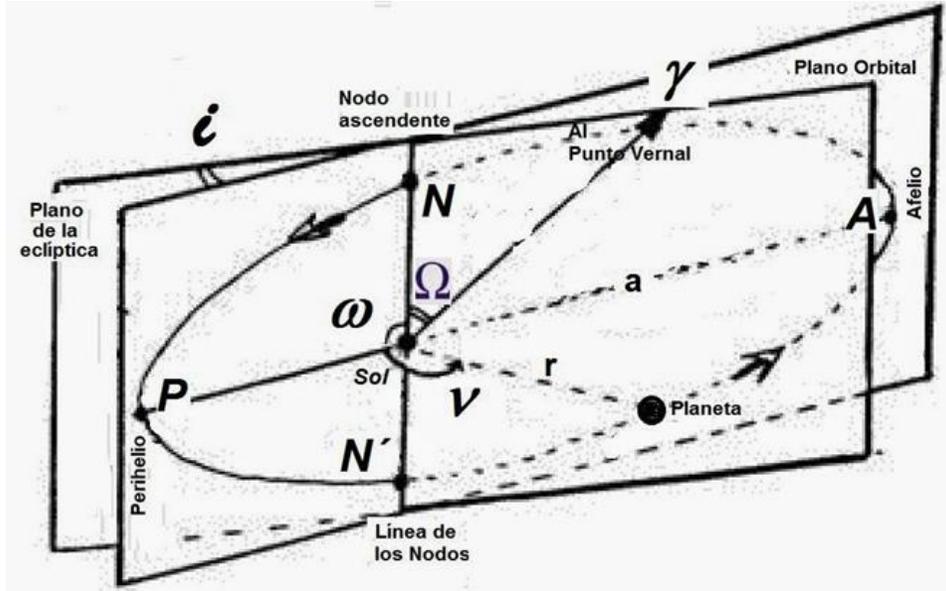


Imagen: elementos de la elipse y del sistema Sol-Planeta In: [Guía astronómica](#).

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 la órbita de un satélite, un planeta, etc. Supongamos que **el plano de una órbita**, se describe con relación al **plano de la eclíptica**. En consecuencia se debe conocer la inclinación de ambos planos, la línea de intersección entre ellos, la **geometría** de la órbita elíptica y la **posición** de esa elipse, entre otras variables.

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

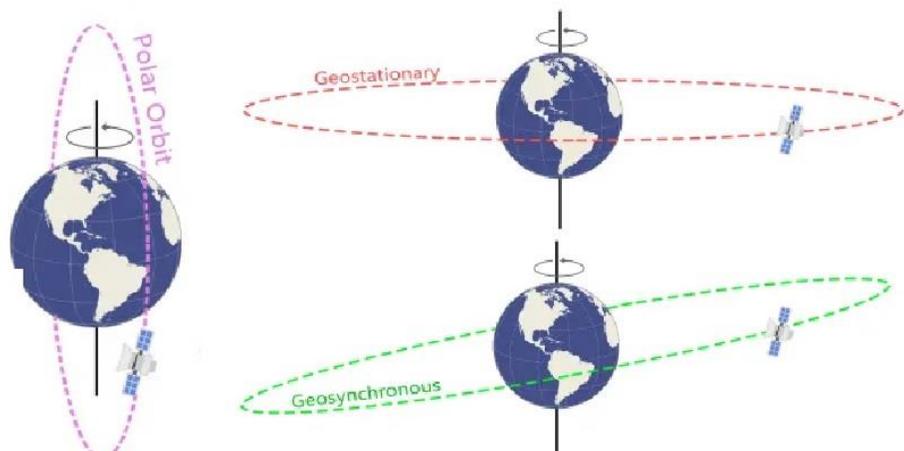
- Instante de paso por el perihelio 1986 febrero 9,45862,
- Distancia al Sol en el perihelio 0,5871012 UA,
- Excentricidad 0,9672750,
- Argumento del perihelio $111^{\circ},84652$,
- longitud del nodo ascendente $58^{\circ},14341$,
- Inclinación $162^{\circ},23921$.

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: satélites que orbitan el Ecuador, y satélites que orbitan **de polo a polo**, mientras la tierra rota sobre su eje polar. 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**, o sea con el mismo periodo de rotación terrestre.

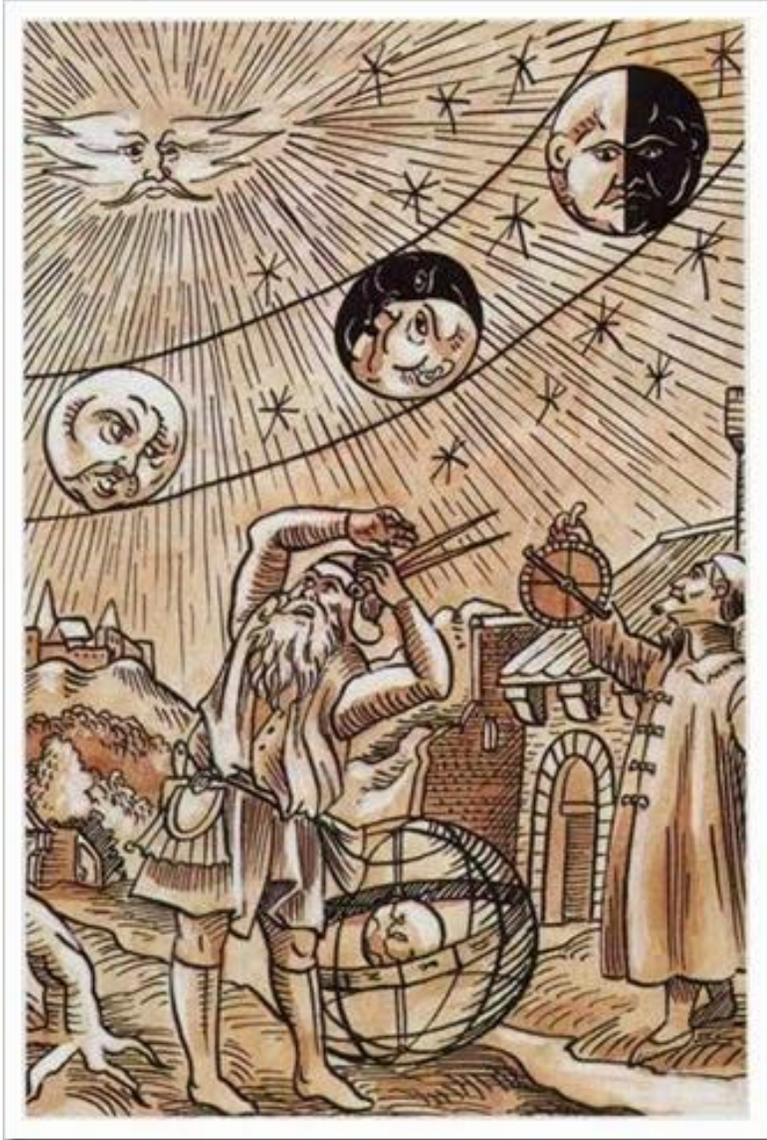
Una **órbita polar** es una órbita que pasa por encima de los polos de un planeta o muy cerca de ellos, es decir la inclinación de la órbita es cercana a los 90 grados. Un satélite en órbita polar pasa sobre cada punto del planeta cuando este gira sobre su eje. La ventaja de estos es que **pueden cubrir a toda la Tierra** y ubicarse a **cualquier altura**. Generalmente, las órbitas polares a menudo son órbitas terrestres bajas.

Mientras que los satélites **geosincrónicos** pueden tener cualquier inclinación, la diferencia clave con la órbita geoestacionaria es el hecho de que se encuentran en el mismo plano que el Ecuador. Cuando un satélite tiene una órbita sincrónica al 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, para garantizar que estén siempre sobre el observador. La **excentricidad de la órbita se escoge según la aplicación**: las órbitas muy excéntricas pueden servir para que el satélite esté mucho tiempo sobre una región determinada. Ver: [Colombia, por un desarrollo satelital](#).

Eclipses



Eclipses en: <https://arteastrotarot.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 en mayor o menor medida 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.**

- Las condiciones anteriores hacen que los eclipses se produzcan separados por medio año aproximadamente. 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 exactamente igual 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 dracónicos: 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 sinódico es el período que transcurre entre dos lunas llenas o lunas nuevas, el mes dracónico o nodical es el intervalo medio entre dos tránsitos sucesivos de la Luna a través del mismo nodo. Ver: [Guía astronómica](#).

Eclipses de Sol

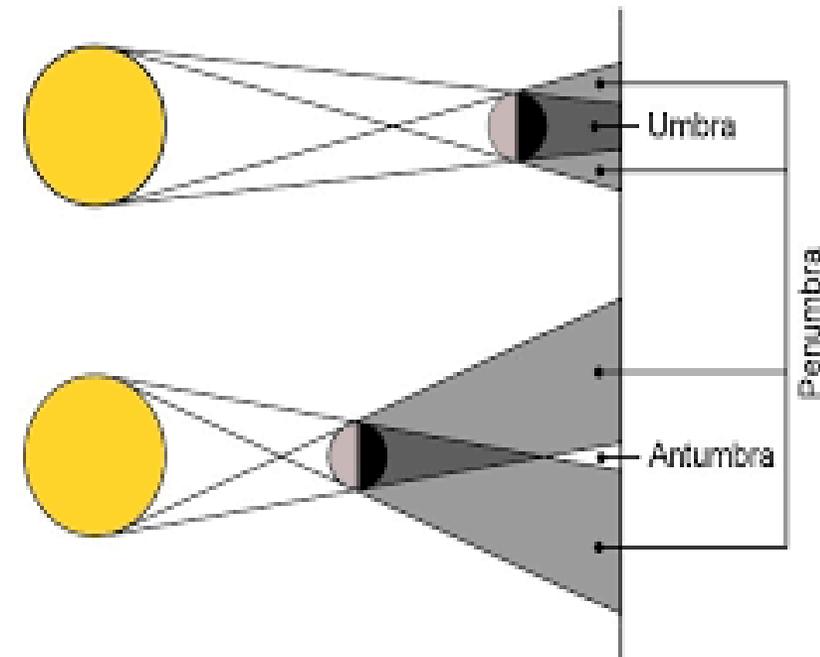
• En los eclipses de Sol hay que distinguir las siguientes formas: totales, anulares y parciales. En los de Luna, solo hay eclipses Parciales y Totales

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: en ellos queda oculto 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. Debido al efecto conjunto del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de la rotación de ésta, **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; en ese intervalo el cielo se oscurece hasta el punto de hacerse visibles muchas estrellas y planetas. Alrededor del disco solar oculto aparece el **anillo luminoso** de la corona. Ver: [Calendario de eclipses de 2019](#).



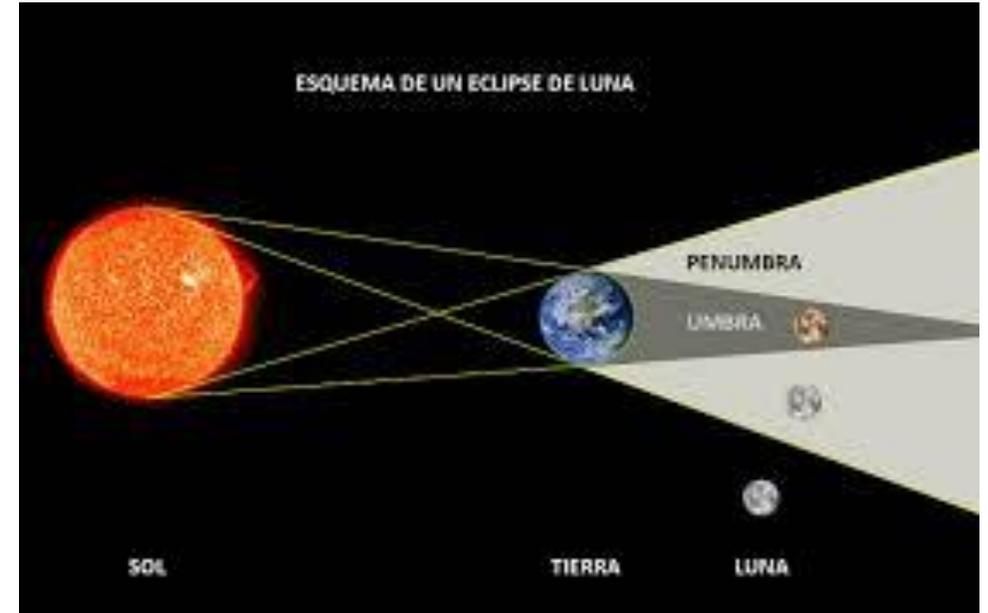
- Eclipses de Sol, en: <https://www.tutiempo.net>

Eclipses de Luna

Los eclipses de Luna, a diferencia de los de Sol, son visibles desde una zona geográfica mucho 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 un máximo 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

- Las **mareas de los océanos** para Newton, no se deben a la rotación terrestre (Galileo) ni a los Vórtices (Descartes).
- Las mareas o cambio periódico del nivel del mar producido principalmente por las fuerzas de atracción gravitatoria, se deben 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: [Isaac Newton](#)

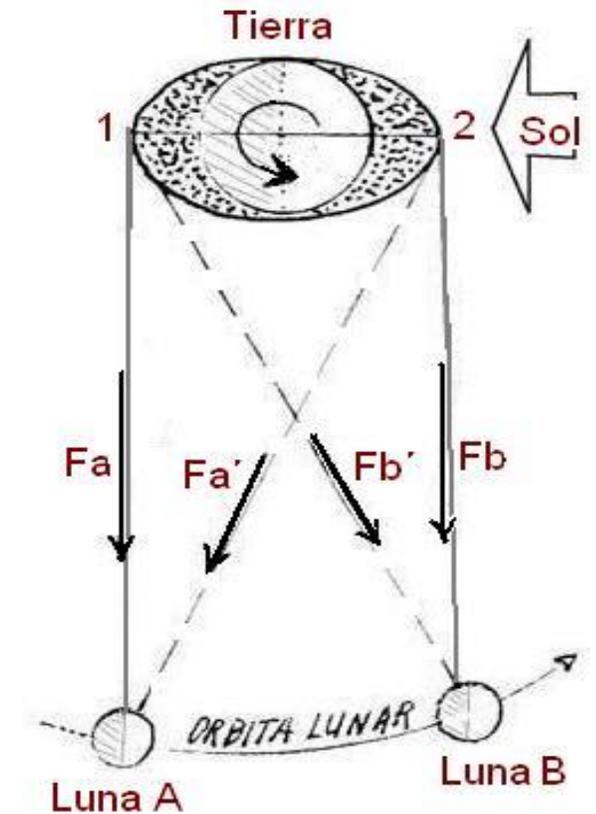
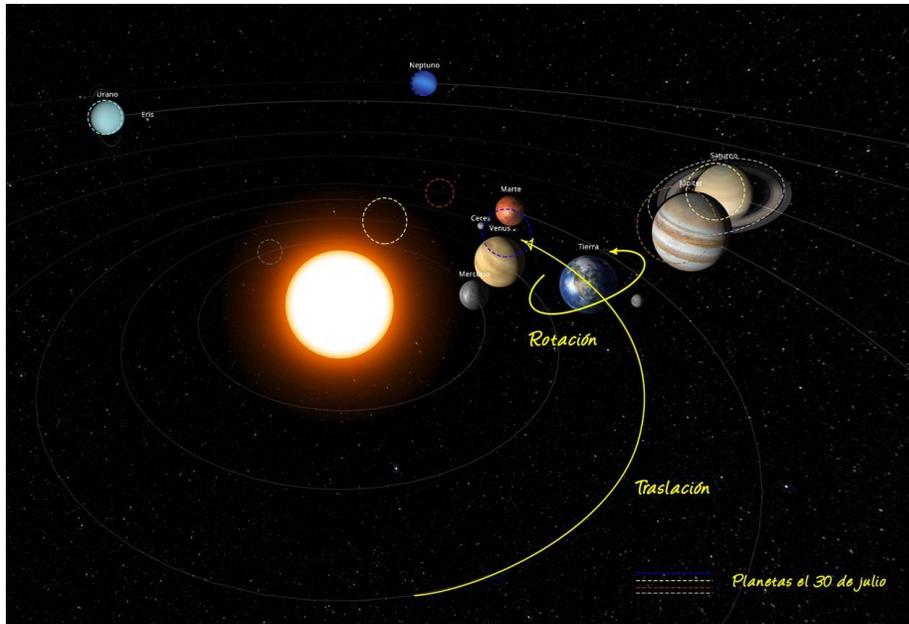


Imagen: Variación del torque ejercido sobre la rotación de la Tierra por la Luna: se observa cómo la Luna puede favorecer o contrarrestar la rotación terrestre.
Fuente: [Guía astronómica](#).

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. Las fórmulas más exactas en la tercera ley, nos permiten decir 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:

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

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:

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

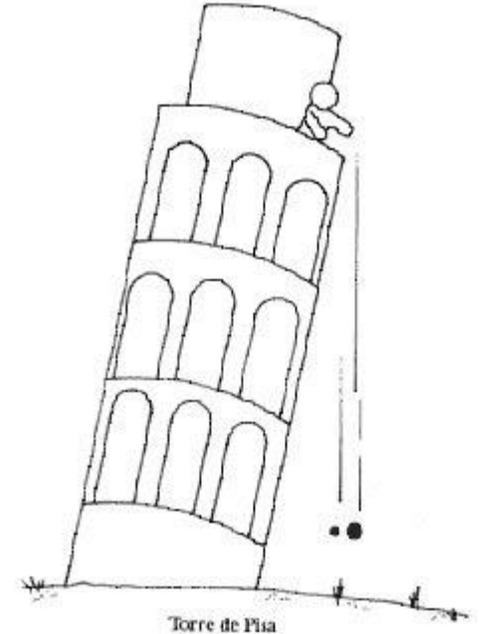
G es la **constante gravitacional**, **M_T** es la masa de la Tierra, **r** la distancia entre los centros de masa y **M_g** la masa del cuerpo en cuestión que produce la atracción gravitatoria. Galileo comprobó la equivalencia de la masa inercial y masa la gravitacional.

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 = mc²**. Hoy se discute que dicha igualdad y expresión no podría ser exacta bajo ciertas circunstancias, por la curvatura del espacio-tiempo.

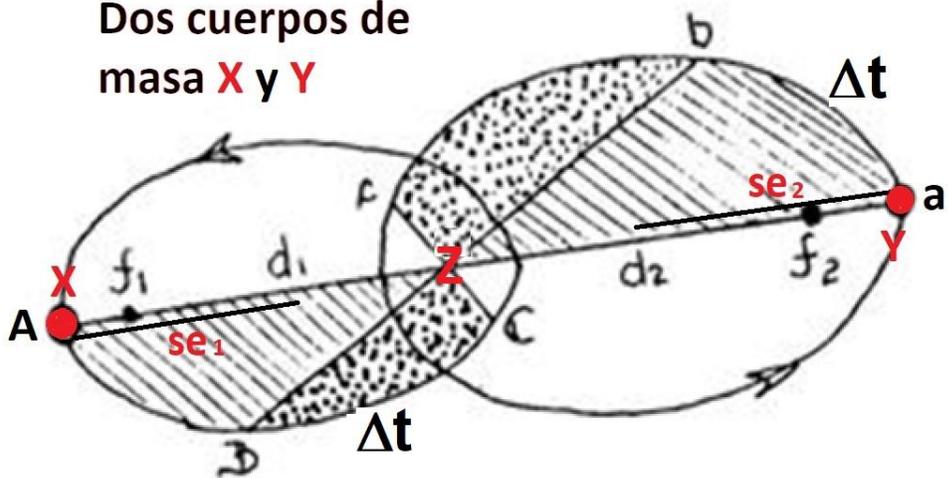
Ver: [Albert Einstein](#).



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 $BCZ + bcZ = ABZ + abZ =$ constante (Ley de Áreas)

Fuente: [Guía astronómica.](#)

• Dos cuerpos de masa **X** y **Y**, o dos estrellas girando alrededor de un centro de masa común "**Z**", para ilustrar el problema de los dos cuerpos.

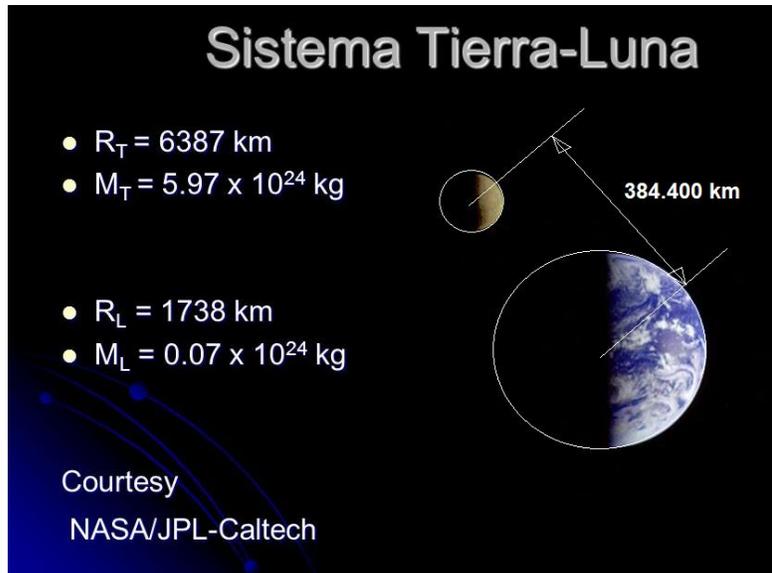
• Los dos soles que se orbitan entre sí, tienen **órbitas dispuestas en el mismo plano, las que se recorren en el mismo sentido, y con los focos alineados** de tal manera que tengan un **foco común, ubicado donde estará el centro de masa**, y alineado con las masas siempre dispuestas a lado y lado suyo. 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.

Sistema Tierra-Luna



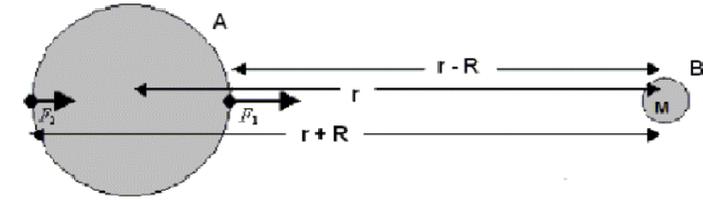
Distancia Tierra-Luna (entre centro y centro de cada cuerpo), sistema donde conocemos que la masa de la Tierra es 81 veces la masa lunar. Imagen: Nasa/JPL-Caltech

- Si la **masa** de un cuerpo **X** resulta insignificante, comparada con la de su compañero **Y**, como el 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 segundo 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, de la manera que se ha ilustrado en las leyes de Kepler.
- 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 del aparte anterior (problema de los dos cuerpos) y los valores conocidos para averiguar que tan cerca de la Tierra, y 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) $d_T = 384400 - 81 d_T$
 - Se obtiene de la anterior ecuación 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, alrededor del cual orbitan la Luna y la Tierra, queda en el manto de la Tierra, a una profundidad del orden de **1678 km** medidos desde su superficie.

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 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 atracción gravitacional 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: [Isaac Newton](http://www.isaacnewton.es)

Cálculo de la fuerza de marea ΔF .

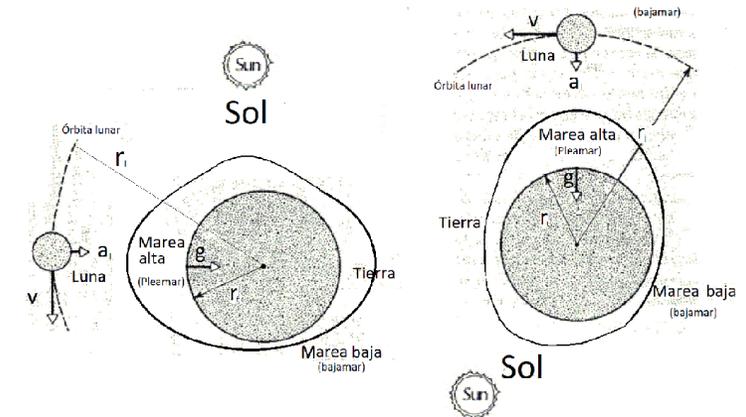


$$F_1 = G \frac{m \cdot M}{(r - R)^2} \quad F_2 = G \frac{m \cdot M}{(r + R)^2}$$

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

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

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 marés, donde intervienen el Sol y la Luna, la atracción lunar influye más del doble.

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



Museo Interactivo Samoga. UN Sede Manizales

Gracias

Gonzalo Duque-Escobar*. Profesor de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Septiembre 23 de 2020. Fuente, Capítulo 3 de la Guía Astronómica.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3252/guiaastronomica.pdf>

Portada: Banner de los Planetas del Sistema Solar. Vallejo Velásquez, Juan Carlos (2015) In: [Capítulos virtuales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Espacio](#). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

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

Enlaces del OAM de la UN

<p>A propósito de los 70 años de la U.N. Sede Manizales.</p> <p>Acciones frente al clima y el “desarrollo”.</p> <p>Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento</p> <p>Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.</p> <p>Adaptación al cambio climático para Manizales.</p> <p>Agua como bien público.</p> <p>Agua, ordenamiento territorial y desastres.</p> <p>Agua y Clima en Colombia.</p> <p>Aire urbano contaminado... ¿qué hacer?</p> <p>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</p> <p>Antropoceno... ¿concepto cultural o geológico?</p> <p>América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento.</p> <p>Antropoceno... ¿concepto cultural o geológico?</p> <p>Año Internacional de la Astronomía 2009.</p> <p>Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia.</p> <p>Astronomía en América Precolombina.</p> <p>Astronomía en Colombia: procesos y regalías</p> <p>Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.</p> <p>Astronomía, petróleo y río, en Barrancabermeja</p> <p>Atlantis cierra la era del transbordador.</p> <p>ASAFI: testimonio de la vitalidad cultural del Valle</p> <p>Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</p> <p>Caldas, el precursor de la ciencia neogranadina.</p> <p>Caldas en la Biorregión Cafetera.</p> <p>Calendario de eclipses de 2019.</p> <p>Calentamiento global en Colombia</p> <p>Cambio Climático en Caldas.</p>	<p>Catálogo del Archivo Histórico del OAN.</p> <p>Cátedra “José Celestino Mutis”</p> <p>Cien años el universo relativista de Einstein.</p> <p>Ciencia Entre Manglares - San Andrés.</p> <p>Ciencia, Protociencia y Seudociencia</p> <p>Ciencia, saberes, empleo y ruralidad, en el PND 2010-2014.</p> <p>Ciencia, Tecnología, Desarrollo y PIB en Colombia.</p> <p>Ciencia, Tecnología y Emprendimiento – CT&E.</p> <p>Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.</p> <p>Ciencia, Tecnología Y Sociedad, CT&S.</p> <p>Ciencia y contaminación en La Luna: a propósito del KAGUYA.</p> <p>Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.</p> <p>Ciencias Naturales & CTS.</p> <p>Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.</p> <p>Clima: las heladas en Colombia.</p> <p>Colombia en UNAWÉ</p> <p>Colombia habla sobre asteroides, meteoros y chatarra espacial</p> <p>Colombia, por un desarrollo satelital.</p> <p>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</p> <p>Colombia, trópico andino y agua.</p> <p>Con tecnología de punta se actualiza el Planetario de Bogotá.</p> <p>Contexto en Astronomía del OAM</p> <p>CTS, Economía y Territorio.</p> <p>Cuarta Escuela de Astronomía y Astrofísica del OAN.</p> <p>Cultura y Astronomía (CyA)</p> <p>Cumanday, ¿el león dormido?</p> <p>Curso de capacitación CIDEAMA.</p> <p>Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima.</p> <p>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</p> <p>Día Internacional de La Tierra – Colombia.</p>	<p>Diálogos con el Territorio y Gestión del Riesgo Natural.</p> <p>Dinámicas del clima andino colombiano.</p> <p>Eclipses solares de 2017</p> <p>Educación e investigación, para la construcción de la Nación</p> <p>Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.</p> <p>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</p> <p>Enlaces del Observatorio Astronómico de Manizales.</p> <p>El 2008 tendrá un segundo más.</p> <p>El analfabetismo en Colombia</p> <p>El Bosón de Higgs.</p> <p>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</p> <p>El día mundial del Medio Ambiente.</p> <p>El inestable clima y la crisis del agua.</p> <p>El Futuro de la Ciudad: caso Manizales.</p> <p>El Gran Telescopio Canarias</p> <p>El misterioso lado oscuro del universo.</p> <p>El Parque Explora de Medellín: En C&T un Proyecto de Ciudad.</p> <p>El porqué de los aguaceros en Colombia.</p> <p>El quehacer de los astrónomos en Colombia</p> <p>El remoto pasado de nuestro mundo</p> <p>El Río Cauca en el desarrollo de la región.</p> <p>El territorio caldense, ¿un constructo cultural? – UMBRA.</p> <p>El Territorio del Río Grande de La Magdalena.</p> <p>El Universo.</p> <p>El Universo acelerado.</p> <p>El camino a las estrellas.</p> <p>El calentamiento global arrecia... ¿y las heladas qué?</p> <p>El X Encuentro de la Red de Astronomía de Colombia RAC</p>	<p>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</p> <p>Encuentro del Asteroide 2011 MD, con la Tierra.</p> <p>F J de Caldas y J Garavito Armero.</p> <p>Fisiografía y geodinámica de los andes de Colombia.</p> <p>Galileo: el conflicto entre razón y poder</p> <p>Geociencias y Medio Ambiente.</p> <p>Geomecánica.</p> <p>Geotecnia para el trópico andino.</p> <p>Gestión del Riesgo Natural en Colombia.</p> <p>Gobernanza Forestal en la Ecorregión Andina.</p> <p>Guía astronómica.</p> <p>Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.</p> <p>Huella hídrica en Colombia.</p> <p>Huracán Iota: el tifón que abate a San Andrés.</p> <p>Huracanes y Terremotos acechan.</p> <p>Innovación del Guion Museístico de Samoga.</p> <p>Ingeniería, incertidumbre y ética.</p> <p>Introducción a la teoría económica.</p> <p>Isaac Newton.</p> <p>José María González Benito (1843-1903)</p> <p>Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar.</p> <p>La IV Escuela Colombiana de Astronomía y Astrofísica del OAN.</p> <p>La astronomía en América precolombina.</p> <p>La astronomía en Colombia: perfil histórico.</p> <p>La Astronomía en la Apuesta de Medellín por la Ciencia</p> <p>La astronomía es a Chile lo que la biodiversidad a Colombia</p> <p>La Comisión Colombiana del Espacio.</p> <p>La cosmología de Stephen Hawking.</p> <p>La economía en la era del conocimiento.</p> <p>La farsa de las dos lunas en cielo.</p>	<p>La Gran Cuenca Magdalena-Cauca. La Luna.</p> <p>La Luna Roja de Octubre 8 de 2014.</p> <p>La Universidad Tecnológica de Pereira y su Planetario U.T.P.</p> <p>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales</p> <p>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.</p> <p>Laudato sí: El Cuidado de la Casa Común. Memorias.</p> <p>Las Cuatro Estaciones y el Cambio Climático.</p> <p>Las cuentas del agua en Colombia.</p> <p>Las estrellas.</p> <p>Las galaxias.</p> <p>Las Revoluciones Tecnológicas.</p> <p>Lecciones de la Comisión Corográfica: un reto para el urbanismo de hoy</p> <p>LHC tras “la partícula de Dios”</p> <p>Libros U.N. de GDE.</p> <p>Los albores de la civilización.</p> <p>Los seis eclipses del 2020.</p> <p>Llegó La Niña... ¿Y entonces?</p> <p>Mecánica Planetaria.</p> <p>Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.</p> <p>Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales.</p> <p>Museo Interactivo Samoga: 2001-2015.</p> <p>NASA: Asteroide Florence se acerca a la Tierra.</p> <p>Nobel de Física a tres astrónomos.</p> <p>Observación del Cielo y Carta Celeste.</p> <p>Observatorio Astronómico de Manizales OAM.</p> <p>Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.</p> <p>Periplo científico de Humboldt por América.</p> <p>Ponderación para informar del valioso trabajo astronómico de Pasto.</p> <p>Por una Red de Astrónomos Profesionales para Colombia.</p>	<p>Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.</p> <p>Prioridades para más doctores investigadores en Colombia.</p> <p>Problema “ALEPH”: planteamiento y solución a un problema topográfico.</p> <p>Protagonistas de la astronomía.</p> <p>Réquiem por la meteorología en Colombia</p> <p>Riesgo Sísmico: los terremotos y el caso de Colombia.</p> <p>Río Blanco, cuna de vida...</p> <p>Samoga en el Territorio de la Ecorregión Cafetera de Colombia.</p> <p>Significado de un bisieto y balance del 2016.</p> <p>Sismo, bahareque y laderas.</p> <p>SisSol, clima y calentamiento global.</p> <p>Sol Lunas y Planetas del Sistema Solar.</p> <p>Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</p> <p>Textos “verdes”.</p> <p>Tiempo y Calendarios.</p> <p>Tierra y ruralidad en Colombia.</p> <p>Tifón se bate sobre San Andrés.</p> <p>Tránsito de Mercurio del 2016.</p> <p>Tránsito de Venus en 2004..</p> <p>Tres décadas del Hubble.</p> <p>Últimos años: creación de La Escuela.</p> <p>UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</p> <p>Un nuevo modelo educativo.</p> <p>Un país con grandes retos ambientales.</p> <p>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</p> <p>Una proeza tecnológica y un desafío para los cosmólogos.</p> <p>Una mirada a los mares de Colombia.</p> <p>Videos de Samoga.</p> <p>Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.</p>
---	---	---	---	--	---

Fuentes y lecturas 1:

- [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, Sede Manizales.
- [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 Colombia. Manizales..
- [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 Red de Astronomía de Colombia RAC (616).
- [Ciencias Naturales & CTS.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2006). In: Primer 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 – Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- [Civilizaciones Mesoamericanas – Mayas: Cultura maya.](#) AGUIAR, Olga. (2000). In Monografías.
- [Colombia, por un desarrollo satelital.](#) Gonzalo Duque-Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.

Fuentes y lecturas 2:

- [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 – Teaching Resource] 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 Universo acelerado](#). Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (629).
- [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 Colombia. 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) Tomado de: 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, Manizales.
- [La astronomía en Colombia: perfil histórico](#). Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: Curso de Contexto en Astronomía. U.N. de Colombia.

Fuentes y lecturas 3:

- [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.
- [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. Manizales.
- [NOTICIERO SIDERAL. GALILEO GALILEI](#). Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius. Traducción del latín, a partir de la edición de Venecia 1610: 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. In: Introducción a la astronomía. Taller de Astronomía. Fac. Ciencias Matemáticas.
- [Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87](#). Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] 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.

Fuentes y lecturas 4:

- [Protagonistas de la Astronomía](#). Por: 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. In: Asociación de Astronomía y Astronáutica. Relatividad para niños. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, nº 7,
- [Relatividad para niños](#). CORRALES RODRIGÁÑEZ, Capi. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, nº 7.
- [Significado de un bisiesto 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, Observatorio Astronómico de Manizales, OAM.
- [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 Jiménez; Juan Carlos Casado; Miquel Serra-Ricart; Lorrain Halon; y Luciano Nicastro. ACTIVIDAD 8. Instituto de Astrofísica de Canarias y FECYT; España.
- [Tres décadas del Hubble](#). Duque Escobar, Gonzalo (2020) Universidad Nacional de Colombia. La Patria. Manizales.