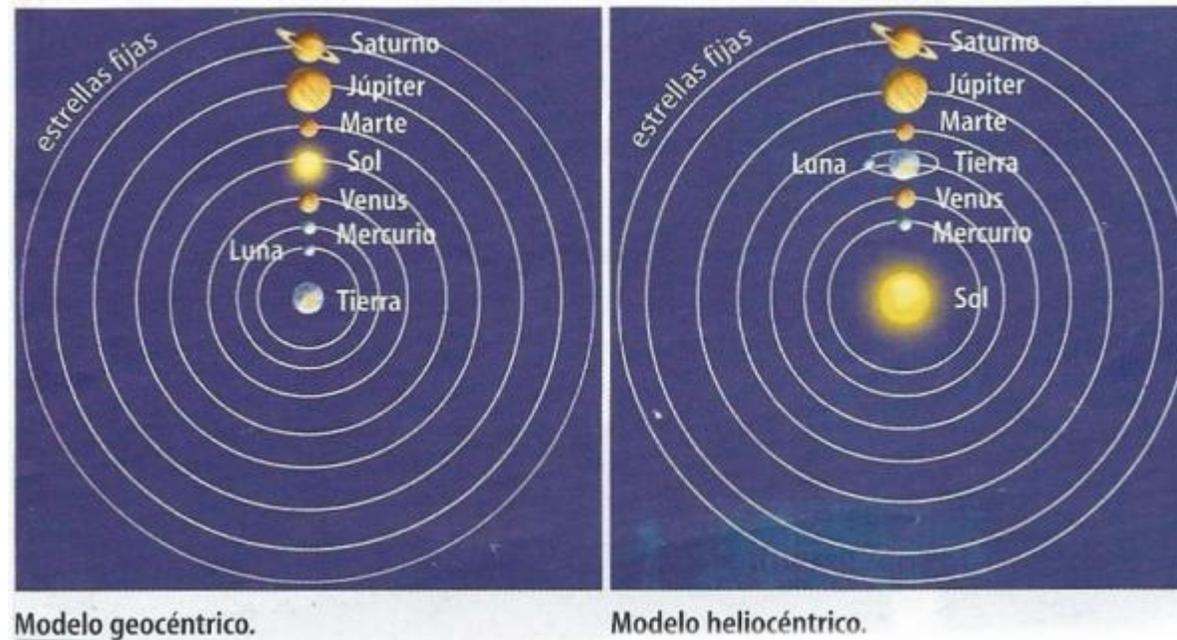


Del geocentrismo y heliocentrismo al universo relativista



Por Gonzalo Duque-Escobar*
Manizales, abril 17 de 2021.

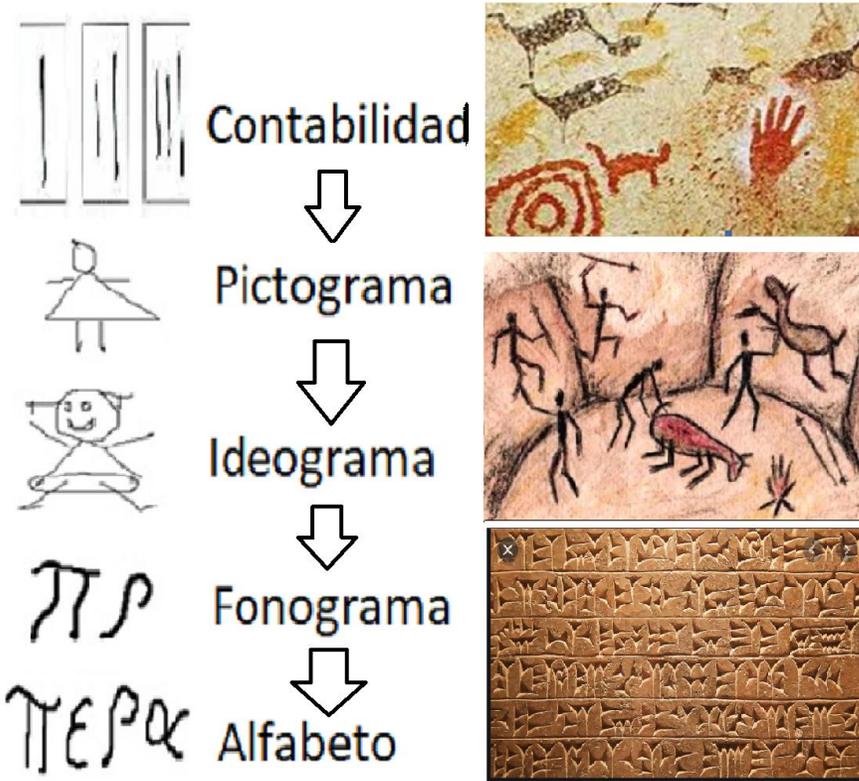
Principios de la civilización

Al principio, lo que importaba era el pensamiento, así: la Aritmética para la contabilidad; la Geometría para medir la tierra y cubicar cosechas, y el Alfabeto para describirlo todo. Los seres humanos que actuaron como recolectores de granos silvestres, se remontan al año 20 000 a. C.

Sí con los calendarios surgirá la agricultura, y con la agricultura aparecerán los primeros poblados desde 10 mil años a.C., también gracias a los poblados surgirá la escritura, y con ella aparecerán los imperios.

En el Levante mediterráneo, a partir del año 9500 a. C., aparecen los ocho cultivos fundamentales del neolítico para Europa —farro, trigo, cebada, guisantes, lentejas, yero, garbanzos y lino—.

Los registros más antiguos de la Aritmética se remontan a la Edad de Piedra (período que comprende el Paleolítico y Neolítico), usando tallas sobre huesos, piedras o madera, con fines de conteo de haberes y cuentas de calendario.

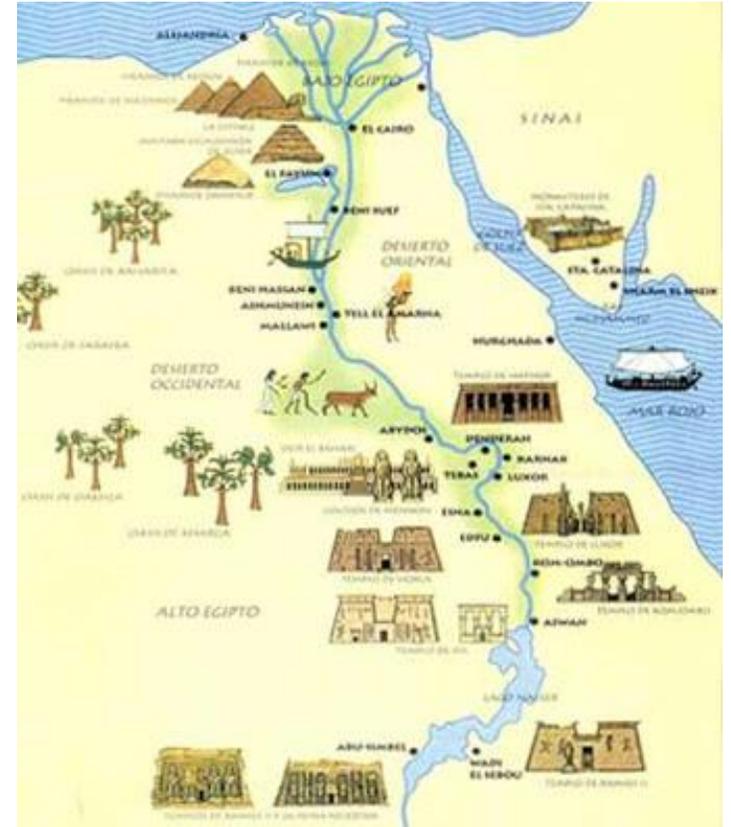


Rupestre en <https://definicion.de/> <https://www.muylhistoria.es/>

Luego de la aritmética se da el desarrollo de los diferentes sistemas de escritura, que surgieron desde la Edad del bronce (finales del IV milenio a. C.), la cual evoluciona tal cual se evidencia en las diferentes faces jeroglíficas, así: del pictograma se pasa al ideograma, y luego a los fonogramas, que con la invención de las vocales da origen al alfabeto. El alfabeto pudo surgir en Egipto alrededor del año 2000 a.C., cuando la escritura tenía un milenio de existencia.

A orillas del Nilo

- El Nilo fue vital para la cultura egipcia desde la edad de piedra. El cambio del clima y la desertización del Sahara en torno al año 8000 a. C. obligó a la migración y asentamiento en el valle del río Nilo, lugar donde se desarrolla una economía agrícola y una sociedad centralizada. Esto es lo que ocurre:
 - Mediciones para la navegación, para replantar lotes anegados por las crecientes periódicas del Nilo, y para prever el invierno y las épocas de siembra; también para grandes construcciones y para cobrar impuestos. Calendario para planificar el territorio y la economía: se requiere medir cosechas y ordenar o distribuir predios para las siembras.
 - Con la división del trabajo surgen, además de la propiedad privada, el sistema numérico y la división del día en 24 horas. A principios del tercer milenio a.C. los egipcios disponían de un sistema de numeración con base 10.



Civilización Egipcia: El Nilo, Fuente:
www.aedave.es/.../congresos/2002/nilo.jpg

Babilonia

La historia de Babilonia se divide en dos etapas separadas por el período de dominación asiria; el imperio paleobabilónico o Amorrita (años 1792 a. C.–1595 a. C.) y el imperio neobabilónico o Caldeo (años 626 a. C.–539 a. C.). El imperio Babilónico fue sucedido por el Persa tras las conquistas de Ciro II el Grande (601 a. C. - 530 a. C.).



El Tigris y el Éufrates en la fértil tierra prometida.
Fuente; <https://es.wikipedia.org>

Estos son los principales aportes babilónicos: uno, inventaron el sistema sexagesimal, dividiendo la circunferencia en 360°, dado que el año era de 360 días; dos, concibieron “todo por reglas fijas”, puesto que no aplicaron el método lógico sino el principio de causalidad; y tres, encontraron el Ciclo de Saros de 223 meses sinódicos o lunas llenas, para la predicción de los eclipses. Un Saros es un periodo tras el cual la Luna y la Tierra regresan aproximadamente a la misma posición en sus órbitas, y se pueden repetir los eclipses.

Los Pitagóricos 572 – 48 a.C.

- Dijo Aristóteles (384-322 a. C) que los pitagóricos se dedicaron a las matemáticas, hicieron progresar este estudio, y habiéndose formado en la ciencia de los números, pensaron que sus principios eran los de todas las cosas. Este movimiento filosófico-religioso, fue fundado por Pitágoras de Samos (580-500 a.C.), quien sostenía que todas las cosas son en esencia números, y que el cosmos provenía de principios numéricos; añaden que cada nota musical se da en función de la longitud de una cuerda y que el cielo en su totalidad es números y armonía.
- La Atenas de Aristóteles era semidemocrática: a pesar de la igualdad entre los seres, el trabajo únicamente era para los esclavos, porque era indigno para la clase social privilegiada.



Los Pitagóricos, en <https://soloesciencia.com/>

Los pitagóricos pregonan la igualdad para todos los seres vivos: humanos y animales. Respecto a la conexión entre números y música, los pitagóricos, introducen el concepto de forma como algo distinto de la materia, y sostienen que el mundo físico es una imitación de un mundo matemático eterno.

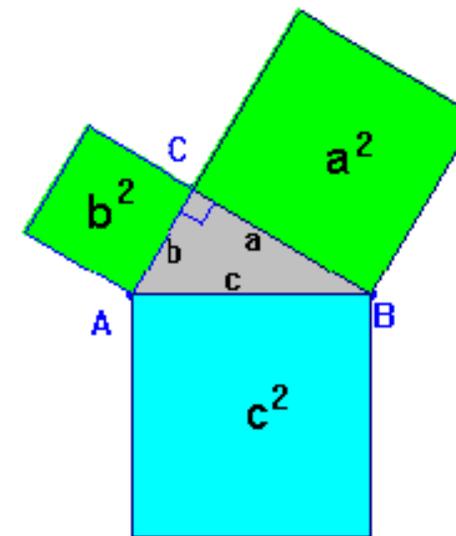
La escuela pitagórica, no solo creó una teoría matemática de la música soportada en la relación entre longitudes de cuerdas y notas musicales para un estudio cuantitativo, sino que también asignaron a cada uno de los cinco planetas, una de las cinco notas musicales existentes (de ahí el término pentagrama), pregonando que todas juntas componían la armonía de las esferas o música celestial, la cual no oímos por ser constante y no tener variaciones.

Los griegos emplearon el sistema decimal, inventaron las tablas de multiplicar, y descubrieron los números irracionales; y entre sus grandes contribuciones, por su importancia se destacan las algebraicas y geométricas.

Los números irracionales

En matemáticas, un **número irracional** es un número que no puede ser expresado como una fracción $\frac{m}{n}$, donde m y n sean enteros y n sea diferente de cero. Es cualquier número real que no es racional, y su expresión decimal no es ni exacta ni periódica.

Además de las raíces cuadradas de 2 (1,4142...) y de 3 (1,7320...), y del número "pi" (3,14159...), también la raíz cuadrada de 7 (2,6457...), el número "e" base de los logaritmos neperianos (2,7182...), y el número áureo "phi" (1,6180...), son otros ejemplos de números irracionales.



Teorema de Pitágoras en
<http://roble.pntic.mec.es>

Hippasos el pitagórico nacido en Metaponto cerca del año 500 a. C, a quien se le adjudica la construcción de un dodecaedro como aproximación a una esfera, y quien descubre la inconmensurabilidad de los números irracionales tratando de calcular la diagonal del cuadrado de lado = 1 - (la raíz de 2)- al preguntarse ¿qué fracción la origina?, es lanzado fuera de la hermandad por haber roto la regla del silencio de los pitagóricos, revelando al mundo la existencia de estos nuevos números.

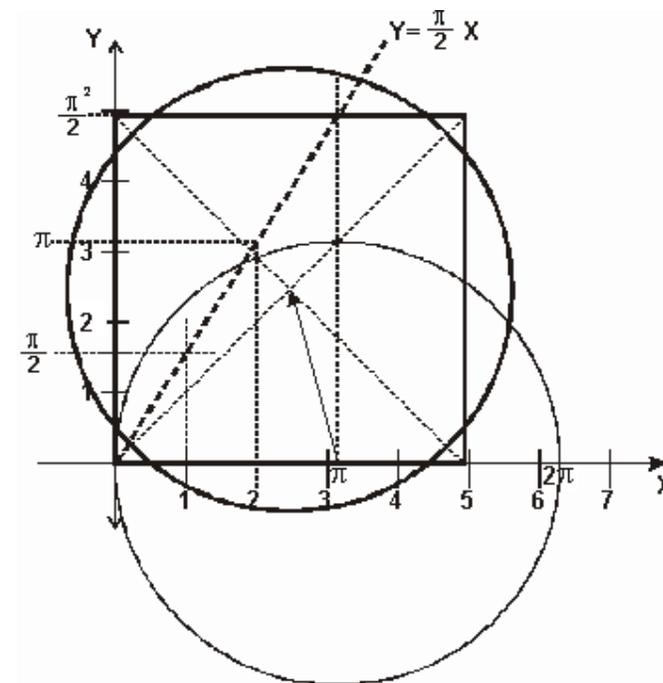
La cuadratura del círculo

Los griegos desprecian el provecho económico. Los matemáticos de la Grecia clásica pronto se interesaron por cuadrar superficies más o menos irregulares limitadas por rectas (superficies poligonales).

Una superficie es “cuadrable” cuando, mediante compás y escuadra a partir de ella, es posible una construcción geométrica, que partiendo de un radio de círculo dado se obtenga un cuadrado que tenga la misma área de dicho círculo.

Si π es el cociente entre diámetro y perímetro circunfencial, esto equivale a encontrar la razón entre la circunferencia y el número π .

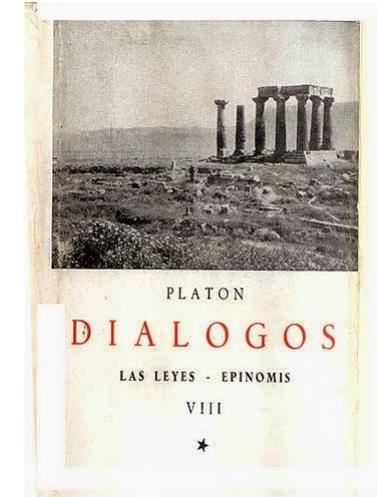
- El cuadrado de igual área al círculo, solo se puede calcular por el método de repeticiones sucesivas. Hace 100 años se demostró que “el círculo no se cuadra”; y que es imposible esa tarea con compás y escuadra.



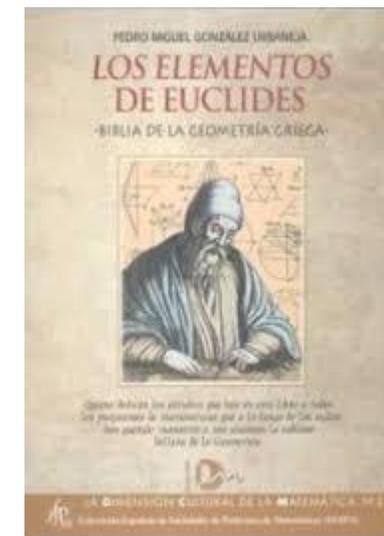
<http://www.monografias.com/trabajos36/cuadratura-circulo/Image6047.gif>

Euclides v.s. Platón I

• Platón (428-348 a. C.): discípulo de Sócrates y maestro de Aristóteles, en sus “Diálogos”, expone la filosofía de su maestro presentándola como la más elevada expresión del idealismo. Sostuvo que la realidad sensible es solo una "sombra" de otra más real, perfecta e inmutable. Platón también recibió influencias de otros filósofos, como Pitágoras, cuyas nociones de armonía numérica y geomatemáticas hacen eco en la noción de Platón sobre las Formas. Euclides (306 a 283 a. C.), matemático y geómetra que enseñaba en Alejandría donde estudió con discípulos de Platón, en su obra “Elementos” (300 a. C.) deja las bases de la geometría plana.



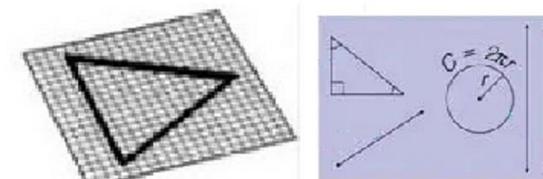
<http://apuntesdefilosofa.blogspot.com/>



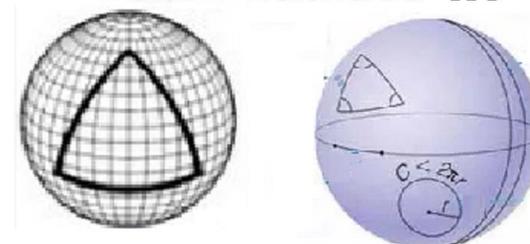
<https://fespmpm.es/>

Euclides v.s. Platón II

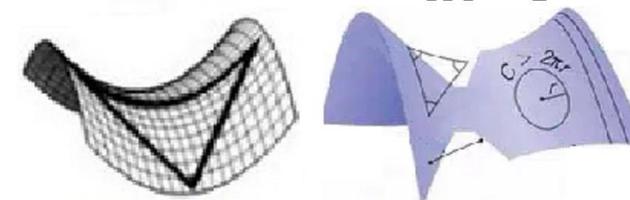
- La geometría euclidiana, es el estudio de las propiedades de los espacios geométricos, del plano afín euclídeo real y del espacio afín euclídeo tridimensional real. Mediante el método sintético, Euclides introduce en “Los Elementos” sus cinco postulados:
 - 1- Dos puntos definen una recta.
 - 2- Cualquier segmento puede prolongarse indefinidamente.
 - 3- Se puede trazar una circunferencia con centro en cualquier punto y de cualquier radio.
 - 4- Todos los ángulos rectos son congruentes.
 - 5- Por un punto exterior a una recta solo puede trazarse una paralela.
- Mientras este último postulado da origen al espacio plano o **euclídeo** de curvatura cero, las geometrías **elípticas** para un espacio de curvatura positiva (Riemann p.e.), y la **hiperbólica** para un espacio de curvatura negativa (Lobachevski, p.e.), sólo satisfacen los cuatro primeros postulados.



G. Euclídea $\Omega_0 = 1$



G. Esférica $\Omega_0 > 1$



G. Hiperbólica $\Omega_0 < 1$

Geometrías Euclidiana, de Riemann y de Lobachevsky

Adaptado de <https://matemelga.wordpress.com/> y de <http://jamessimat.blogspot.com/>

Las cónicas

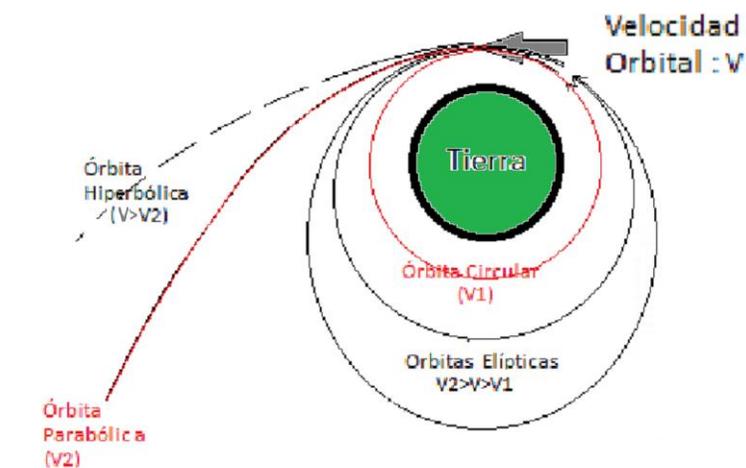
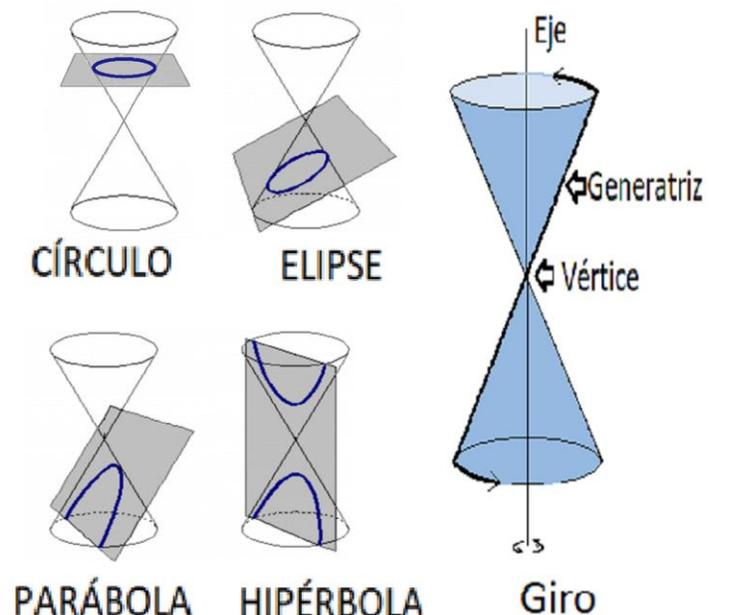
Se denomina cónica a toda curva resultante de la intersección entre un cono y un plano; si dicho plano no pasa por el vértice, se obtienen cuatro tipos de curvas: elipses, parábolas, hipérbolas y circunferencias.

Si el corte es normal al eje del cono, surge el círculo, y si es paralelo a su generatriz, se obtiene la parábola.

Los griegos no escatiman esfuerzos pensando en “problemas imposibles”; así aparecieron las cónicas, curvas impuras y aparentemente “inútiles”, donde la intersección del plano sobre la superficie del cono genera dichas curvas.

La ecuación general de las cónicas, es una expresión algebraica de segundo grado o cuadrática, en dos variables “x” e “y”.

Las velocidades de escape V_1 y V_2 , de importancia en la astronáutica, se relacionan con las cónicas. Sólo las órbitas elípticas, donde V cumple con $V_2 > V > V_1$, son estables; por fuera del rango, el cuerpo cae o escapa.



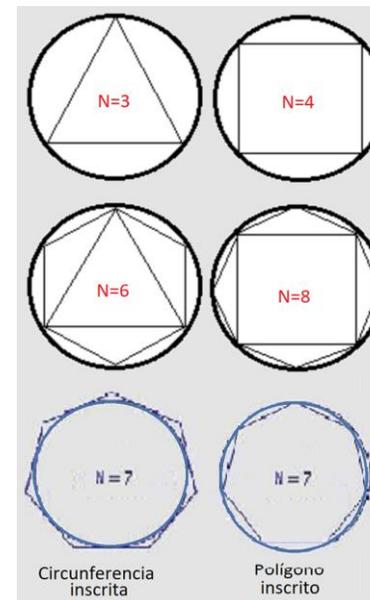
Primera y Segunda Velocidades de Escape: $V_2 = V_1 \sqrt{2}$

Los Pitagóricos: el agotamiento

Antifonte el Sofista (479 a 411a.C.) orador, filósofo y matemático griego, calcula el arco de una circunferencia en función de uno o varios polígonos regulares de “n” lados, con $n = 3, 6, 12, 24...X$

Para llegar a la circunferencia ¿en el polígono cuánto vale “X”? ¿Cuándo detenerse? ¡Imposible y fatal el infinito!

Los sofistas cuyos representantes más destacados fueron Protágoras, Gorgias, Pródico y otros (siglo V a. C.), actuaban como maestros profesionales de “sabiduría” y de “elocuencia”, y no constituían una escuela única; su filosofía se distinguía por su subjetivismo y la negación de la verdad objetiva, y oscilaba entre el materialismo y el idealismo.



Se sabe que los pueblos primitivos carecían de maestros, de escuelas y de doctrinas pedagógicas organizadas, y que Carlo Magno en el siglo VIII, fijó las primeras directrices de una reforma para la creación de escuelas públicas en cada obispado, ya fuera para niños ricos o pobres.

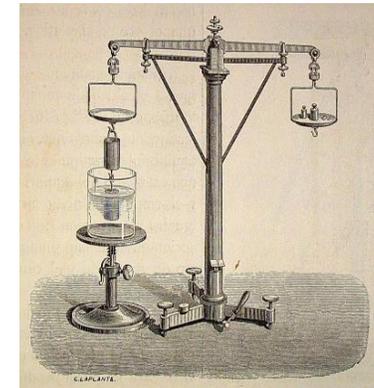
No obstante, la época de la Grecia clásica (Siglos IV y V a. C.) período que antecede a Carlo Magno en el que no existían universidades ni conventos como ocurrirá en la Edad Media, las calles eran los centros culturales de Atenas, así: la plaza pública para Sócrates, la Academia para Platón, el Liceo para Aristóteles y el Museo para los filósofos de la escuela de Alejandría.

Arquímedes (287 – 212 a.C.)

- Entre los avances de este físico, ingeniero, inventor, astrónomo y matemático griego, aparecen fundamentos de hidrostática y estática y la explicación del principio de la palanca. Diseñó innovadoras máquinas, armas de asedio y el tornillo de Arquímedes, una máquina gravimétrica helicoidal que accionada por un molino, se usa para la elevación de agua, harina, cereales o material excavado; similarmente, si se vierte agua por la parte superior del tornillo, haciéndolo girar, se obtiene energía para accionar una máquina.
- Eureka, es la expresión asociada al mito de “la corona dorada” que corresponde a un método para determinar el volumen de un objeto con una forma irregular, ideada por este siracusano, quien mantuvo relación con Eratóstenes de Cirene el Director de la Biblioteca de Alejandría, y con los sucesores de Euclides.
- ¿Cómo saber si la corona es de oro o de otro metal recubierto?. Con la densidad: el principio de Arquímedes que responde al hallazgo del principio de flotación y densidad de los cuerpos, es un principio físico que afirma que un cuerpo, total o parcialmente sumergido en un fluido estático, será empujado hacia arriba con una fuerza igual al peso del volumen de fluido desplazado.



Tornillo de Arquímedes,
en: www.alamy.es



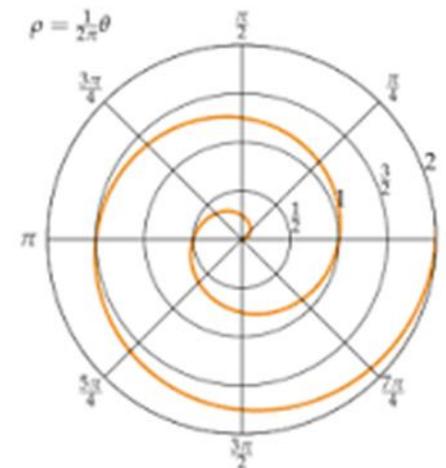
Demostración del principio de
Arquímedes, en:
<https://www.flickr.com/>

El pensamiento práctico

Arquímedes usó el método exhaustivo para calcular el área bajo el arco de una parábola sumando elementos, y estimó con aproximación adecuada el número π (pi): propone útil aplicar un valor de π , por exceso o defecto, así:

$$3 \frac{1}{7} < \pi < 3 \frac{10}{17}$$

De este modo, Arquímedes resuelve el problema del infinito aceptando diferencias despreciables



Espiral de Arquímedes, en www.es.Wikipedia.org

- También definió la espiral que lleva su nombre, curva que se define como el lugar geométrico de un punto que se mueve a velocidad constante sobre una recta que gira sobre un punto de origen fijo a velocidad angular constante. La espiral es la trayectoria de un punto que se desplaza sobre el radio del círculo, a medida que este rota.
- Igualmente dio fórmulas para estimar los volúmenes de las superficies de revolución, e ideó un sistema para expresar números muy largos.
- Arquímedes quien combina agotamiento con comprensión, lo que equivale a establecer “el límite” como solución razonable, también estima la posibilidad de cuantificar el Universo, no el de las teorías tradicionales, sino el de Aristarco: para el efecto asume que en tamaño, la Tierra es al Sistema Solar, como el Sistema Solar es al Universo comprendido por la Esfera de las Estrellas.

Francis Bacon (1561–1626)

Nacido en Londres y educado en el Trinity College de la Universidad de Cambridge, Bacon es el “padre del empirismo”, aunque dedica su vida profesional a la política. Gracias a su fuerte inclinación por la filosofía, logra una enorme influencia en la historia de la ciencia con su obra y aporte a la política científica de la Inglaterra moderna.

En su *Novum Organum* (1620) precisa las reglas del método científico experimental, y desarrolla una teoría empírica del conocimiento, con lo cual se constituye en uno de los pioneros del pensamiento científico moderno.

Bacon, percibe la importancia del razonamiento deductivo sobre el inductivo, y propone eliminar toda noción preconcebida del mundo y recurrir a las observaciones detalladas y controladas, para lograr generalizaciones cautelosas.

Su insistencia en el papel de la observación como fundamento de la nueva ciencia, y el sentido pragmático y político de su visión del papel del conocimiento en la sociedad, legitiman la ciencia en la Europa moderna.



Francis Bacon: célebre filósofo, político, abogado y escritor inglés, padre del empirismo filosófico y científico.

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

Aún pesan ideas griegas

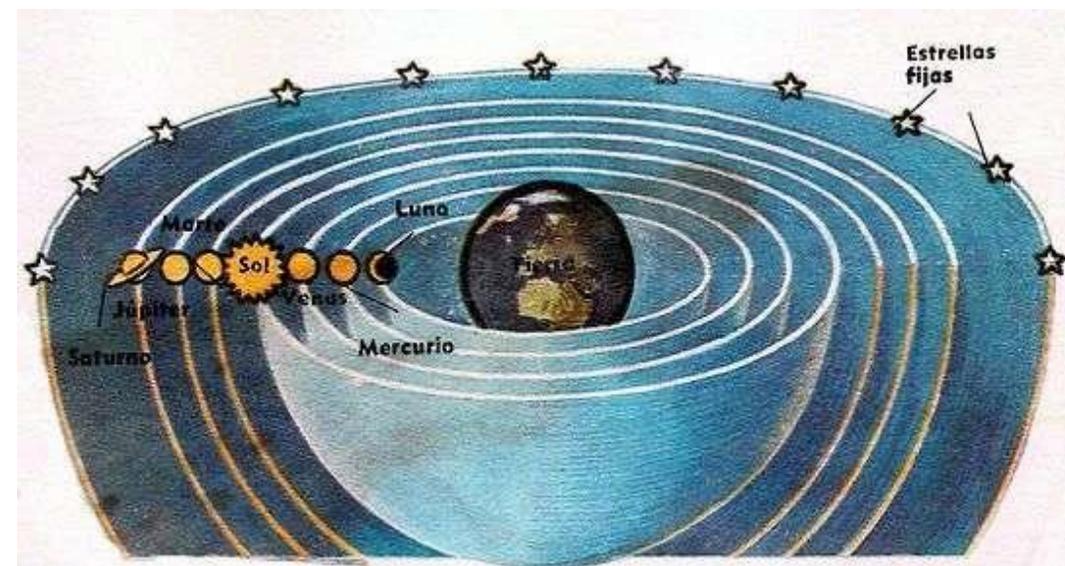
A principios del Siglo XCVII, aún pesan las ideas griegas: por ejemplo la Tierra es el centro del Universo y está estática según Aristarco (310 –230 a.C.)

Para Aristóteles, la naturaleza está compuesta de cinco elementos: Agua y Tierra que por gravedad tienden a moverse hacia el centro del Universo, Aire y Fuego que por levedad tienden a alejarse del centro del Universo, y el Éter que gira en la esfera supralunar en torno al centro del universo.

.

Con estos principios se podían explicar diferentes fenómenos en una época en que no se había enunciado la ley de gravedad, y no se conocía la medición de la densidad. Por ejemplo, podía explicarse que una piedra se hundiera en el agua y que el aire fuera desalojado por sólidos y líquidos.

Física en griego, significa naturaleza, pero no del medio ecosistémico sino de “la finalidad que tiene las cosas”. Un hueso y un perro => el perro tiende a moverse hacia el hueso, y la naturaleza del hueso es ser comido por el perro. Las balas de los cañones se mueven en escuadra y no en parábola



Sistema geocéntrico, que basaban su teoría como en la Tierra como centro del mundo. In: <https://sobrehistoria.com/>

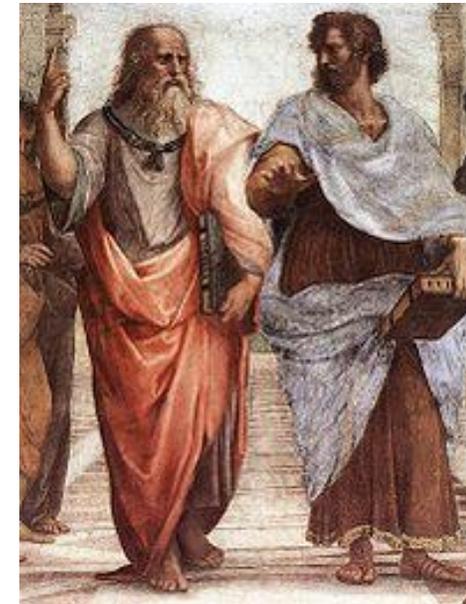
La escuela de Atenas: Platón y Aristóteles

Platón:

- La unión es accidental-
- La muerte como liberación-
- El alma es de naturaleza inmortal-
- El alma preexiste al hombre-
- El alma es del mundo de las ideas-
- El recuerdo es reminiscencia-
- Las Ideas son lo que siempre existe mientras el Universo es lo que siempre cambia-

Aristóteles:

- La unión es substancial-
- La muerte como una tragedia-
- Las almas creadas por Dios-
- El alma no preexiste-
- El mundo de las ideas no existe-
- Conocer es recordar-
- Dios es la suprema causa y el motor fundamental del Universo.

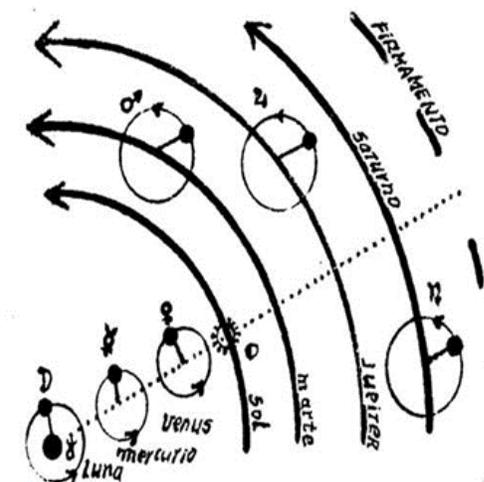


Platón y Aristóteles, por Raffaello Sanzio (detalle de *La escuela de Atenas*, 1509). De la Wikipedia.

Ptolomeo (1473- 1543)

El modelo no geocéntrico del universo propuesto por el pitagórico Filolao (hacia el año 390 a. C.) contemplaba un «fuego central» en el centro del Universo, alrededor del cual giraban la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas, con movimientos circulares uniformes.

No obstante aparece el geocentrismo, una visión del universo predominante en muchas civilizaciones antiguas, entre ellas la babilónica, cuando en el siglo II d. C. Claudio Ptolomeo (100 d. C. -170 d. C), en su obra Almagesto introduce un sistema geocéntrico de amplia aceptación, utilizando epiciclos, deferentes y ecuantes Copérnico cree que en el cielo están los planetas en torno al Sol y bajo las estrellas, y que el movimiento natural es en órbitas circulares; un movimiento circular perpetuo, continuo e infinito donde cada esfera tiene sus epiciclos.



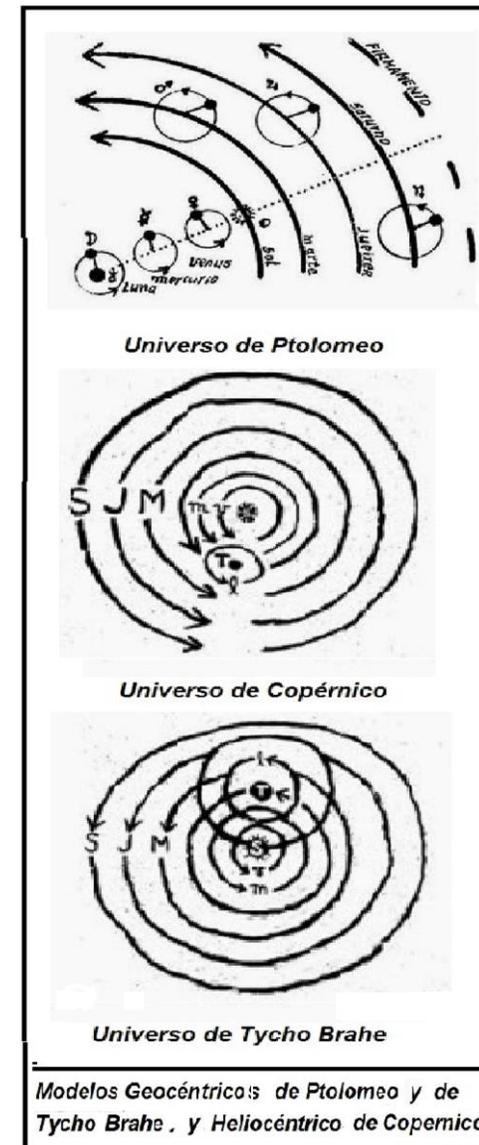
Modelo geocéntrico de Claudio Ptolomeo mostrando deferentes para los planetas exteriores con epiciclos y epiciclos para los interiores. El ecuante es el punto en torno al cual se mueve el planeta en su trayectoria, aparente; el epiciclo es la órbita circular sobre la que gira un planeta.

Copérnico (1473- 1543)

Astrónomo que propone una visión heliocéntrica más coherente, e inicia la revolución científica que da lugar al Renacimiento en Europa. Sólo a partir de 1543 cuando Nicolás Copérnico afirma que la Tierra era simplemente uno de los planetas en órbita alrededor del Sol, se enfrenta al Modelo Geocéntrico de Ptolomeo hasta entonces ampliamente aceptado.

No obstante, Copérnico no fue un observador; simplemente leyó a Aristarco de Samos (310 a. C - 230 a. C) en la Universidad de Bolonia, y se apoyó en las referencias que hizo de Aristóteles (384 a. C –322 a. C) para refutar el modelo geocéntrico.

Aristarco además de señalar en su Modelo Heliocéntrico que todos los planetas, incluida la Tierra, giran alrededor del Sol, había colocado la esfera de las estrellas más allá de la órbita terrestre, sin aportar las pruebas correspondientes.



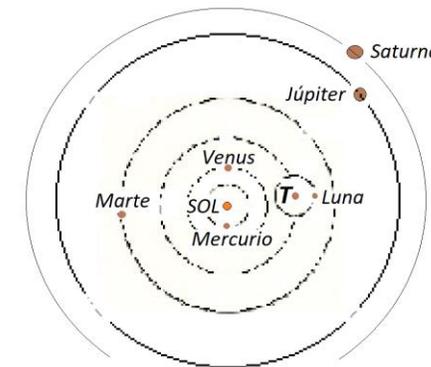
Moviendo la Tierra

No fue sino hasta el siglo XVI, durante el Renacimiento, con la publicación póstuma en 1543 del libro de Nicolás Copérnico (1473- 1543) “Las revoluciones de las esferas celestes” (De Revolutionibus Orbium Coelestium), cuando surge este modelo matemático completamente predictivo.

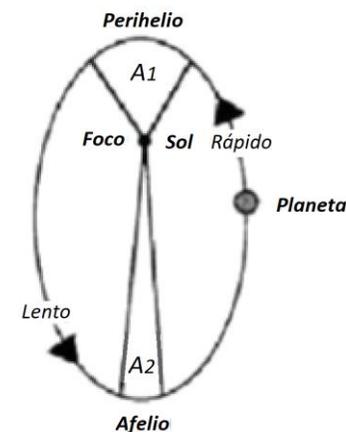
También con el modelo heliocéntrico de Aristarco (310 a. C.- 230 a. C.) se podría explicar el movimiento retrógrado, sin requerir de los 27 círculos del Modelo Geocéntrico de Ptolomeo (100 d.C -170 d.C.).

No obstante, este astrónomo polaco que “movió la Tierra”, no acepta que los planetas tengan velocidades variables en el cielo, tal cual lo señalará Kepler (1571–1630) con sus leyes.

Sabemos que, si se consideran aisladamente los modelos ptolemaicos para cada planeta, el modelo de Ptolomeo de epiciclos y deferentes es irrefutable; pero si se considera con relación al Sol y como un sistema físico aristotélico integral, la teoría resulta refutable.



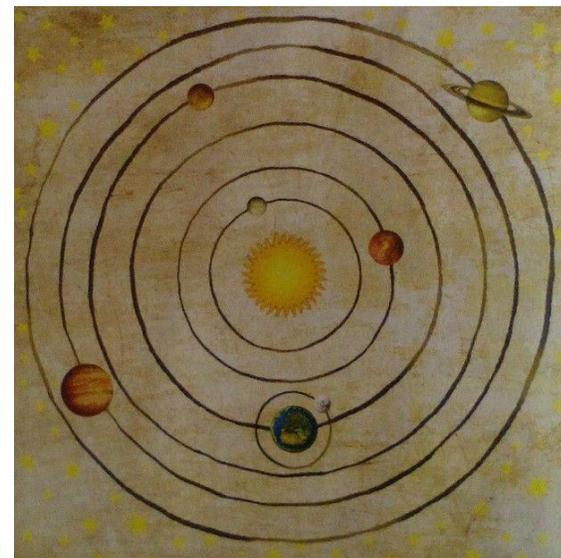
Modelo de Copérnico



Modelo de Kepler

“De revolutionibus orbium coelestium”

- Después de haber permanecido guardado por 30 años este trabajo de Copérnico, Joachim o bien el profesor de matemáticas Rethicus saca en un 50% esta obra, la que publica el cofundador del luteranismo Andreas Osiander.
- Las ideas principales de su teoría eran: 1- Los movimientos celestes son uniformes, eternos, y circulares o compuestos de diversos ciclos (epiciclos). 2- El centro del universo se encuentra cerca del Sol. 3- Orbitando alrededor del Sol, en orden se encuentran Mercurio, Venus, la Tierra, la Luna, Marte, Júpiter y Saturno. 4- Las estrellas son objetos distantes que permanecen fijos y por lo tanto no orbitan alrededor del Sol. 5- La Tierra tiene tres movimientos: rotación diaria, revolución anual, e inclinación anual de su eje. 6- El movimiento retrógrado de los planetas es explicado por el movimiento de la Tierra. 7- La distancia de la Tierra al Sol es pequeña comparada con la distancia a las estrellas.



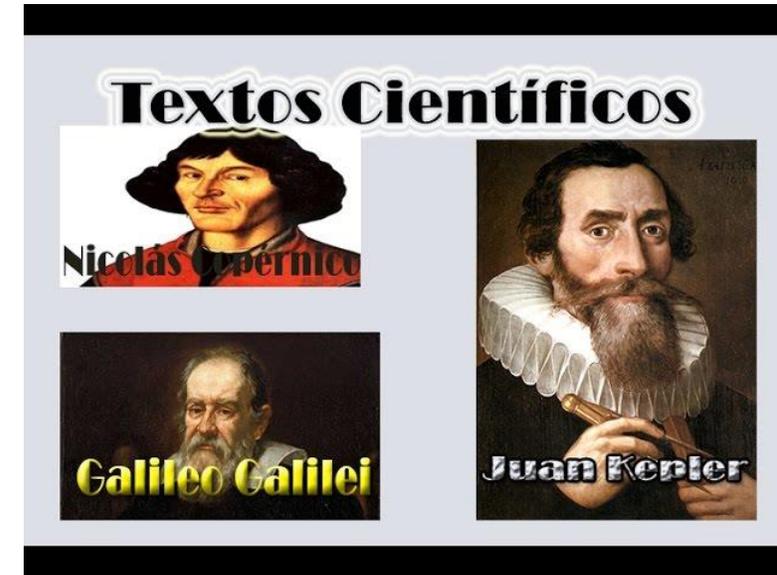
Modelo heliocéntrico que establece que el Sol es el centro del sistema solar, y no la tierra por girar con los demás planetas alrededor de él.

<https://co.pinterest.com/>

El libro de Copérnico que trata “Sobre la revolución de las esferas celestes”, no molesta al Papa; no era revolucionario, dado que solo expresaba un modelo para explicar el mundo, sin afirmar que eran hechos reales, lo que no contrariaba a la iglesia.

Johannes Kepler (1571 – 1630)

- Uno de los pocos que lee a Copérnico, es Kepler. Además de enfermizo y campesino, fue delicado, prematuro, corto de vista y tenía visión múltiple.
- A los 9 años Kepler vio un cometa, y entonces se pregunta “¿Por qué hay 6 planetas?” Buscando una respuesta a la geometría de las órbitas planetarias, en 1595 concluye: la magnitud de las mismas, debe responder a los acoplamientos que se den al acomodar entre sí los cinco sólidos perfectos.
- Seguidor de Copérnico, Kepler intentó comprender las leyes del movimiento planetario durante su vida. En un principio consideró que los planetas debían cumplir las leyes pitagóricas de la armonía de las esferas celestes.
- En su visión cosmológica no era casualidad que el número de planetas conocidos en su época, fuera uno más que el número de poliedros perfectos.
- Siendo un firme partidario del Modelo Copernicano, intentó demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, anidadas sucesivamente unas en el interior de otras.



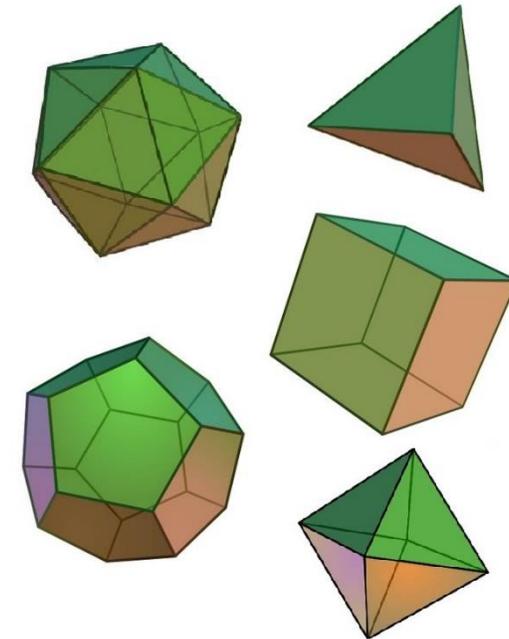
Nicolás Copérnico, Juan Kepler, Galileo Galilei, en <https://www.youtube.com/watch?v=Z1UYiCcYv0s>

Cinco sólidos perfectos

Los sólidos perfectos son: el tetraedro de triángulos, el cubo de seis cuadrados, la doble pirámide, c/u de 4 triángulos formando un sólido con ocho caras, el sólido poliédrico con 12 caras de pentágonos, y el sólido poliédrico con 20 caras de triángulos.

Para Kepler (1571–1630), en la esfera interior estaba Mercurio mientras que los otros cinco planetas, por entonces conocidos (Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno), estarían situados en el interior de los cinco sólidos platónicos, correspondientes también a los cinco elementos clásicos.

Teóricamente encajaban los 5 sólidos perfectos, y entonces, el alemán que publica su obra “Misterio Cósmico”, también quiere probar sus teorías, sometiéndolas a comprobación, como gesto de honestidad.



Los cinco sólidos platónicos
wikimedia.org

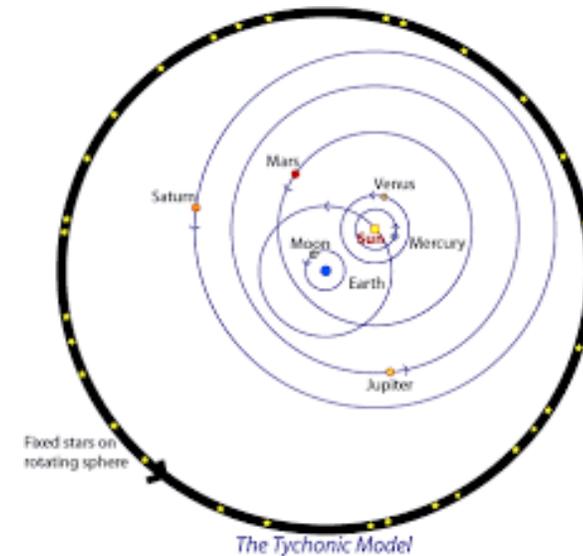
Tycho Brahe (1546 – 1601)

Tycho Brahe propuso el último Modelo Geocéntrico: la Tierra estaba en el centro del Universo, pero con los planetas girando en torno al Sol; el sistema mucho más complicado que el de Copérnico, no prosperó.

En 1598 Kepler es expulsado de Austria por ser protestante, y viaja a Praga alentado por “las medidas” astronómicas del astrónomo danés.

Tycho Brahe esperaba que el alemán con sus matemáticas, le diera valor a sus voluminosas observaciones y validara su modelo; así le entregó el caso más difícil: Marte con 7 epiciclos, para que sea Kepler el arquitecto que descubra la verdad oculta: le prometió resolver en 8 días el enigma, pero tardó 8 años.

El sistema de Tycho es una transición entre la teoría de Ptolomeo y la de Copérnico.



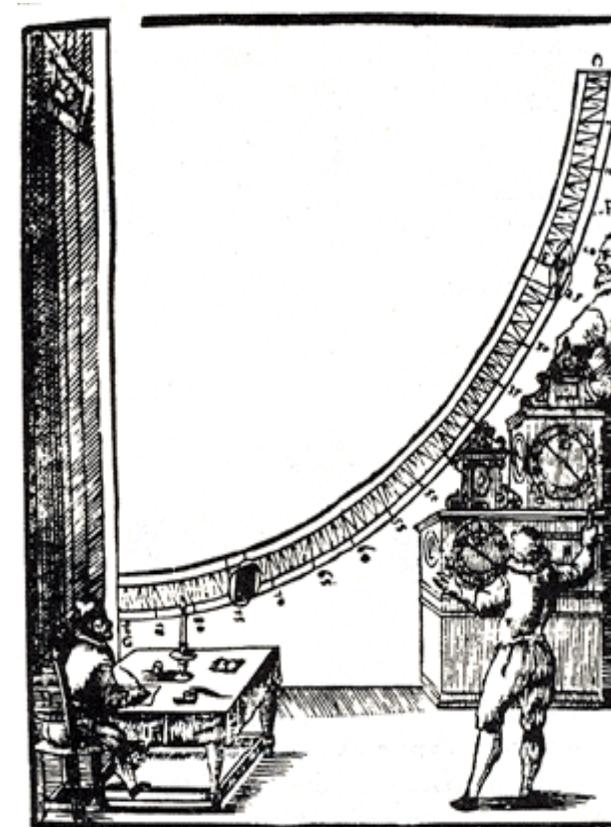
Modelo geocéntrico de Tycho Brahe.

In:

<https://enroquedeciencia.blogspot.com/>

Observaciones de utilidad

- Las observaciones de Tycho Brahe eran tan exactas que no sólo fueron reconocidas por su calidad en toda Europa, sino que también sirvieron como prueba de que el cometa del 13 de noviembre de 1577, orbitaba entre los planetas y no entre la Tierra y la Luna, contradiciendo así lo establecido.
- Desde el Siglo XIII, venían en uso las tablas astronómicas patrocinadas por Alfonso X El Sabio (1221-1284). Pero el danés Tycho, hombre con nariz de metal, al haber encontrado que las “Tablas Alfonsíes” tenían un error de un mes, y las de Copérnico errores de varios días, se dedicó a las observaciones utilizando un cuadrante de pared de gran tamaño, para obtener medidas más precisas y desarrollar dichas tablas.



QVADRANS MVRALIS TYCHONICVS

Cuadrante de pared
construido por Tycho Brahe
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.
mx/](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/)

Astrónomo del Sacro Imperio

- 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.
- Dicha supernova, aparece en la constelación de Casiopea en una época en que se creía en la inmutabilidad del cielo y en la imposibilidad de la aparición de nuevas estrellas. Inicialmente la estrella era tan brillante como Júpiter pero pronto superó la magnitud -4, siendo visible incluso de día.
- Con la supernova se advierte que el cielo cambiaba, lo que contradice a Aristóteles quien suponía que lo único cambiante era la esfera sublunar. Además, con el cometa de 1577, Brahe le asesta otro golpe a Aristóteles: “está 6 veces más allá de la Luna”.
- En 1601 a la edad de 54 años, muere Brahe, y Kepler es nombrado para sucederlo como astrónomo Oficial del Sacro Imperio de Rodolfo II, heredero de Carlomagno. Así toma control del vasto volumen de observaciones del astrónomo danés, considerado el más grande observador del cielo en el período anterior a la invención del telescopio.



Ticho Brahe observa la súper nova de 1572, en Casiopea. Grabado del libro *Astronomie Populaire* de Camille Flammarion (1872).

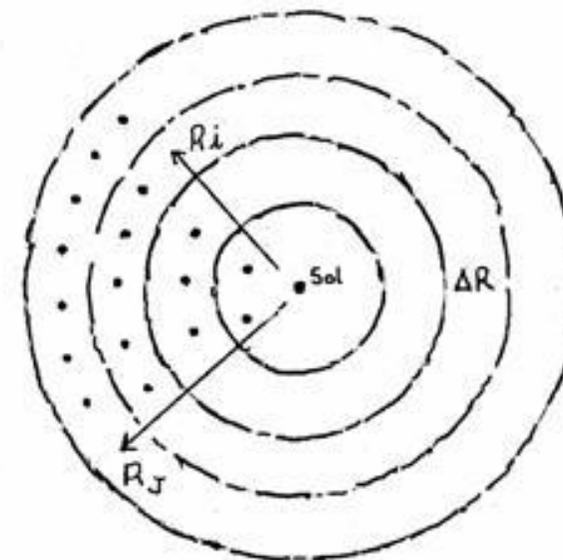
Kepler funda la óptica moderna

Kepler (1571–1630), también hace contribuciones a la Óptica y a la teoría de la luz. Probablemente sus problemas de visión contribuyen a encontrar respuestas sobre: “Cómo trabajan el ojo Humano, la cámara oscura y la lente refractora”

En 1604 publica “Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur”, un tratado donde formula la Ley de la “relación inversa entre intensidad de la luz y el cuadrado de la distancia”.

También, en su manuscrito “Astronomiae Pars Optica” (1604), Kepler se ocupa de la reflexión por espejos curvos y planos, del paralaje y de los tamaños aparentes de los cuerpos celestes.

Su trabajo como astrónomo le llevó también a inventar en 1611, el llamado telescopio refractante o kepleriano, considerado una mejora del diseño de Galileo. Sus estudios estuvieron motivados porque durante los eclipses lunares y solares aparecían tamaños de sombras inesperados, o fenómenos de enrojecimiento relacionados con la refracción de la atmósfera.



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

En su libro “Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur” (1604), Kepler argumentó que la difusión de la luz obedece a ley del cuadrado inverso de la distancia.

“Astronomía Nova”

- Kepler navega con Marte: 900 páginas de errores que se anulan, explicaciones erróneas y callejones sin salida, en lo que se denominaría la “Geometría abstracta de los cielos”.
- Se considera que el cambio doctrinal de la Astronomía Clásica, fue provocado por la obra de Kepler “Astronomía Nova” publicada en Praga en 1609, en la que aparecen los resultados de sus investigaciones realizadas durante más de cinco años sobre el movimiento planetario, y en particular sobre el movimiento aparente de Marte. En especial, las dos leyes del planeta Marte, que suponen el rechazo de la circularidad y la uniformidad como criterios básicos de la teoría astronómica.
- También se trata del marco teórico más amplio al saber, con una física de los cielos que supone un enfoque de máquina y un sol magnético. Todo ello implica un primer momento en la Revolución Astronómica.
- Con la obra de J. Neper (1560 – 1617), aparecen los logaritmos permitiendo con ellos que los cálculos astronómicos se simplifiquen: no más multiplicaciones y divisiones; solo bastará sumar y restar exponentes.

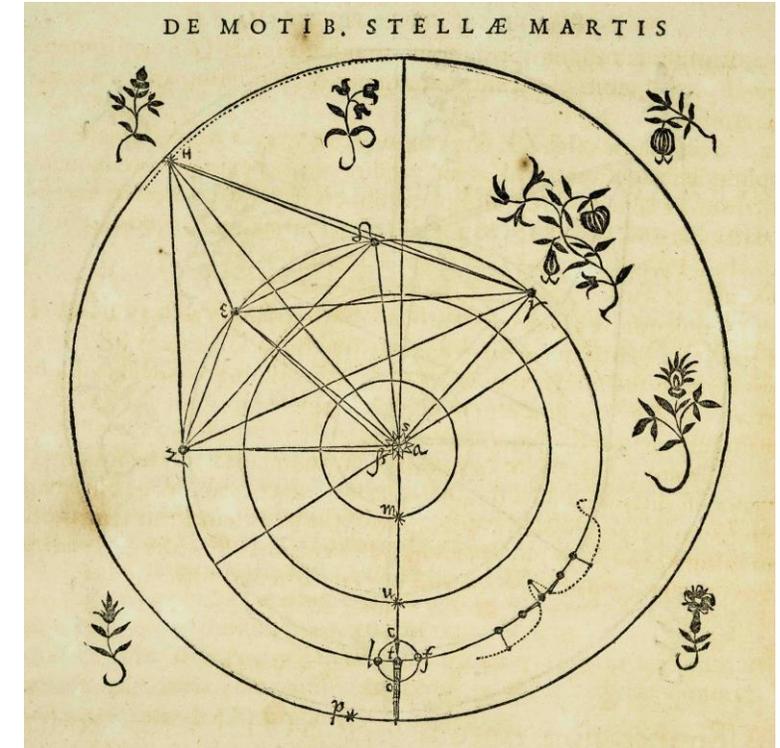
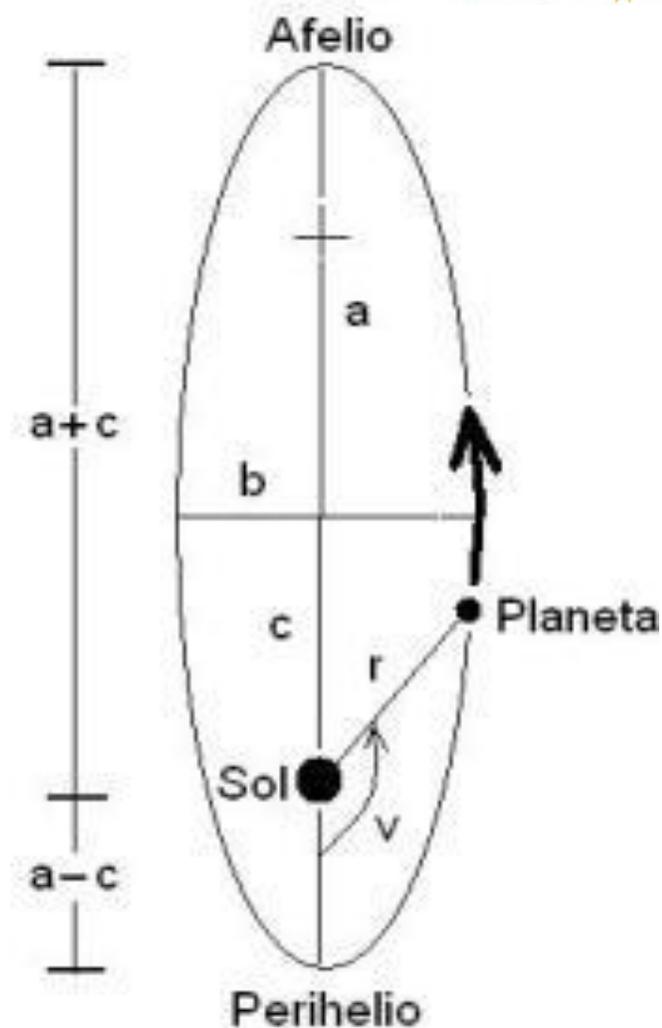


Imagen de “Astronomía Nova” de Johannes Kepler (1609, Heidelberg o Praga; primera edición). Imagen: Universidad de Dayton, In: <https://ecommons.udayton.edu/>

La primera ley de Kepler

- El monumental trabajo de Kepler (1571–1630) , supone tres etapas: en la Primera, cuestiona la forma circular de la órbita; en la Segunda, trata de la velocidad planetaria y la exigencia de la uniformidad; y en la tercera, de nuevo el problema de la forma de la órbita, mostrando una aparente correspondencia entre los hechos y la "forma oval".
- A los 8 años concluye con Marte, y entonces encuentra que “su órbita no es circular sino elíptica: es la 1ª Ley que ubica al Sol en uno de los focos de la elipse. Así, la órbita no se configura con 7 epiciclos, sino que es una sola curva. Además, “Kepler modifica la norma aristotélica del Universo, y “cae el círculo perfecto” y algo de la perfección prevista para los cielos.
- Gracias a las medidas de Brahe, y en particular las del movimiento retrógrado de Marte, el astrónomo polaco logró formular las tres leyes que rigen el movimiento de los planetas. Dichas leyes servirán de base a la ley de la gravitación universal de Isaac Newton.



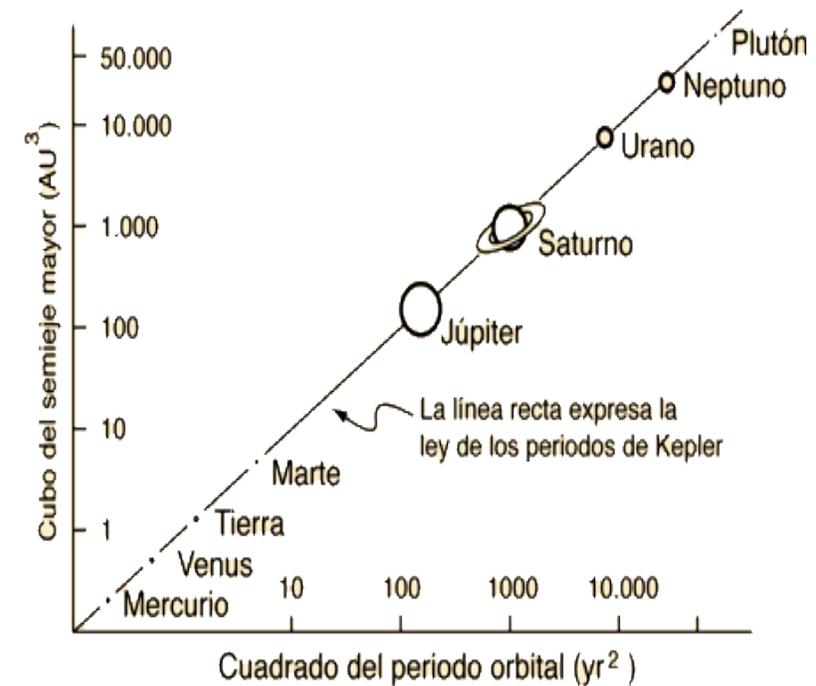
La tercera ley de Kepler

- La Tercera Ley, también conocida como **Ley armónica o de los periodos**, relaciona los radios medios “r”, con los periodos “P” de los planetas, o tiempos que tardan en completar una vuelta alrededor del Sol.
- Por lo tanto, para un planeta dado, el cuadrado de su periodo orbital es proporcional al cubo de su distancia media al Sol. Esto es, si **k** es la constante de proporcionalidad, entonces:

$$T^2 = k \cdot r^3$$

- Pero dadas **las propiedades de la elipse**, se cumple que el valor de la distancia media “r” coincide con el del semieje mayor de la elipse, “a”.
- Si en la obra “La armonía de los mundos”, comparó los atributos de los 5 planetas conocidos, buscando las relaciones armónicas entre ellos, en 1619 publica **La 3ª Ley**, que relaciona los cuadrados de los periodos (P) con los cubos de los semiejes mayores de las órbitas planetarias (a).

$$\frac{P}{P} = \left(\frac{a}{a} \right)^{\frac{2}{3}}$$



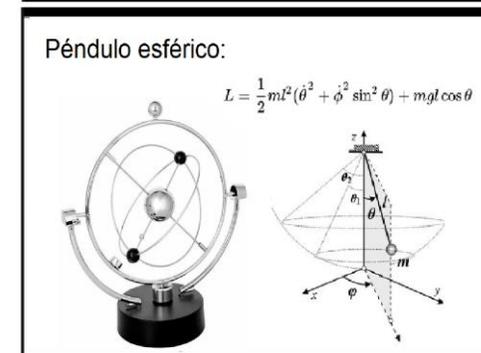
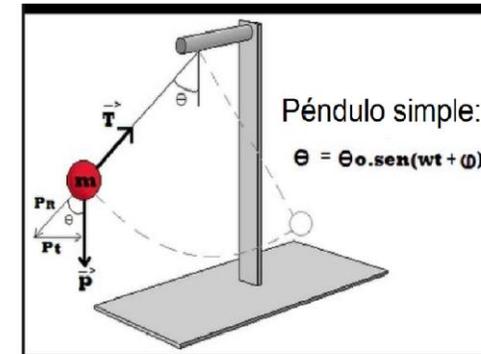
La 3ª Ley, de los períodos. In: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>

La ciencia ficción

- Johannes Kepler (1571–1630) inventa la ciencia ficción con un cuento del viaje a la Luna, describiendo desde el satélite, el movimiento de la Tierra, con lo cual plantea de forma indirecta la velocidad de escape y la ingravidez a mitad de camino, a partir de las leyes de la física de entonces.
- En 1608, un año antes de publicar su célebre “Astronomía Nova”, Kepler concluye la primera versión de una novela corta: “Somnium sive Astronomia lunaris” (El sueño o Astronomía de la Luna), donde se narra un viaje onírico a la Luna, durante un eclipse solar. El mundo onírico es el de los sueños.
- Se trata de una obra de ficción que solo se publicará en 1634 cuatro años después de su muerte. Tres siglos después, Isaac Asimov y Carl Sagan la señalaron como la primera novela de ciencia ficción de la historia.
- El Sueño o Astronomía de la Luna escrito en latín de Johannes Kepler, comenzó como un ensayo, acerca de cómo apreciaría los movimientos planetarios y estelares, por un observador ubicado en la Luna.
- Muere Kepler en 1630 de 49 años, después de viajar a pie para cobrar los salarios no pagados; no podía viajar a caballo por sufrir de hemorroides.

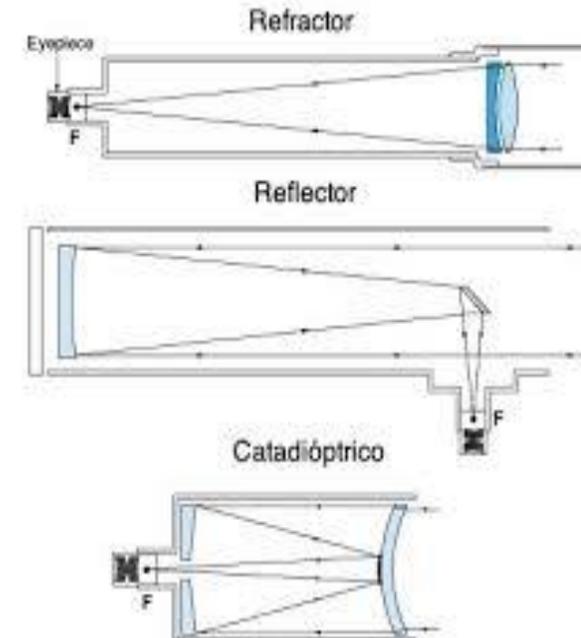
Galileo Galilei (1564-1642)

- Galileo a los 17 años durante la misa, descubre las leyes del péndulo simple, donde el período no solo es independiente de la amplitud, sino que depende de su longitud y no de su masa.
- Se puede decir que el péndulo simple comprueba la translación de la tierra, ya que su plano de oscilación se mantiene invariable en la misma dirección, comprobando el giro de la Tierra. 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 tiempos en la caída de esferas de peso diferente, 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.



El telescopio refractor

- Galileo (1564-1642), aplicando la idea del invento holandés construyó un telescopio refractor (lentes), y en 1609, fue el primero en aplicarlo para la astronomía.
- Con este instrumento, descubre cráteres y montañas en la Luna, manchas solares, y cuatro satélites en Júpiter; y a partir de esto empieza a combatir la Cosmología Aristotélica basada en la perfección de los cielos y la preeminencia del geocentrismo.
- En la Luna, Galileo observó lo que consideró montañas y cráteres, como pruebas de que el satélite natural era un cuerpo rocoso y lleno de irregularidades al igual que nuestro planeta, y no una esfera de éter.
- Gracias a ese aparato, vio que el Sol, considerado hasta entonces símbolo de perfección, tenía manchas. Galileo realizó observaciones solares directas, aprovechando las nubes, o en amaneceres y atardeceres, práctica que le dejó ciego al final de su vida.



Tipos de telescopios aunque los básicos son los refractores y reflectores, los catadióptricos que combinan lentes y espejos, son más prácticos dado su menor peso y tamaño para una mayor potencia. Imagen en: <https://noticierouniversal.com>

Galileo sorprende a todos

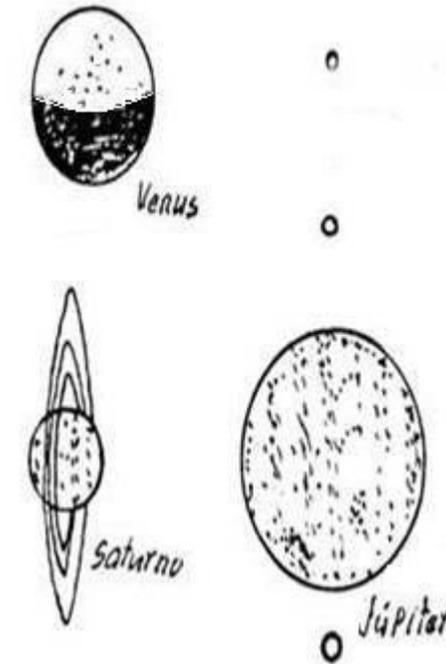
En 1610 publica “El mensajero de las Estrellas”, un sobrio, breve, e ingenioso trabajo de observación metódica, que contiene una vívida descripción de unas pocas observaciones astronómicas hechas con un telescopio de apenas 20 aumentos:

- 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 radical 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 sus Principia.



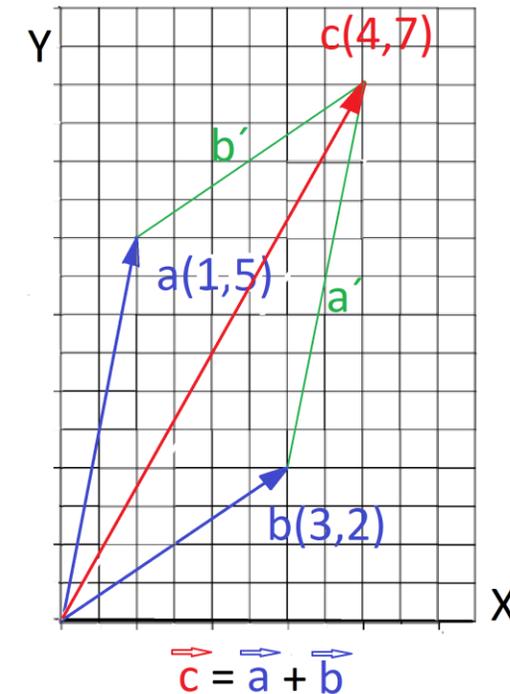
Tamaño aparente de tres planetas visto con un mismo telescopio

En manos del inquisidor

- La defensa pública del copernicanismo desató la furia de acérrimos defensores de la tradición, quienes se unieron desde un principio al frente teológico. En aquellos momentos, en los que la Teoría Copernicana era contraria a la Contrarreforma, dicha postura era herética.
- Sus primeros enemigos son los Jesuitas; y como no pudo demostrar que la Tierra giraba en torno al Sol, desafió a la Iglesia a que demostrara lo contrario.
- Pero el problema del heliocentrismo era que iba en contra de algo mucho más importante: la cosmología y la metafísica aristotélico-cristiana.
- Se le prohíbe a Galileo (1564-1642) enseñar la teoría de Copérnico y se le asigna el caso al cardenal Bellarmino, inquisidor del humanista Jordano Bruno (1548-1600).
- Urbano VIII, nuevo Papa, invita a Galileo a escribir “El sistema del mundo en 4 diálogos”; pero Galileo traiciona la intención del Papa, y entra a la inquisición el 12 de abril de 1633; allí lo condenan por apostarle a las nuevas ideas y sus consecuencias. Luego de 381 años de ser condenado a prisión perpetua por hereje. El 31 de octubre de 1992, Galileo Galilei fue finalmente absuelto por la Iglesia.

René Descartes (1596-1650)

- Descartes simplificó la notación algebraica, y creó la Geometría Analítica y el sistema de Coordenadas Cartesianas, lo que abre el camino para el Cálculo Diferencial e Integral, a Newton y Leibniz. Además inventó la Regla del Paralelogramo para la suma de vectores.
- Le Geometría Analítica inventada por Descartes y Pierre Fermat, a principios del siglo XVII, se ocupa del estudio de ciertas las funciones geométricas aplicando técnicas matemáticas y algebraicas en un sistema de coordenadas.
- El sistema propuesto en la química, desplaza al aristotélico. Además, Descartes sentó los principios del Determinismo Físico y Biológico al proporcionar una explicación unificada de fenómenos magnéticos, ópticos, astronómicos y fisiológicos.
- Para René Descartes la naturaleza es una maquinaria donde todo está engranado: se trata de materia sometida a fuerzas, que responden a modelos mecánicos. Para él, los animales y las plantas no tienen alma.



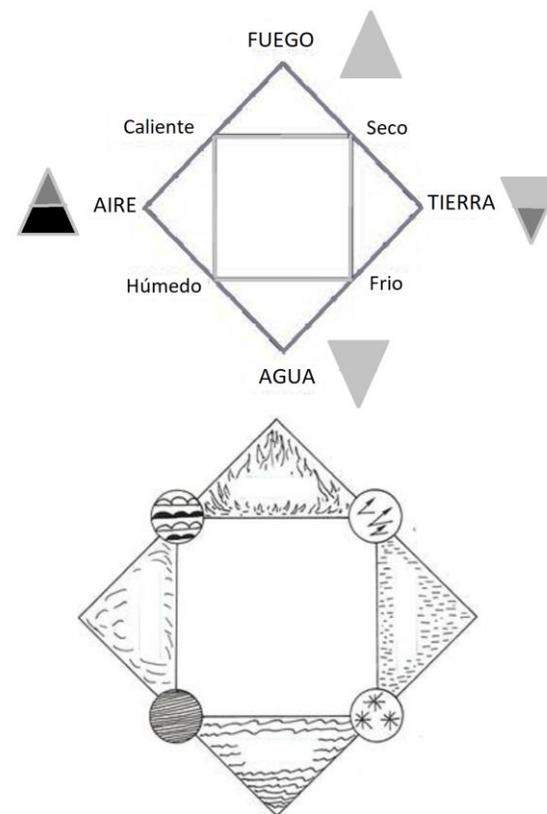
Suma de Vectores por la Ley del Paralelogramo

Aristóteles (384 a. C- 322 a.C.)

- Aristóteles propone aprender de la naturaleza. En oposición a los seres artificiales, los naturales se caracterizan entre sí, por poseer en sí mismos un principio de reposo y movimiento.
- La filosofía aristotélica define la ciencia como un conocimiento seguro y evidente, obtenido a partir de demostraciones. Aristóteles es 45 años más joven que su maestro Platón, y para los aristotélicos, era mejor la calidad que la cantidad.
- 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 luego, más allá del conjunto de la Tierra y 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.

Los cómo y los por qué

- Aristóteles: ¿por qué se mueve un cuerpo? Lo hace porque busca su lugar propio, dependiendo de su mayor o menor balance de gravedad y levedad. Entre los cuatro elementos, resultado de integrar las cuatro propiedades de la materia (frío, caliente, húmedo y seco), la tierra presenta máxima gravedad y el elemento fuego, máxima levedad.
- Galileo: ¿cómo se mueve? Su desplazamiento depende de una velocidad media, en un tiempo dado:
- Descartes: ¿por qué se detiene? Esto es un asunto nuevo, puesto que en la Tierra debería seguir en línea recta, a diferencia de la trayectoria circular propia del movimiento de los astros en los cielos.
- Entonces, se pregunta Newton: si la luz es presión, ¿por qué, no podemos ver de noche? Y como Descartes no aceptaba fuerzas a distancia y supone la existencia de algo ocupando el espacio para transferir la fuerza de la gravedad, Newton también pregunta ¿por qué ésta no se puede hacer reflejar como la luz?



Los cuatro elementos aristotélicos y las propiedades de la materia.

Las leyes de Descartes

- Dice que los cuerpos tienden a persistir en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme. Pero en los cielos, las trayectorias son circulares. Para Descartes, la luz es la presión que ejerce la materia celestial sobre los planetas, y la gravedad es un reflejo al impulso centrífugo de la materia celeste.
- La primera ley señalar que cada elemento de materia individual permanece siempre en el mismo estado. La segunda ley establece que cuando un cuerpo entra en contacto con otro, le transmite una cantidad de movimiento igual a la que pierde. La tercera ley sostiene que cuando un cuerpo se mueve cada parte tiende a conservar el suyo en línea recta. La primera y tercera son leyes inerciales de la velocidad y la dirección del movimiento, respectivamente. Señala Descartes, que dada la distinta velocidad y resistencia de los cielos, se explican la ubicación y los movimientos de rotación y traslación de los planetas.
- Una de las objeciones fuertes que planteaba el movimiento de la Tierra, era dar cuenta de la permanencia de los objetos contenidos sobre su superficie.
- A diferencia de los planetas, los cometas constituidos también por las partículas del tercer elemento, pero más masivas y veloces, poseen una fuerza de movimiento que no puede ser contrarrestada por la fuerza de los cielos, pudiendo separarse de sus órbitas para atravesar cielo tras cielo.

Éter y “fuerza a distancia”

- Para Aristóteles el Éter es el elemento material en el Mundo Supralunar, y en el Mundo Sublunar lo son sus cuatro elementos: Tierra, Agua, Aire y Fuego.
- 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.
- La filosofía mecánica cartesiana no aceptaba el concepto de “fuerza a distancia” que propondrá Newton, para quien el Plenum de Descartes, no aparece friccionando el péndulo con efecto medible: puesto que para probarlo ha sumergido péndulos en agua, aceite y mercurio, dejado caer bolsas de agua o mercurio desde la Cátedra de St. Paul (H=73 metros), y los resultados son demoledores para Descartes.

Teorías sobre la luz de Descartes y de Newton

- En 1665 se publicó el libro sobre microscopía gráfica de Robert Hooke (1635-1703), uno de los científicos experimentales más importantes en la historia de la ciencia, explicando la Teoría de la Luz de Descartes.
- Advierte Newton que, desde Aristóteles hasta Descartes, no han comprendido la luz. Refuta que el color sea el resultado de combinar la luz y la oscuridad; el nuevo texto suponía, por ejemplo que el rojo resulta de la luz pura más algo de oscuro: de blanco y negro.
- Para descomponer la luz, Descartes utilizó un prisma mal pulido y una distancia de solamente 6 cm para observar el espectro; Robert Hooke utilizó una jarra con agua y una distancia de 60 cm para observar el espectro. Pero Newton fue más lejos: mejoró la calidad de cada prisma y extendió la distancia a 7 m, pudiendo descomponer la luz efectivamente. Encontró que los colores no son mezcla simples: son una mezcla de seis colores básicos, y argumenta que la luz pueda estar compuesta por partículas.



Imagen: Newton y sus prismas;
<https://kids.britannica.com>

Descartes no convence a Newton

- La Teoría de la Gravitación Universal de Newton no fue prontamente aceptada después de su publicación en 1686. Sus primeros detractores no aceptaban una fuerza, actuando a distancia y sobre las substancias celestiales como si fuera materia común.
- Contra un Espacio lleno de Éter, Newton considera un Espacio vacío a modo de contenedor. **El Plenum** de Descartes (1596-1650) 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; y el **Vórtice** de Descartes es lo que excluye del movimiento rectilíneo a los planetas. **El Plenum** es lo que hace que los planetas no tengan trayectoria rectilínea, sino circular y en torno a su respectivo **Vórtice**, que ocupa el Sol.
- Con el Universo corpuscular newtoniano, se completa la revolución copernicana: el nuevo universo deja resueltos los problemas surgidos de la innovación astronómica de Copérnico,
- Si la visión copernicana ofrecerá por primera vez un modelo aceptable desde el punto de vista físico y cosmológico, el universo newtoniano irá más allá; propondrá algo mucho más importante, al ofrecer una nueva forma de observar la naturaleza, con una perspectiva científica y cosmológica diferente, lo que enriquecerá el conocimiento durante los siglos XVIII y XIX, incluyendo la filosofía.

El Reflector de Newton

- En el Siglo XVI los telescopios eran de lentes y las longitudes máximas llegaron hasta los 60 m. Newton, que para eliminar la aberración de las lentes corrigiendo sus curvaturas, ve que no se puede hacer nada, intenta con la reflexión de la luz mediante espejos cuervos para resolver el problema.
- El primer reflector de Newton completado en 1668 y es el primer telescopio funcional conocido.



El refractor de Newton (1671), en www.vitantica.net/

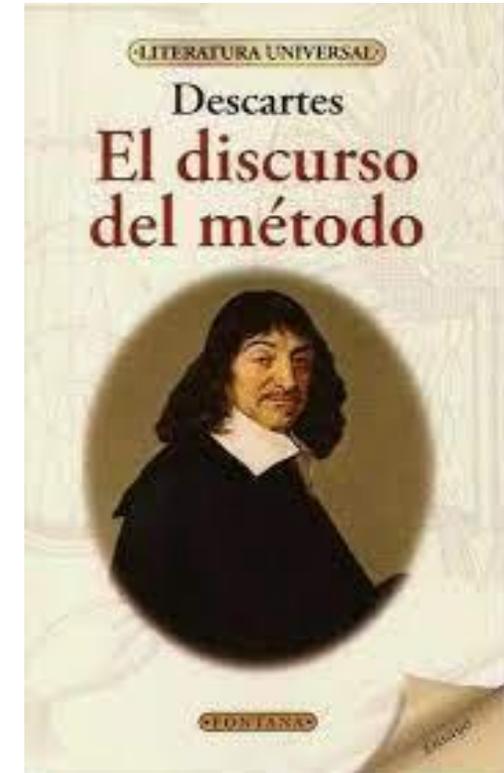
Así desarrolla el telescopio de espejo, instrumento con mayores ventajas que el refractor o de lente, por estar libre de la aberración cromática, requerir menor longitud, y ser mas estable al permitir la suspensión del espejo por la superficie posterior, y no sobre el perímetro como en el caso de los refractores.

Los newtonianos, y otros diseños de reflectores que usan espejos parabólicos, sufren el coma, que es una distorsión de las fuentes puntuales fuera de eje.

También tienen una obstrucción central debida al segundo espejo que desvía la luz hacia el ocular.

Cartesianismo VS Newtonismo

- La doctrina cartesiana de los Vórtices donde se alude a la materia sutil que llena todo el espacio acarreado en su movimiento a los planetas, explica el por que los planetas orbitan en la misma dirección, pero no órbitas de cometas que giran en sentido opuesto y en planos muy inclinados con respecto a la eclíptica.
- Para Newton con el Eter sutil de Descartes el movimiento de los cuerpos celestes se ría frenando; y la causa de su trayectoria entorno al Sol, se debe a que su masa es muy grande comparada con la de los planetas, y no a la teoría del Vórtice, dado que lo mismo ocurre con los satélites (planetas secundarios) en los sistemas planetarios, todo gracias a una fuerza que también explica la regularidad de las mareas y las irregularidades en el movimiento orbital de la Luna causadas por la atracción del Sol, entre otros fenómenos.
- Mientras en Londres, el mundo se veía por la lupa Newtoniana, en París lo veían por la cartesiana. Según Descartes, el ser humano es un compuesto de sustancia pensante y sustancia extensa. La separación de sustancias que hizo René Descartes eran las denominadas "cuerpo" y "alma". Influencias del racionalismo cartesiano se encuentran en varios pensadores que elaboraron algún sistema propio, como Spinoza, Leibniz, Kant, en gran parte en el idealismo posterior que culmina en Hegel, en el empirismo de Locke, etc.



El discurso del método. Por René Descartes, in: <https://www.kobo.com/>

La geometría analítica

- Si bien Eratóstenes (272 a. C.-192 a. C.), fue el primero en crear un planisferio con un sistema de coordenadas, Hiparco fue quien propuso la división de la Tierra en paralelos y meridianos, y quien estableció el año solar de 365 días. Hiparco de Nicea (190 a. C.- 120 a. C.) astrónomo, geógrafo y matemático griego, que creó el primer catálogo de estrellas clasificadas por brillo, propuso la división del día en 24 horas, descubrió la precesión de los equinoccios, hizo la distinción entre año sidéreo y año trópico, y logró medir con mayor precisión la distancia Tierra-Luna y la oblicuidad de la eclíptica.



Mapamundi hecho por Johannes Kepler.
Fuente: <https://es.wikipedia.org/>

Aunque la historia de la trigonometría se remonta a Babilonia y Egipto cuando se estableció la medida de ángulos en grados, minutos y segundos, en el siglo II a. C. Hiparco de Nicea construye una tabla de cuerdas para resolver triángulos.

La denominación de 'cartesiano' se introdujo en honor de René Descartes (1596-1650), por haber sido quien utilizó el sistema de coordenadas por primera vez de manera formal. Al haber ideado dicho sistema, pudo aplicar el método al estudio de la luz, la temperatura y el peso, y al movimiento.

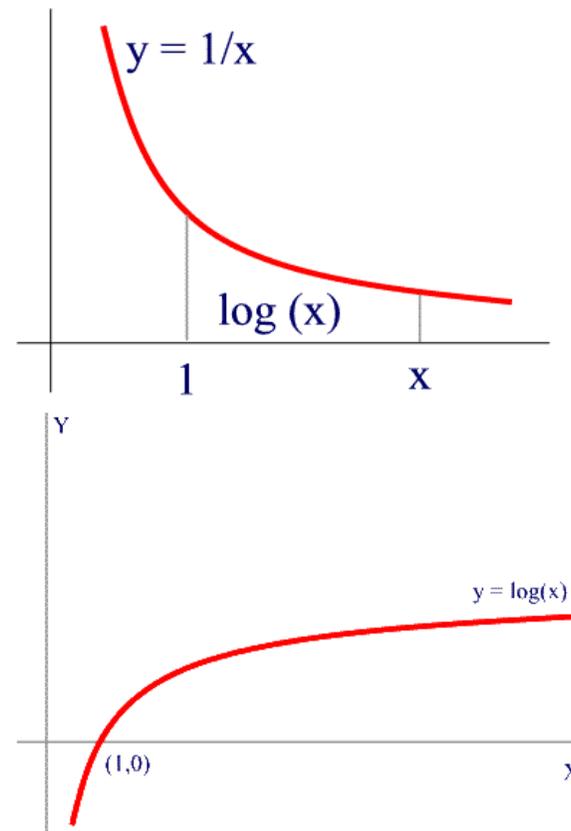
Descartes fusiona geometría y álgebra creando a la geometría analítica. Lo novedoso es que esta herramienta permite representar figuras geométricas mediante funciones o del tipo $f(x,y) = 0$.

Logaritmos y curvas

- Newton aplica el triángulo de Blaise Pascal (1623-1662) a su binomio, logrando calcular binomios con exponentes fraccionarios (series). El teorema del binomio legitima el sentido útil del infinito, al abrir el campo para el cálculo infinitesimal.
- Basta un año transcurrido desde que Newton entró a la geometría, para que asimile todas las matemáticas existentes en la época.

$$(a + b)^n = \sum_{h=0}^{h=n} \binom{n}{h} a^{n-h} b^h$$

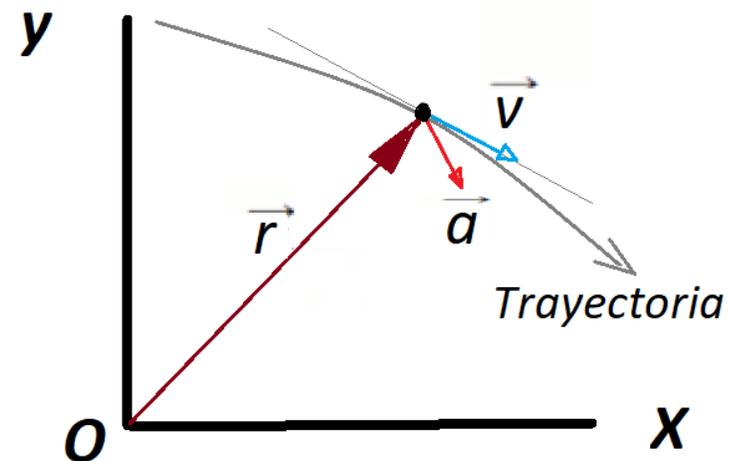
- El Escocés John Neper (1550 - 1617) mostró gráficamente la curva que relacionaba números naturales y logaritmos. Entretanto las cónicas que se sabían construir gráficamente, hasta entonces no se manejaban analíticamente. El logaritmo en base “a” de un número “n”, es otro número “b”, tal que cumple esta ecuación: $a^b = n$.



Funciones $Y=1/x$ y de $Y= \text{Log } X$, en: <https://www.salonhogar.net/>

Cálculos basados en pendientes

- Las áreas de Arquímedes de Siracusa, Nicolás de Oresme, Johannes Kepler, Galileo Galilei y René Descartes, se miden sumando infinitesimales; las de Newton se calculan de modo exacto evaluando primero el cambio momentáneo del área.
- Con el cálculo infinitesimal, Newton entra a la curvatura difícil de la lente, de los espejos, de la distorsión atmosférica, de las órbitas planetarias y del movimiento lunar para los navegantes.



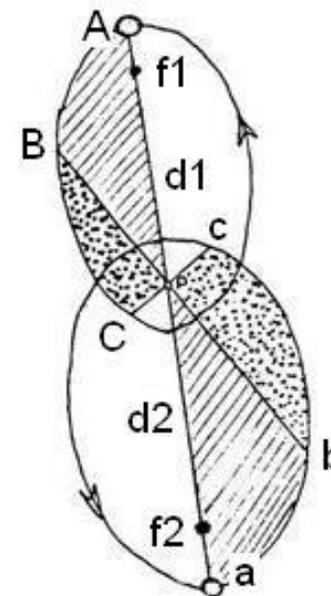
	Forma Derivada	Forma Integral
Posición	$r(t)$	$r(t) = r_0 + \int_0^t v dt'$
Velocidad	$v(t) = \frac{dr}{dt}$	$v(t) = v_0 + \int_0^t a dt'$
Aceleración	$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$	$a(t)$

Comprobando a Kepler

- Newton demuestra la forma general de la Segunda Ley de Kepler (o de las áreas) en su proposición número 1. Analiza el comportamiento de un cuerpo cuya trayectoria es elíptica; es decir, la primera ley de Kepler, y en la proposición número 11 descubre que la fuerza centrípeta para una trayectoria elíptica es:

$$F = mv^2/r = mr\omega^2$$

- La fuerza centrípeta siempre actúa en forma perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo sobre el cual se aplica. Mientras la fuerza centrífuga es una fuerza de acción, la fuerza centrípeta es de reacción, va en sentido contrario dirigida hacia el centro de rotación, y es de igual módulo.
- Descubre y mide los periodos de las 4 Lunas Galileanas de Júpiter, encontrando que satisfacen la Tercera Ley de Kepler. La imagen inferior muestra la formula general de dicha ley, en la cual "a" es el semieje mayor de la órbita, "p" el período del planeta, "M" y "m" las masas del Sol y el Planeta, y "G" la Constante de Gravitación Universal.



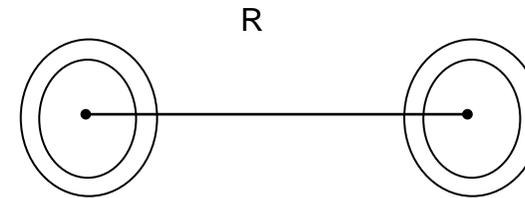
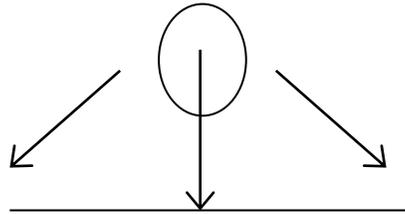
$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}$$

$$\frac{a^3}{p^2 (M+m)} = \frac{G}{4\pi^2}$$

Atracción gravitacional

- Sir Isaac Newton ya licenciado, durante su retiro a una granja de Woolsthorpe en los años 1665-1666, elaboró la base de la ley de gravitación universal, basado en las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas y en los estudios de Galileo.



- Dicha ley establece que los cuerpos, por el simple hecho de tener masa, experimentan una fuerza de atracción hacia otros cuerpos con masa, denominada fuerza gravitatoria o fuerza gravitacional. Si la manzana es atraída por la tierra lo es en varias direcciones, pero la Luna lo es en una sola dirección, por estar lejana.
- Dos esferas huecas: la atracción es una fuerza que depende de la separación “de sus centros de masa”.

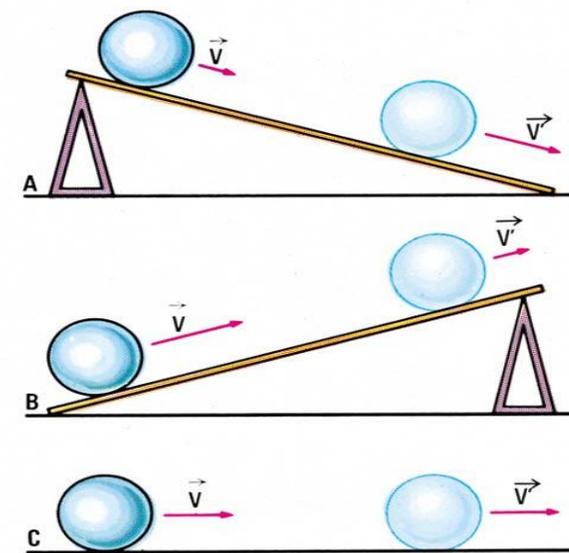
Las tres leyes de Newton

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”.



La inercia, es la tendencia de un cuerpo a resistir un cambio en su movimiento. Imagen en: <http://reyna-patricia-fisica1.blogspot.com/>

Para su obra, toma las mejores partes:

De Copérnico: le dice sí al heliocéntrico y no a los epiciclos y a las órbitas circulares.

De Kepler: le dice sí a las tres leyes y a las mareas, y no al barrido del Sol a su alrededor.

De Galileo: le dice sí a la caída libre y al movimiento parabólico, y no a la inercia circular y a mareas asociadas a la rotación de la Tierra.

De Descartes: le dice sí a inercia rectilínea, y no al Vórtice, al Plenum llenándolo todo que niega la idea de vacío, y a la idea de la materia celestial y de escoria; también le dice no a la teoría de las mareas causadas por la presión del Vórtice solar.

El Universo de Einstein

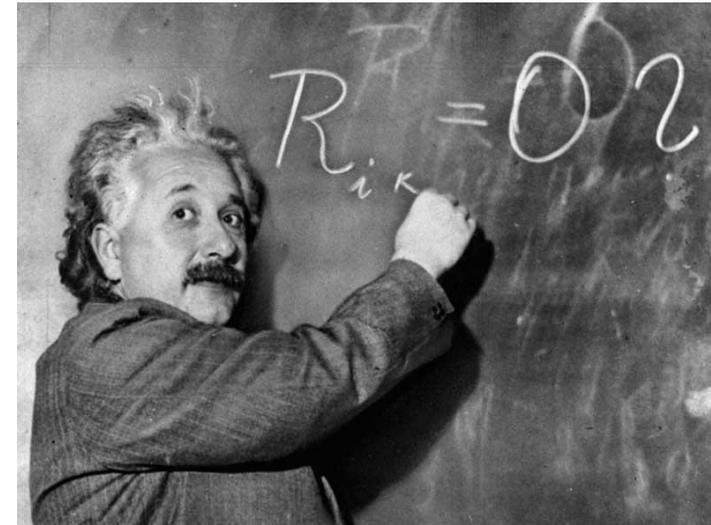
Para Newton el Universo permanece infinito e inmutable, y por lo tanto es eterno; en ese Universo, **espacio y tiempo continúan desacoplados**.

Además éste no requiere de un origen en el tiempo, aunque podría tenerlo, y en él no se puede señalar un centro en torno al cual esté colapsando.

Albert Einstein (1879-1955) con su teoría de la Relatividad considera **un espacio que se contrae y un tiempo que se dilata** cuando la velocidad aumenta; y los efectos de la gravedad sobre un espacio euclidiano, isótropo y homogéneo: la presencia de la masa como propiedad de la materia que causa la atracción gravitatoria: “curva el espacio”.

Einstein continuó creyendo en **un Universo estático e inmutable**, aunque la relatividad general deja en firme las bases para los nuevos modelos cosmológicos.

Ver: [*Dia mundial del medio ambiente: El Universo*](#)

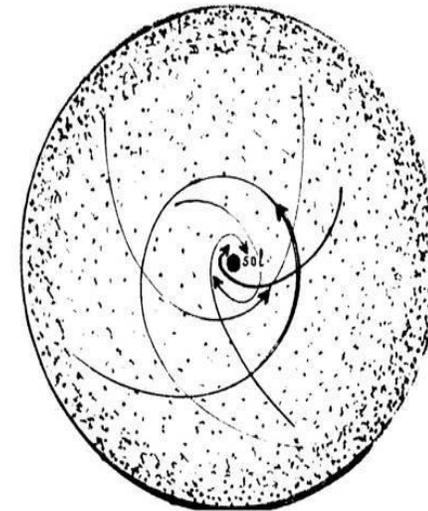


Albert Einstein, en
<http://stringers.es>

Modelos dinámicos del Universo

- Einstein creía en un **Universo estacionario**, y para lograrlo había incluido en sus ecuaciones una “constante cosmológica” que contrarrestaba la expansión para obtener con ella un Universo estable.
- El Ingles Willem De Sitter plantea en 1917 una expansión en la cual **la curvatura** del Universo en el tiempo se va reduciendo.
- El nuevo Universo dinámico puede tomar una de dos alternativas posibles:
 - 1: Un **Universo cerrado**
 - 2: Un **Universo abierto**.
- Todo dependerá de si el Universo cuenta con la cantidad de materia requerida para controlar su actual expansión. De ser cerrado, se contraería.

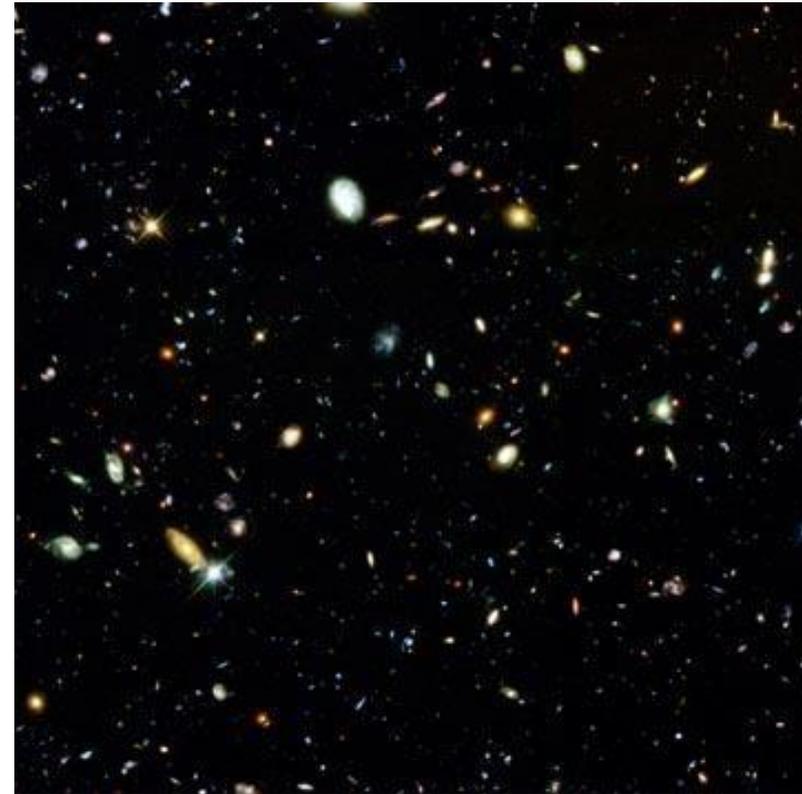
Ver: [Dia mundial del medio ambiente: El Universo](#)



Los cometas con su trayectoria, expresan la métrica del espacio-tiempo. Los cometas provienen de dos acumulaciones trans-neptunianas más cercanas que la nube de OORT: el cinturón de Kuiper y el disco disperso.

Las galaxias

- El Universo tiene cerca de **100 mil millones de galaxias**, cada una con 100 mil millones de estrellas como el Sol, en promedio. Así el Universo contendría el equivalente a 10^{22} “soles”.
- En los años de la década de 1910, el astrónomo estadounidense Vesto Slipher, y después el astrónomo de Estrasburgo Carl Wilhelm Wirtz, determinaron con el Efecto Doppler, que algunas nebulosas espirales que eran las galaxias lejanas, se alejaban de la Tierra.
- Ya en 1929, el astrónomo **Edwin Hubble**, descubrió en las galaxias más lejanas, una mayor **velocidad de recesión** o alejamiento que en otras menos alejadas, fenómeno que le permitió formular la tesis de una **expansión relativista** del Universo en su conjunto. Ver: [*Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.*](#)



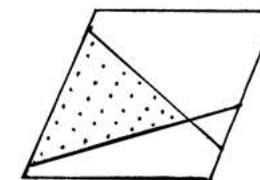
Galaxias lejanas, en:
<http://wallpaper-photo.ru>

Forma del Universo

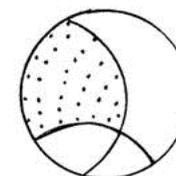
- La **curvatura del Universo**, podría ser cero, positiva o negativa, según se trate de la geometría de Euclides, Riemann y Lobachevski en su orden, y en cada caso sus propiedades serían diferentes, como también son diferentes los resultados matemáticos en las tres geometrías asociadas a dichas curvaturas. Observaciones recientes confirman la **ausencia de masa y energía** en regiones del Universo, por lo que se supone una estructura esponjosa del Espacio Tiempo, lo que sugiere un Universo con forma de pumita.
- Aunque normalmente las estrellas forman galaxias, las galaxias forman cúmulos llamados **Metagalaxias**, y estos supercúmulos llamados **Hipergalaxias**, la estructura del Universo en su conjunto parece ser uniforme.

Dependiendo de la cantidad de materia en el Universo, éste puede **expandirse** indefinidamente o frenar su expansión lentamente hasta producirse una contracción global: **el Big**

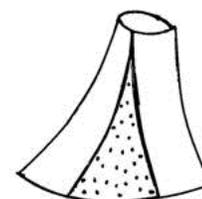
Crunch o 'Gran Colapso'. Ver: [Dia mundial del medio ambiente: El Universo](#)



$c = 0$ (Euclides)



$c > 0$ (Riemann)



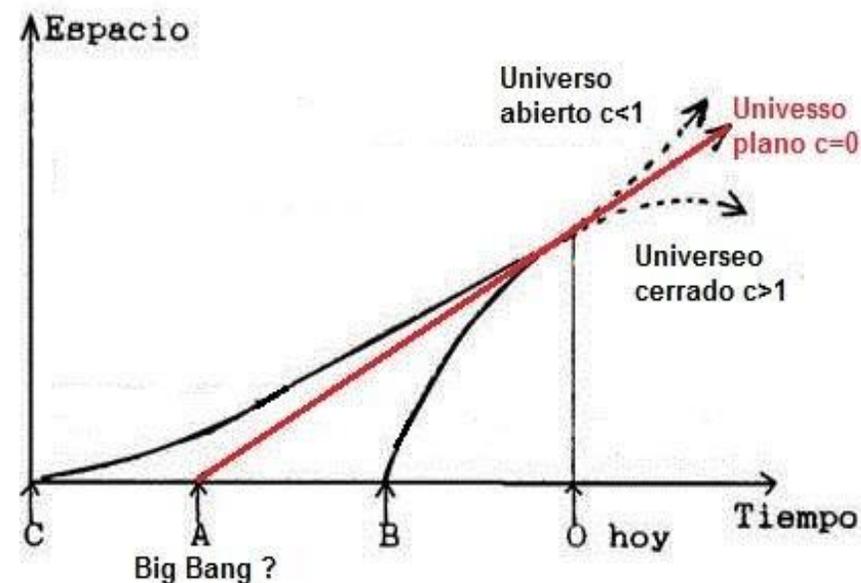
$c < 0$ (Lobachevski)

Curvatura c de un espacio continuo.

El origen del Universo

Considerando **el flujo del tiempo hacia atrás**, este Universo actualmente en expansión debió nacer de una altísima densidad de masa y energía concentrada en un solo punto: esto es, partió de **“una singularidad”**.

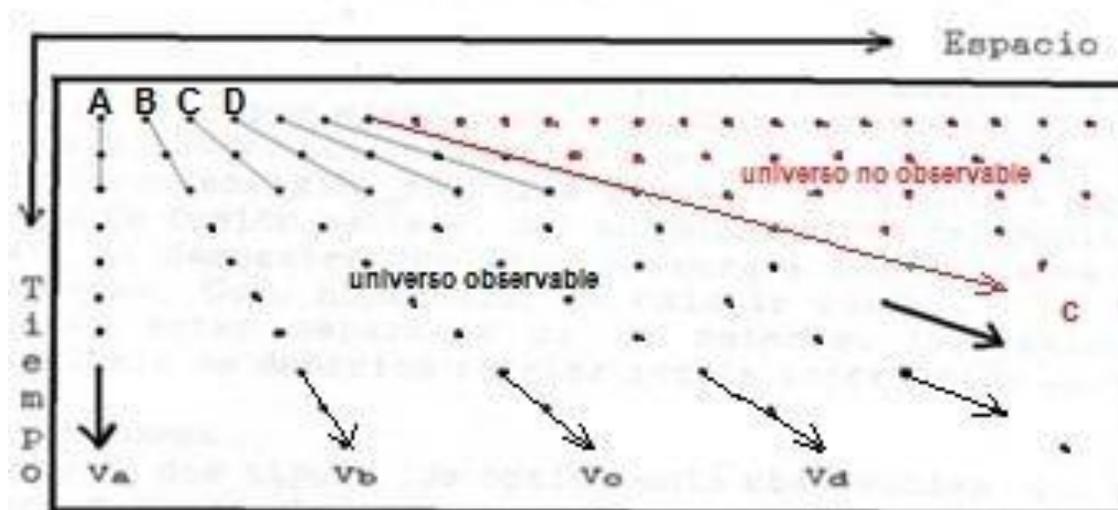
En la figura el origen del tiempo será A, B o C. Una de las paradojas del Universo, es su **tendencia a tener una curvatura cero o euclidiana**, con lo cual B y C estarían en las vecindades de A.



El inverso de la constante de Hubble, se correspondería con **la edad del Universo**. Como aquella Constante se estima entre 65 y 77 km/seg/Mpc, el Universo tendría cerca de 15 mil millones de años de antigüedad. Ver: [Dia mundial del medio ambiente: El Universo](#)

La expansión relativista del U

El tejido de expansión del Universo, viajaría a una velocidad cercana a la de la luz, conformando el límite del **Universo observable**. Más allá todo viajaría a esa velocidad, sin que pueda llegar información.

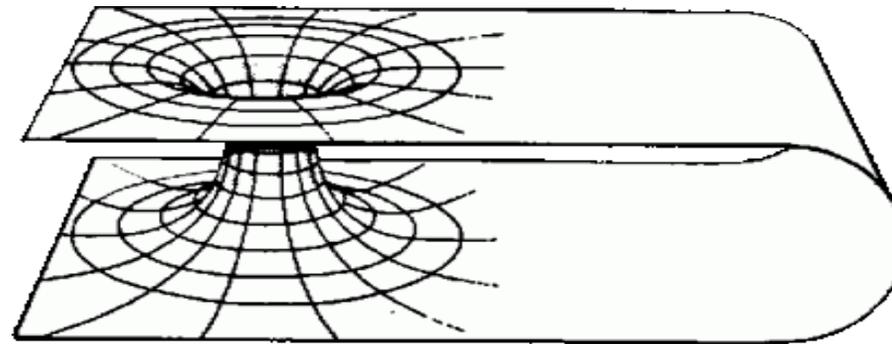


Las flechas en la imagen son la velocidad creciente de recesión de las galaxias A, B y C, fenómeno que se explica por la expansión del espacio-tiempo.

Si el Universo que se expande posee un límite o frontera, yendo hacia el pasado también tendría un origen en el tiempo. Así, además de ser finito, tampoco sería eterno. Ver: [Dia mundial del medio ambiente: El Universo](#)

Stephen Hawking (1942-2018)

Hawking, el más famoso de los cosmólogos actuales, articula dos grandes Teorías: la Teoría General de la Relatividad TGR y la Mecánica Cuántica MC. Con ellas crea la Gravedad Cuántica, para entrar al horizonte de sucesos de los Agujeros Negros y al momento del Big-Bang, donde se supone surgen el tiempo y el espacio.



Agujero de gusano, una característica topológica del espacio-tiempo, descrita por las ecuaciones de la relatividad general. Imagen en: <http://pythagoreanorderofdeath.ning.com>

Según Hawking, la TGR de Einstein conduce a que el espacio y el tiempo deban tener un principio en el Big Bang y un final como agujero negro; y la Gravedad Cuántica, a que los agujeros negros no son totalmente negros Ver: [La Cosmología de Stephen Hawking](#)

El Universo de Hawking

- La idea de que el espacio y el tiempo han de tener un principio en el **Big Bang** y un final dentro de los **agujeros negros**, hace necesario unificar la Relatividad General con la **Teoría Cuántica**.
- Una consecuencia de esto es que el Universo queda sin bordes o límites en el tiempo imaginario, y por lo tanto que la forma como empezó está completamente determinado por las **leyes de la ciencia**.
- Si tiempo y espacio son finitos en extensión, pero no tienen ningún límite o borde, las **leyes de la ciencia** se sostendrían por todas partes, incluyendo el principio del Universo.
- Ver: [*La Cosmología de Stephen Hawking*](#)



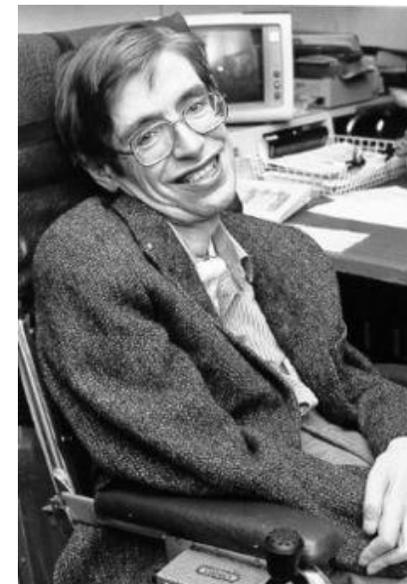
Agujero Negro en <http://es.wikipedia.org>

Los aportes de Hawking

a) Con el Físico-matemático Roger Penrose, dice que el tiempo (clásico) surge de una singularidad durante la gran explosión (Big Bang), que es el origen del tiempo (real) en el Universo consistente con la Teoría General de la Relatividad. La teoría del Big-Bang señala un comienzo para el tiempo (real) y para el espacio.

En 1974 **los agujeros negros irradian**, como cuerpo termodinámico, tienen una temperatura que es función de la gravedad en su superficie y **tiene una entropía** que es proporcional al área de su superficie.

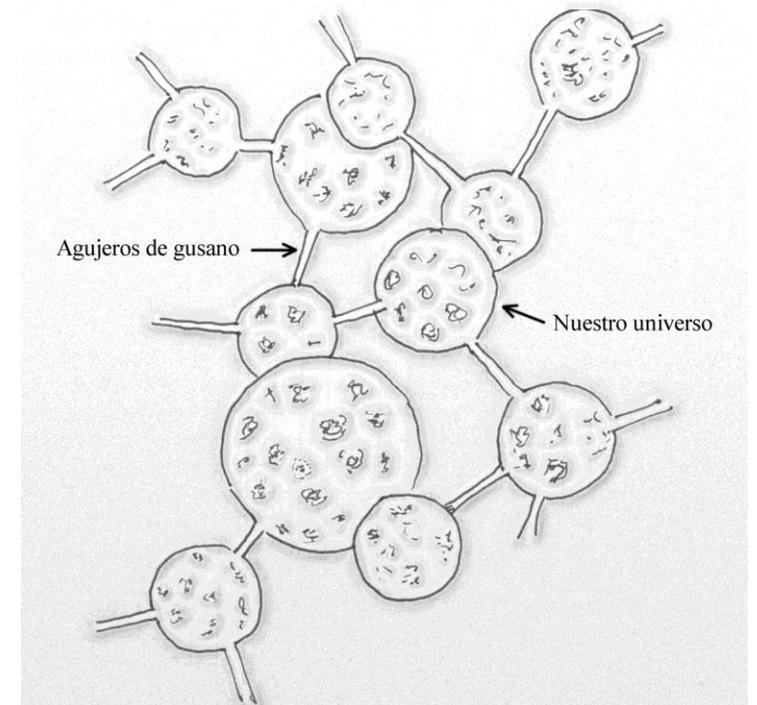
c) Con su colega James Hartle, en el Modelo H&H, propuso la **Teoría de ausencia de límites**, según la cual el espacio y el tiempo imaginario juntos, forman una superficie finita en su extensión, pero sin fronteras ni bordes. Ver: [La Cosmología de Stephen Hawking](#)



En el Universo primitivo, hubo variaciones de densidad, a causa de fluctuaciones cuánticas del vacío. Hawking en <http://en.wikipedia.org>

El modelo de Hartle-Hawking

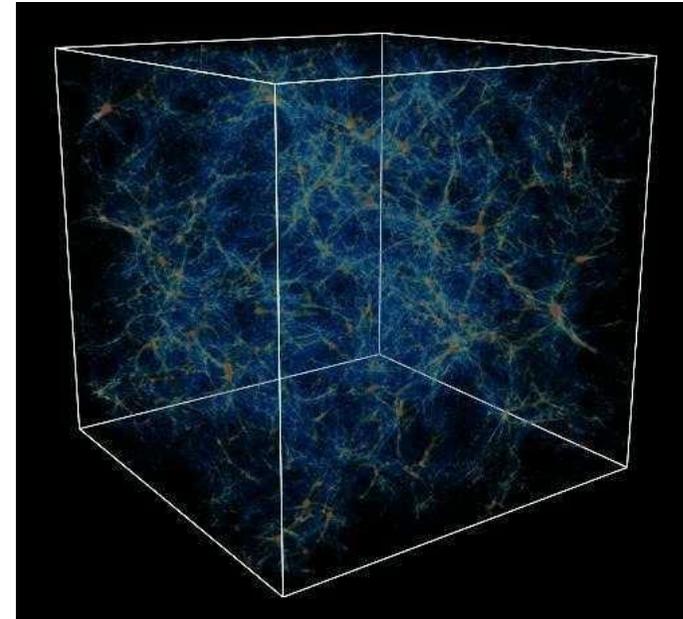
- Si vamos del presente hacia atrás, al llegar al **origen del tiempo** real convencional, cambia la naturaleza del tiempo: este presentará una componente imaginaria que se hace más y más prominente, hasta que finalmente se desvanece el tiempo real para quedar en lo que debería ser la **singularidad** de la teoría clásica.
- Puede imaginarse el tiempo real como una línea que va del principio al final del Universo, pero también puede considerarse otra dirección ortogonal del tiempo para su **componente imaginaria**.
- Quizás el tiempo imaginario sea el auténtico tiempo real, y lo que llamamos tiempo real sólo sea un producto de nuestra imaginación. En el **tiempo real**, el Universo tiene un principio y un fin. En el **tiempo imaginario** no hay singularidades ni límites. Ver: [La Cosmología de Stephen Hawking](#)



Universos múltiples y función de onda en:
www.emiliosilveravazquez.com

Estructura del Universo

- El "**principio cosmológico**" establece la homogeneidad del espacio, y según este el aspecto de Universo es el mismo independientemente del lugar en que se encuentre el observador.
- El radio de **Universo observable** es de unos 15 mil millones de años luz, su densidad es 10^{-25} g/cm³, su volumen 10^{78} m³, y la masa 10^{52} Kg, equivalentes a 10^{80} nucleones. A continuación, estimaremos la energía del Big Bang a partir de estos valores. La energía del Big Bang según la expresión $E=mc^2$ y su masa estimada de 10^{52} kg, es del orden de $10^{55} \times 10^{21} = 10^{76}$ ergios.
- En astrofísica y en cosmología física se considera la **materia oscura**, una hipotética forma de materia que no emite suficiente radiación electromagnética para ser detectada con los medios técnicos actuales, pero cuya existencia se puede inferir a partir de los efectos gravitacionales sobre la materia visible. Ver: [*Día mundial del medio ambiente: El Universo*](#)



La energía del Big Bang según la expresión $E=mc^2$ y su masa estimada de 10^{52} kg, es del orden de $10^{55} \times 10^{21} = 10^{76}$ ergios.
Arquitectura del Universo, en:
<http://www.emprendedoresnews.com>

Materia oscura y energía oscura

- Cuando se estima que **el Universo se constituye en un 73 % por energía oscura, 23 % por materia másica oscura y 4 % por materia bariónica** o en forma de átomos, de conocerse esa materia oscura que se rastrea tanto en laboratorios desde el espacio como en complejos subterráneos, la astronomía podría dar origen a una revolución comparable a la del tránsito del Medioevo al Renacimiento en tiempos de Nicolás Copérnico (1473-1543), el astrónomo polaco que sustituye el modelo geocéntrico de Ptolomeo, por uno heliocéntrico y no con la Tierra como centro del universo.

- Primero, **la hipotética existencia de una materia oscura** que no emite radiación alguna, fue inferida de las observaciones fundamentales de la astrónoma estadounidense Vera Rubin (1928 2016), de la medición de la rotación anómala de las estrellas dentro de una galaxia, ya que si en el Sistema Solar según las leyes de Newton y Kepler la velocidad de rotación planetaria decrece conforme aumenta la distancia al Sol como centro de masa, en las galaxias se mantiene. Y segundo, desde principios del 2000, se propone la existencia de **una energía oscura uniforme, que al ejercer una presión negativa en el espacio tiempo** similar a la de la constante cosmológica, explicaría la actual expansión acelerada del universo,

- En suma, solo sabemos que la materia oscura, que se infiere también del efecto de lentes gravitacionales, y que no son neutrinos, ni átomos, ni materia oscura convencional, al igual que la energía oscura, **todavía son un gran misterio.**

- Fuente: El misterioso lado oscuro del Universo, en [Materia oscura y Energía oscura](#)

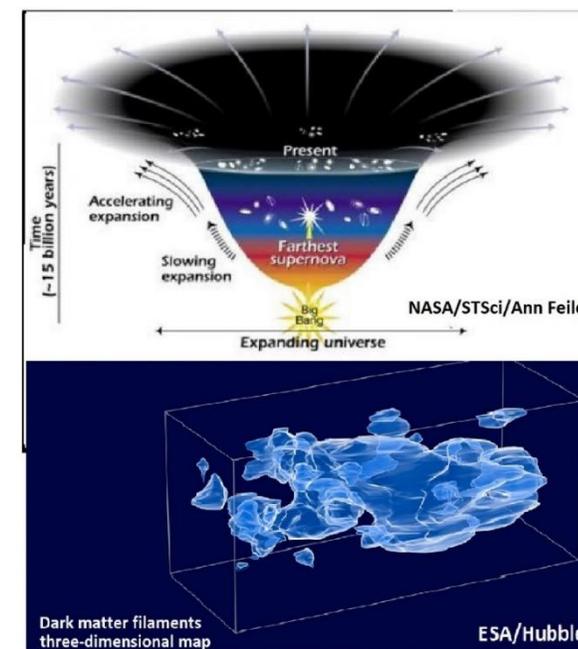


Imagen Superior: expansión acelerada del Universo causada por la Energía Oscura. Nasa-STScI. Imagen Inferior: Distribución de la materia oscura en el Universo. ESA – Hubble. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/>



Gracias

*Gonzalo Duque-Escobar: Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, y Coordinador del [Museo Interactivo "Samoga"](http://godues.webs.com), en la Universidad Nacional de Colombia. <http://godues.webs.com>

Documento para el Curso de Contexto en Astronomía del [Observatorio Astronómico de Manizales OAM](https://www.unprofesor.com/) – de la U.N. de Colombia sede Manizales. Manizales, Abril 17 de 2021.

Portada: Modelos Geocéntrico y Heliocéntrico del mundo, en <https://www.unprofesor.com/>

Contraportada: Campus Palogrande de la U.N. en Manizales, con la torre del OAM en el centro de la imagen.

MUSEO SAMOGA: ENLACES A TEXTOS Y VIDEOS U.N.

[Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.](#)
[Año Internacional de la Astronomía 2009.](#)
[Artículos el Contexto en Astronomía.](#)
[Atlantis cierra la era del transbordador.](#)
[Astronomía en América Precolombina.](#)
[Cien años el universo relativista de Einstein.](#)
[Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.](#)
[Ciencias Naturales & CTS.](#)
[Ciencia y contaminación en La Luna: a propósito del KAGUYA.](#)
[Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.](#)
[Circulares de la Red de Astronomía de Colombia RAC.](#)
[Clima: las heladas en Colombia. Colombia, por un desarrollo satelital.](#)
[Colombia, trópico andino y agua.](#)
[Cosmografía: cómo observar el cielo.](#)
[Cuarta Escuela de Astronomía y Astrofísica del OAN.](#)

[Cultura y Astronomía \(CyA\) Desarrollo y revoluciones tecnológicas.](#)
[Descubrir el universo desde Colombia.](#)
[Día del Medio Ambiente: El Universo.](#)
[Eje Cafetero: cambio climático... El 2008 tendrá un segundo más.](#)
[El Bosón de Higgs.](#)
[El camino a las estrellas.](#)
[El misterioso lado oscuro del universo.](#)
[El camino a las estrellas.](#)
[El misterioso lado oscuro del universo.](#)
[El territorio caldense, ¿un constructo cultural? – UMBRA.](#)
[Encuentro del Asteroide 2011 MD, con la Tierra.](#)
[Enlaces del Observatorio Astronómico de Manizales.](#)
[El Universo acelerado.](#)
[El camino a las estrellas.](#)
[Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.](#)
[F J de Caldas y J Garavito Armero.](#)
[Geociencias y Medio Ambiente.](#)
[Geotecnia para el trópico andino.](#)
[Guía astronómica.](#)

[Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.](#)
[Huracanes y Terremotos acechan.](#)
[Introducción a la teoría económica.](#)
[Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.](#)
[José María González Benito \(1843-1903\)](#)
[Julio Garavito Armero \(1865-1920\).](#)
[Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar.](#)
[La astronomía en Colombia: perfil histórico.](#)
[La Comisión Colombiana del Espacio CCE.](#)
[La cosmología de Stephen Hawking.](#)
[La economía en la era del conocimiento.](#)
[La farsa de las dos lunas en el cielo. La Luna.](#)
[Los albores de la civilización.](#)
[Los seis eclipses del 2020.](#)
[Manual de Geología para Ingenieros.](#)
[Mecánica Planetaria.](#)
[Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.](#)
[Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales.](#)

[Museo Interactivo Samoga: 2001-2015.](#)
[Nobel de Física a tres astrónomos.](#)
[Observatorio Astronómico de Manizales OAM.](#)
[Observación del Cielo y Carta Celeste.](#)
[Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.](#)
[Por una Red de Astrónomos Profesionales para Colombia.](#)
[Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.](#)
[Periplo científico de Humboldt por América.](#)
[Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.](#)
[Problema “ALEPH”: planteamiento y solución a un problema topográfico.](#)
[Protagonistas de la astronomía.](#)
[Sol, clima y calentamiento global.](#)
[Sol Lunas y Planetas del Sistema Solar.](#)
[Textos “verdes”.](#)
[Tiempo y Calendarios.](#)
[Tres décadas del Hubble.](#)
[UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.](#)