

## Interacción gravitatoria

El siguiente video, aunque es un poco extenso, puede mostrarte cómo es el universo y plantearte interrogantes sobre el mismo.



Video de [Atrévete a saber](#) publicado en [Youtube](#).

### 1. Primeras observaciones de los cielos

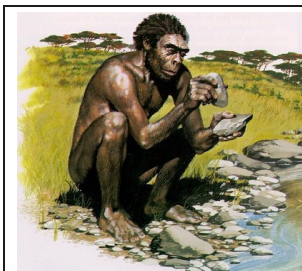


Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Ferrari Hamman](#) bajo licencia CC

Mira el vídeo que tienes a tu derecha. Imagínate cómo se sintieron los primeros humanos mirando al cielo y descubriendo aquellas luces que no podían interpretar. Poniéndote en esta situación resulta fácil entender que la presencia del Sol, la existencia de la Luna y el movimiento de ambos los atribuyeran a los dioses. Asimismo, los cambios estacionales permitieron ver a las estrellas y constelaciones como divinidades pero, a la vez, sirvieron para conocer las fechas en que debían sembrar o recoger las

cosechas.

Evidentemente, la sucesión de las estaciones asombró a los primeros Homo Sapiens por su regularidad. Las primeras cosmogonías (ideas acerca de la estructura del Universo) combinaban sentimientos religiosos, abarcando lo que se conoce por mitología, junto con observaciones en la regularidad de los movimientos celestes.



Video de [Vicente Ferrer Martí](#) publicado en [Youtube](#).



Video de [ISHTAR delaTIERRA](#) publicado en [Youtube](#).

A continuación tienes otro documental (bastante extenso) que muestra la visión del cosmos de las primeras civilizaciones.

Los primeros judíos y babilonios pensaban que la Tierra era un disco plano. Este planteamiento dominó las ideas del hombre durante muchos siglos (por culpa de la propia visión que se tenía), y sobre éste estaba el firmamento y debajo un abismo. Para los chinos, la Tierra era cuadrada aunque había una semiesfera en la que estaban las estrellas fijas; esta semiesfera giraba alrededor de la Tierra. Para los egipcios, el universo era un cubo con el imperio egipcio en el centro; una serie de montañas sostenían la bóveda celeste y un gran río, el Nilo, mostraban el camino del Sol.

Los primeros filósofos griegos comenzaron a racionalizar sus ideas cosmogónicas dando la espalda al Olimpo y a los dioses.

[Tales de Mileto](#), en siglo IV a. C., veía la Tierra como un disco flotante sobre el agua y rodeado por la bóveda celeste con las estrellas fijas. [Anaximandro](#), en el siglo VI a. C., es el primero en considerar la Tierra como un cuerpo celeste más como los demás. [Pitágoras](#) y su escuela pensaban que la Tierra era una esfera que giraba con el resto de los cuerpos alrededor de un fuego central. Las distancias entre los cuerpos celestes y este fuego central guardaban una armonía numérica. [Platón](#), en el siglo IV a. C.,

consideró al universo como algo armónico en el que predominaba la forma esférica.



Aristóteles

Imagen en INTEF de Anónimo  
bajo licencia CC

La humanidad ha ido avanzando a pequeños pasos y, desde luego, la aparición de [Aristóteles](#) (en el siglo IV a. C.) supuso un hecho de enorme importancia (trascendental) en el pensamiento universal. Aristóteles imaginó un conjunto de esferas concéntricas móviles que giraban alrededor de un punto fijo en el que se encontraba, inmóvil, la Tierra. Distinguió dos zonas: todo lo que se encontraba debajo de la órbita de la Luna (la Tierra y todo lo que había en ella) estaba hecho de una sustancia perecedera que acaba descomponiéndose con el tiempo. La Luna y todo el resto del universo estaba compuesto de una sustancia imperecedera o eterna. Sólo existía la forma esférica que se consideraba la perfección.

## 2. ¿Es el Universo tal y como lo percibimos?



Imagen en INTEF de Anónimo bajo licencia CC

Imagino que alguna vez has mirado por un retrovisor para determinar la situación del resto de vehículos a tu alrededor. ¿Qué impresión te dan? ¿Son grandes o pequeños? ¿A qué distancia están? Pues si te ha costado trabajo responder a estas preguntas, imagina la dificultad que supone calcular la distancia al Sol o la Luna.

Te propongo que intentes hacer unas medidas interesantes. Debes tener mucho cuidado y no mirar directamente al Sol sin la protección adecuada, pues resulta muy peligroso para tu salud ocular. Para tratar de estimar el tamaño del Sol debes coger una cartulina del tamaño aproximado a un folio y hacer un agujero pequeño, bien definido, en el centro. Se trata de hacer pasar por el agujero la luz del Sol, por ello, el orificio no debe ser ni muy pequeño (debe dejar pasar la luz), ni muy grande (no debe permitir que la luz se difunda); con un diámetro de entre 2 y 3 cm es suficiente. Coloca a continuación una moneda de un euro sobre una superficie, lo más lisa posible, por ejemplo una mesa o una losa pulida y si puedes, oscura, para ver el contraste. Subiendo y bajando la tarjeta perforada debes tratar de ajustar la imagen del sol para que tenga el mismo diámetro que la moneda. Con una cinta métrica mide la altura a la que se halla la cartulina del suelo cuando la moneda es iluminada totalmente por el Sol. Con la altura medida y el diámetro de la moneda, y teniendo en cuenta conocimientos matemáticos relacionados con las semejanzas de triángulos, puede calcularse el diámetro del Sol.

La distancia entre el Sol y la cartulina y la distancia de ésta a la moneda son proporcionales ya que se forman dos triángulos semejantes con los diámetros del Sol y la moneda. Como se conoce la distancia entre la Tierra y el Sol, la distancia entre cartulina y moneda y el diámetro de la moneda, se puede calcular el diámetro del Sol (d).

$$\frac{D}{d} = \frac{\text{distancia Tierra-Sol}}{\text{longitud medida}}$$

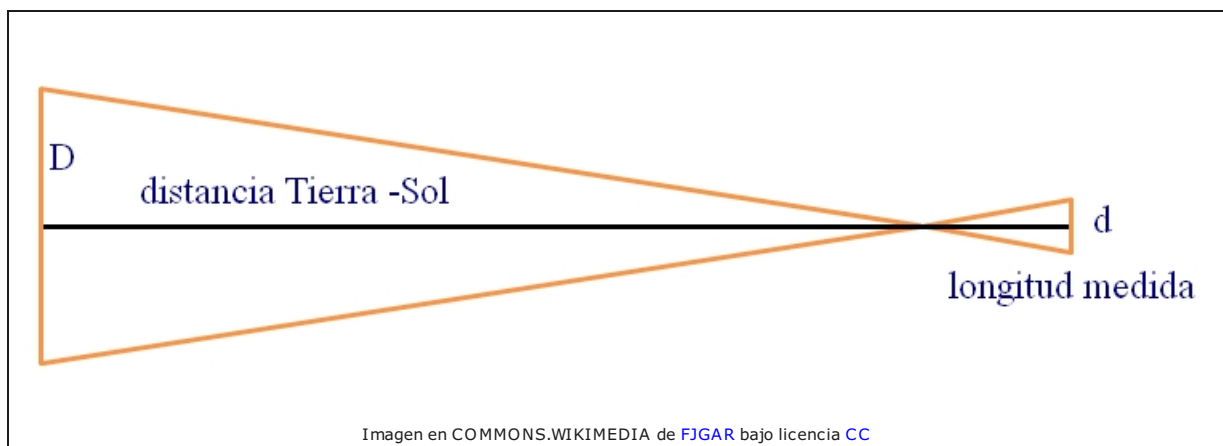

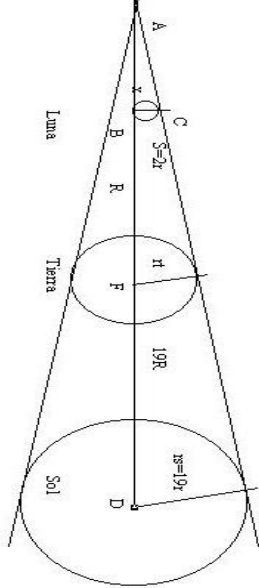


Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de FJGAR bajo licencia CC

### 2.1 Teorías geocéntricas y heliocéntricas



	
<p>Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de <a href="#">Claudio</a> bajo licencia CC</p>	<p>Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de <a href="#">Xgarciaf</a> bajo licencia CC</p>

En la Escuela de Alejandría destacó un filósofo de la isla de Samos llamado [Aristarco](#), nacido en el año 310 a.C. y fallecido en el 230 a.C. (310-230 a.C). Fue discípulo de Estratón de Lampsacos de la escuela peripatética fundada por [Aristóteles](#) y posteriormente [Aristarco](#) sucedería a [Teofrasto](#) como mandatario de esta institución entre años 288 y 287 a.C. Se le consideró un adelantado a su tiempo, un auténtico visionario.

Después de [Aristóteles](#) casi todos los pensadores admitían que la Tierra era esférica pero no se tenían estimaciones de su tamaño. Gracias a sus habilidades en geometría, logró determinar la relación de tamaño entre la Tierra, la Luna y el Sol y llega a la conclusión de que la Tierra está mucho más alejada del Sol que de la Luna. Sus hipótesis sobre el universo se han extraído a partir de las referencias hechas por otros autores después de su muerte. Todas estas observaciones le sirvieron a [Aristarco](#) para asegurar que era el Sol el que estaba en el centro y no la Tierra ya que debía ser el cuerpo más grande y no el más pequeño el que debe estar en el centro.

Fue [Eratóstenes](#) (nacido en Cyrene, ciudad que pertenece a la actual Libia, en el año 276 a.C.) el que realizó la medida del radio terrestre.



Video de [Tareasplus](#) publicado en [Youtube](#).

Para ver la simulación de la deducción de Eratóstenes, puedes pinchar en el siguiente enlace:

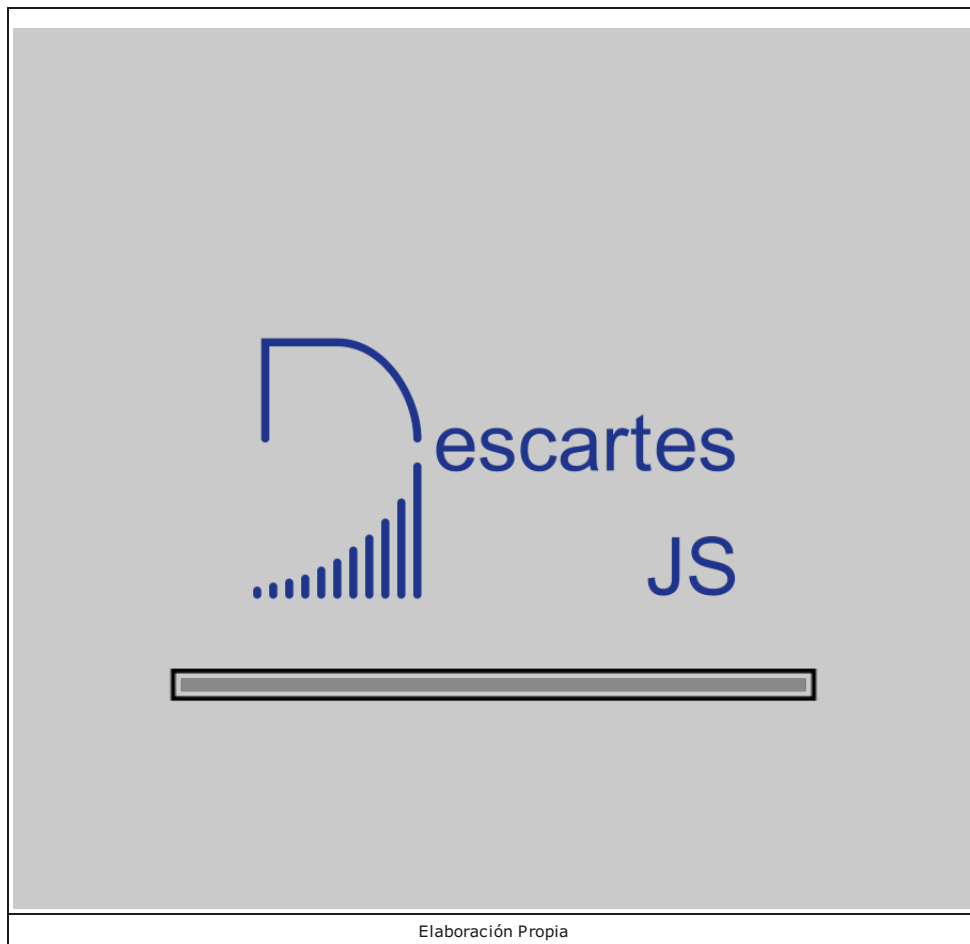
**[SIMULACIÓN DE LA DEDUCCIÓN DE ERATOSTENES](#)**

### *Para saber más*

Otro avance en la Astronomía, y en la misma época, se debe a [Hiparco Nicea](#) (193-120 a.C.). Éste introdujo el método trigonométrico para expresar la posición de los astros y llegó a observar a simple vista la aparición de una nova en la constelación de Escorpión.

En el siglo II d.C. apareció una figura que revolucionó todos los conceptos astronómicos del momento. [Claudio Ptolomeo](#) (85-165 d.C), descendiente de la emperatriz Cleopatra, realizó sus observaciones y estudios entre los años 125 y 142 d.C. Incluyó todos sus resultados en la obra *Almagesto* que resumía todos los conocimientos astronómicos de estos siglos desarrollados por los alejandrinos. El *Almagesto* se componía de trece libros que comprendía todo el saber astronómico e incluía sus propias aportaciones. Además de las estrellas fijas, [Ptolomeo](#) hablaba de unos cuerpos errantes o planetas para cuyas trayectorias inventó unas trayectorias de menor radio llamadas epiciclos cuyos centros, a su vez, rotaban en unas órbitas de radios mayores llamadas deferentes. En el centro de todos los deferentes siempre estaba la Tierra. Se trataba de un sistema geocéntrico como puedes ver en esta [animación](#).

A continuación tienes una simulación con la que podrás entender mejor la postura de [Ptolomeo](#).



Si quieres ver una buena fotografía del movimiento de un planeta desde la tierra pulsa sobre el botón.

**RETROGRADO DE MARTE**

## 2.2 Nicolás Copérnico: un revolucionario

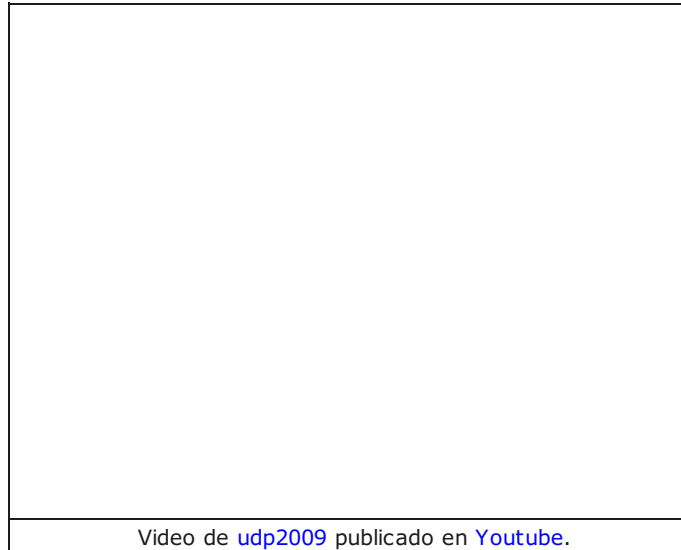


La Edad Media fue una época de oscurantismo, dominada por las ideas religiosas que dejaron relegado al saber científico. El modelo de Ptolomeo seguía en vigor en esta época, debido al gran vacío existente en ese periodo de la humanidad. No obstante, el surgir de otras ideas religiosas y el conocimiento científico que conllevaban iban avanzando por el Mediterráneo africano y empezó a cubrir ese vacío coyuntural. Mientras en Occidente se abandonó el estudio de la Astronomía, en las ciudades del Islam se formaron focos de estudios muy desarrollados. En Córdoba y Bagdad se construyen observatorios y se estudiaban las obras de Ptolomeo y Aristóteles. Al-Mamun realizó la medición de la esfera terrestre para compararla con las dimensiones del Sol y de la Luna. Pero la gran figura de la astronomía islámica fue Al-Battani (868-929), que realizó una observación científica y sistemática del universo. Tampoco debemos ignorar a Azarquiel que elaboró las tablas Toledanas.

Pero el punto de inflexión quizás estuvo el 20 de febrero de 1473, día en el que nació [Nicolás Copérnico](#) (1473-1543). Este polaco hizo sus estudios eclesiásticos junto con estudios de matemáticas y medicina. Elaboró una obra muy importante: "De Revolutionibus Orbium Caelestium", en la que volvió a actualizar las teorías de Aristarco de Samos que se basaban en un Universo heliocéntrico sin epiciclos ni deferentes.

Aunque fue una revolución científica de grandes dimensiones, su modelo encontró detractores al no ser capaz de explicar todas las observaciones que ponían en duda el modelo geocéntrico. Todo era debido a las órbitas circulares que defendía [Copérnico](#). Éstas no facilitaban mucho la resolución de muchos de los problemas que habían aparecido. Una Tierra en movimiento chocaba con la lógica de la gente sencilla y no cultivada. Además, el rechazo al modelo heliocéntrico era alentado por los poderes fácticos del momento. El mismo [Copérnico](#) llegó a la conclusión que las estrellas fijas tenían que estar más lejos que los planetas.

Puedes repasar lo comentado hasta ahora en el siguiente video:



## 2.3 Tycho Brahe: un moderno físico experimental



Tycho Brahe y Johannes Kepler  
Imagen en INTEF de [Miguel de la Fuente López](#)  
bajo licencia CC

**Tycho Brahe** (1546-1601) ha sido considerado como el más grande observador del periodo anterior a la invención del telescopio e innovador en los estudios astronómicos. Si se pudiera clasificar por sus habilidades se puede encumbrar como uno de los mejores físicos experimentales que han existido. Fue un gran observador de las estrellas, sin el telescopio, y muy meticuloso en la toma de datos, de hecho esos datos permitieron posteriormente a **Kepler** concluir sus leyes. El rey Federico II de Dinamarca donó un castillo en una isla para que **Tycho** fundara un observatorio. Era el observatorio de Uraniborg en la isla de Hveen. Los instrumentos que construyó Tycho eran gigantescos y de enorme precisión. Este astrónomo se opuso al geocentrismo y acabó componiendo un modelo que era una solución intermedia entre los heliocentristas y geocentrista. Era un modelo semiheliocéntrico, con la Tierra inmóvil y la Luna y el Sol girando alrededor de la Tierra. El resto de los planetas giraban alrededor del Sol. Tycho fue testigo de un fenómeno poco usual. En la constelación de Casiopea observó una supernova, la explosión de una estrella masiva. Esto, unido a la aparición de un cometa que Tycho estudió durante mucho tiempo, le condujo a afirmar que los cielos no eran inmutables ni eternos.



### Curiosidad

Si quieres conocer algunos datos sobre los planetas del Sistema Solar, bastante exactos, puedes visitar la siguiente página: <http://www.solarsystemscope.com/es>

En [esta página](#) encontrarás una tabla exclusiva para los planetas enanos. La [Unión Astronómica Internacional](#) (IAU) acordó el 24 de agosto de 2006 excluir a Plutón de la corte planetaria del Sistema Solar, que de esta manera ha visto reducido su número de planetas de nueve a ocho.

## 3. Las leyes de Kepler



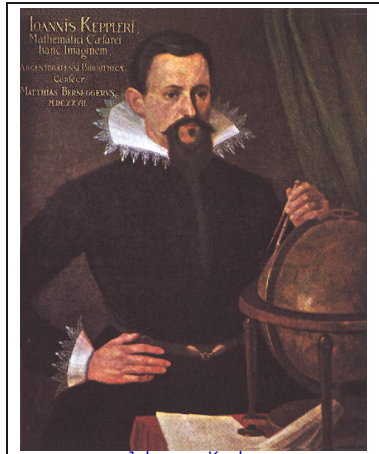




Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de  
Dominio público bajo licencia CC

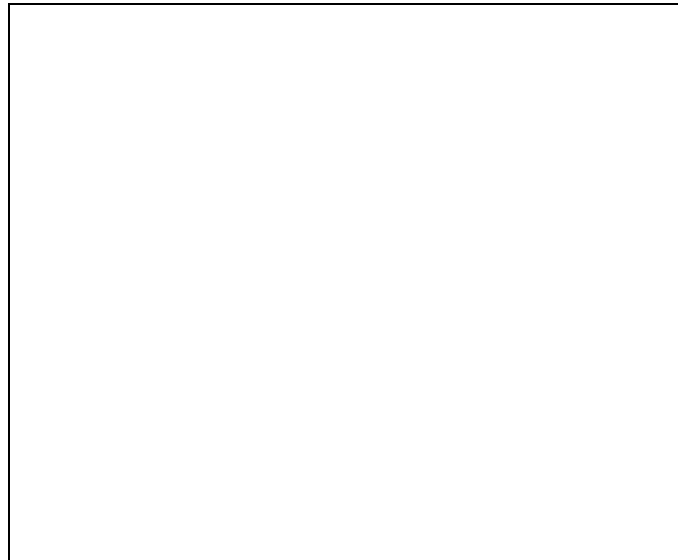
**Galileo Galilei** (1564-1642) consiguió utilizar, en 1609, el primer telescopio que había llegado a Occidente, procedente de China. Cuando Galileo dirigió el instrumento hacia el firmamento descubrió evidencias del modelo copernicano. Observó los satélites de Júpiter, las fases de Venus, la superficie de la Luna, etc. La concepción de universo aristotélico inmutable y perfectamente esférico desapareció y el de Ptolomeo ya no se sostenía.

Por otro lado, aunque Tycho era un gran observador no era un buen geómetra, por lo que no supo interpretar los datos que había obtenido, aunque los incluyó en sus Tablas rudolfinas. Estas tablas contenían datos observados de hasta 700 cuerpos celestes y sin conocer aún el telescopio. Un discípulo aventajado de Tycho, **Johannes Kepler**, basándose en las Tablas rudolfinas, encontró la regularidad en este aparente caos de datos.



**Johannes Kepler**  
Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de  
Jean-Jacques Milan bajo licencia CC

El primer problema que resolvió **Kepler** fue la forma de las órbitas. Este astrónomo abandonó definitivamente el modelo de Ptolomeo, pero encontró discrepancias entre el modelo copernicano y las observaciones de Tycho. Estudiando los radios orbitales de los planetas encontró una relación entre estos parámetros y los sólidos regulares. Así, a Júpiter le asoció un tetraedro regular y a Saturno, un cubo.



La primera de las tres leyes de Kepler se llama **ley de las áreas** y establece lo siguiente:

1. **Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas, estando el Sol en uno de los focos de la elipse.**

Una elipse es una línea curva, cerrada y plana. Se define como 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. Es decir, la suma de las distancias desde los focos a cualquier otro punto de la elipse es constante. Puedes comprobar esto en [esta simulación](#).

Podrás comprender esta ley mejor con el simulador del siguiente enlace:

**PRIMERA LEY DE KEPLER**

La segunda ley relaciona las áreas barridas por los radios vectores con los tiempos empleados en barrerlos. (Debemos aclarar un radio vector se corresponde con la distancia desde un punto de la elipse hasta cada uno de los focos). Esta segunda ley establece lo siguiente:

2. **Las áreas barridas por los radios vectores que unen a cada planeta con el Sol barren áreas iguales en tiempos iguales.**



Podrás comprender esta ley mejor con el simulador del siguiente enlace:

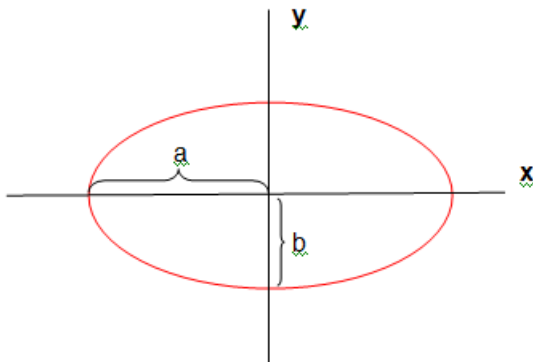
#### SEGUNDA LEY DE KEPLER

Aquí tienes otra [animación](#) interesante de la segunda ley de Kepler

La tercera ley se llama **ley de los periodos** y establece:

3. **Los cubos de los semiejes mayores de las órbitas planetarias son directamente proporcionales a los cuadrados de los periodos.**

Para entender esta ley debes tener en cuenta que una elipse está caracterizada por su semieje mayor (a) y su semieje menor (b):



Si tenemos dos planetas, A y B, con semiejes medios  $R_A$  y  $R_B$  y periodos  $T_A$  y  $T_B$ , esta ley puede interpretarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3}$$

Finalmente, puedes revisar las tres leyes de Kepler en la siguiente [página](#), por si no te ha quedado claro.

## 4. La ley de Gravitación Universal





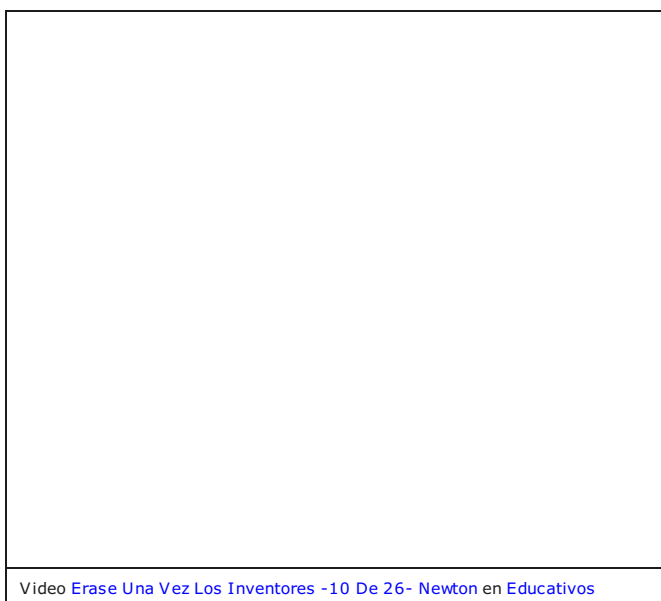
La persona que dio un cambio en el pensamiento acerca de la Física, pudiendo explicar el movimiento de los planetas y la caída de los cuerpos, fue Sir [Isaac Newton](#).

Nació en Woolsthorpe, Lincolnshire, en el año 1642 (el mismo año que murió Galileo) y murió en Londres, en 1727. Aunque su familia era humilde, pudo asistir a la Universidad de Cambridge, pero tuvo que trabajar para pagarse los estudios. No tuvo un gran expediente, pero asimiló los conocimientos y principios científicos de mediados del siglo XVII, con las innovaciones introducidas por Galileo, Bacon, Descartes, Kepler y otros.

Tras graduarse, se dedicó hacia la investigación en Física y Matemáticas, con tal acierto que a los 29 años ya había formulado teorías que guiarían a la ciencia moderna hasta el siglo XX. Asimismo, obtuvo una cátedra en su universidad en el año 1669.

Estudió los cálculos de Kepler y las observaciones de Tycho. Todos esos datos los relacionó con sus leyes de la Dinámica. Por otro lado, Galileo había puesto los cimientos del método inductivo-matemático de la Física. Con todo, sólo faltaba responder: "*¿qué fuerzas existen entre los planetas y el Sol, para que se cumplan las leyes de Kepler y la caída de los cuerpos tienen la misma fuerza, ya que son cuerpos también?*". Acabó respondiendo a esta pregunta con la deducción de la **ley de Gravitación Universal**.

El siguiente video ilustra la biografía de Newton y sus logros en Ciencia.



Video [Erase Una Vez Los Inventores -10 De 26- Newton](#) en [Educativos](#)

## 4.1 Formulación matemática de la ley



La **ley de la Gravitación Universal** predice que la **fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$  separados una distancia  $r$  es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros**, es decir:

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

**F** es el módulo de la fuerza ejercida entre ambos cuerpos, y su dirección se encuentra en el eje que une ambos cuerpos.

**G** es la constante de la Gravitación Universal. Hablaremos de ella con más detalle en el siguiente apartado.

Newton pudo deducir esta ley basándose en sus [leyes de la Dinámica](#).

Partiendo del movimiento circular de un planeta alrededor del Sol, y teniendo en cuenta variables de los movimientos circulares, el módulo de la fuerza de atracción gravitatoria entre ambos se puede expresar como:

$$F = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

Si la expresión anterior se multiplica por  $R^2$  se tiene:

$$F \cdot R^2 = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R^3$$

Teniendo en cuenta la tercera ley de Kepler  $\left(\frac{R^3}{T^2} = K(\text{constante})\right)$ , la expresión anterior puede escribirse como:

$$F = m \cdot \frac{4\pi^2}{R^2} \cdot K$$

La constante K es proporcional a la masa de cuerpo sobre el que se orbita. Esta constante puede englobarse en otra constante G, que muestre esa proporcionalidad:

$$G = 4\pi^2 \cdot K \cdot M$$

Por tanto, la expresión de la fuerza quedaría como:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Esta [animación](#) puede aclarar algo más esta ley.

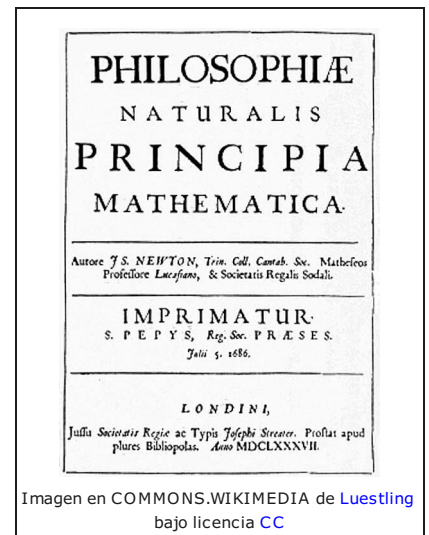


Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Luestling](#) bajo licencia [CC](#)

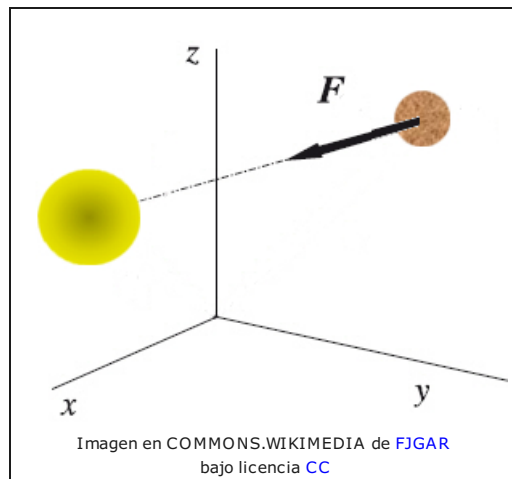
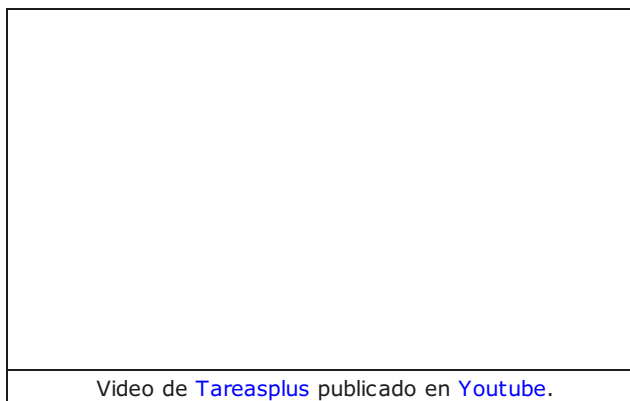
Si lees atentamente el enunciado de la ley, podrás intuir que la expresión matemática anterior sólo representa parte de la situación. Implícitamente, en la misma se atisba que debe tener cierta importancia la dirección, ya que se indica que la distancia es del centro al centro de cada cuerpo.

Por tanto, la fuerza sería una magnitud vectorial, por lo que su definición correcta sería:

$$\vec{F} = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} \vec{u}_r$$

donde  $\vec{u}_r$  representa un vector unitario en la dirección de la recta que une los centros de ambos cuerpos.

Mediante la visualización del siguiente video, puedes repasar el concepto de "vector".

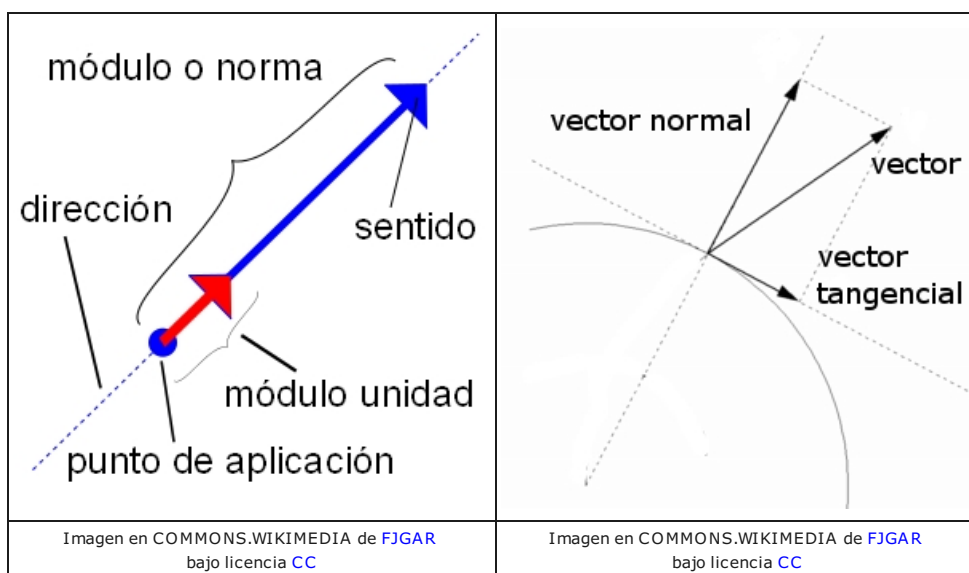


Puedes encontrar información más ampliada sobre los vectores y sus operaciones, haciendo clic en la flecha.



Existen algunos términos acerca de los vectores muy empleados en Física. Uno de ellos ya lo hemos visto antes; es el vector unitario. Pero también hay otros términos relacionados con los vectores y que tienen sentido en los movimientos circulares, como son el vector normal y el vector tangencial.

Si observas las siguientes imágenes verás las representaciones de los vectores unitarios y de vectores normales y tangenciales.



Un **vector unitario** se puede definir como aquel que tiene por norma o módulo la unidad y, por tanto, se puede construir un vector unitario partiendo de cualquier vector, sólo se tiene que dividir por el módulo de éste.

Por otro lado, un **vector normal** es llamado al vector que con respecto a una referencia forma un ángulo de 90° con respecto a la misma. Si el ángulo formado con respecto a tal referencia toma valor nulo se le denomina al **vector tangencial**.

## 4.2 La constante de Gravitación Universal



Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Gelpigim22](#)  
bajo licencia CC

La **constante de gravitación universal** es una constante física que determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos.

Su valor es  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ .

Este valor fue obtenido por primera vez por [Henry Cavendish](#) en 1798. Aunque "G" fue una de las primeras constantes físicas universales en determinarse, el valor de "G" se conoce sólo con una precisión de 1 parte entre 10.000, siendo una de las constantes conocidas con menor exactitud (debido a la extrema pequeñez de la atracción gravitatoria). Esta medición ha sido repetida por otros experimentadores aportando mayor precisión.

Con una balanza de torsión, semejante a la de la fotografía de la izquierda, Cavendish fue capaz de determinar la densidad terrestre, obteniendo un resultado de 5.45 veces la densidad del agua. Este experimento, descrito en *Experiences to determine the*

*density of the Earth* de 1789, permitió indicar que la ley de gravitación propuesta por Newton se cumplía para todos los cuerpos.

A partir de su experimento, fue posible la determinación de una de las constantes universales y fundamentales de la Física, la constante de Gravitación Universal.

Puedes ver este breve [video](#) sobre el funcionamiento de la balanza de torsión. Y en el video que te mostramos a continuación te aclaran cómo realizó Cavendish la medición de G.



[Henry Cavendish](#)  
Imagen en Popular Science Monthly de [Volume 59](#)  
bajo licencia CC



Video de [Hernán Javier Ferrari](#) publicado en [Youtube](#).

## 5. Especial P.A.U.



### Ejercicio resuelto

a) Enuncie las leyes de Kepler y razone si la velocidad de traslación de un planeta alrededor del Sol es la misma en cualquier punto de la órbita.

**Mostrar retroalimentación**

b) Justifique si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: "la gravedad en la superficie de Venus es el 90% de la gravedad en la superficie de la Tierra y, en consecuencia, si midiésemos en Venus la constante de gravitación universal, G, el valor obtenido sería el 90% del medido en la Tierra".

**Mostrar retroalimentación**

### *Ejercicio resuelto*

---

a) Escriba la ley de Gravitación Universal y explique las características de la interacción gravitatoria.

**Mostrar retroalimentación**

b) Según la ley de gravitación, la fuerza que la Tierra ejerce sobre un cuerpo es proporcional a la masa de éste. Razone por qué no caen con mayor velocidad los cuerpos con mayor masa.

**Mostrar retroalimentación**

### *Ejercicio resuelto*

---

a) Enuncie las leyes de Kepler.

**Mostrar retroalimentación**

b) Demuestre la tercera ley de Kepler a partir de la ley de gravitación universal de Newton para un órbita circular.

**Mostrar retroalimentación**