

Nuestro lugar en el Universo



¿Cómo y cuándo empezó a existir el Universo? ¿ha sido siempre como le conocemos ahora? ¿es infinito o finito?, ¿qué es la Tierra?, ¿qué son los planetas?, ¿cuál es nuestro lugar en el Cosmos?, ¿estamos en el centro?, ¿qué son las luces que observamos en el cielo?, ¿se mueven?, si es así, ¿cómo lo hacen?

Desde hace mucho tiempo, las más antiguas civilizaciones han mirado al cielo maravillados. El movimiento de los astros, la salida y puesta del Sol, la Luna y sus fases, los eclipses y la aparición de cometas, entre otros, son fenómenos astronómicos que han acompañado a la humanidad desde sus inicios. Sin importar el lugar geográfico ni su cultura ni sus creencias, todos los pueblos antiguos reconocieron la importancia del cielo en la predicción de las estaciones del año y su relación con los cambios en las formas de vida terrestres.



En un principio, los pueblos antiguos no podían explicar lo que observaban del cosmos, esta falta de explicación



les obligaba a crear historias de seres mitológicos que según ellos se ocupaban del diseño y la formación de los astros. Conforme fueron transcurriendo los siglos, el ser humano, dotado de inteligencia inconmensurable, fue descubriendo los misterios del cosmos afinando sus observaciones y deducciones para finalmente descubrir “**NUESTRO LUGAR EN EL UNIVERSO**”.



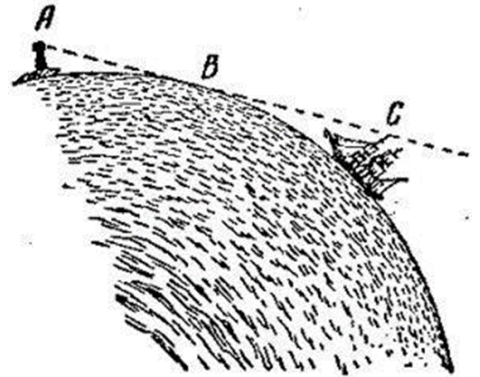
En los años 600 a.C. en la imaginación de los griegos, el planeta era un disco plano rodeado por un océano, pero, además decían, estaba cubierto con una cúpula semiesférica, que era el camino que recorrían las estrellas todo el tiempo.

Lo que les intrigaba era que día tras día las estrellas, el sol y la luna, tuvieran **los mismos recorridos**.

Algunos pensaban que cuando las estrellas se hundían en el horizonte, sencillamente desaparecían, y las que aparecían el día siguiente eran nuevas que habían sido encendidas en algún lugar del planeta; otros creían que se sumergían en el mar y retornaban al lugar del que salían diariamente.

¿UNA TIERRA ESFÉRICA?

Pero en algún momento los **griegos** comenzaron a pensar que si la Tierra fuera plana no se podrían explicar ciertos eventos cotidianos como por ejemplo cuando se alejaba un barco en el horizonte lo primero que se dejaba de ver era la popa del barco y al final el mástil, y esto en todas las direcciones en las que el barco se alejara. **Así, la desaparición paulatina del barco era evidencia de que la Tierra se iba curvando a lo lejos.**



Otra evidencia contundente de la redondez de la Tierra es lo que ocurre en los eclipses lunares. La Tierra se interpone entre el Sol y la Luna y así podían ver la sombra de la Tierra proyectarse sobre nuestro satélite y no había dudas de que ésta sombra era circular.

Estos dos ejemplos llevaron a pensar a los griegos que la Tierra sí podría ser esférica y no plana como se había pensado durante mucho tiempo.

Por otro lado, los griegos consideraban que **la esfera era la figura geométrica perfecta**, y dado que si el Universo era perfecto la Tierra y los demás astros en el firmamento debían también ser perfectos por lo que tenían que ser esferas perfectas.

Así, unos 250 años antes de Cristo (250 a.C.), **la redondez de la Tierra era considerada un hecho**. Los barcos que desaparecían poco a poco al alejarse en el horizonte –primero el casco, por último el mástil– mostraban que no sólo la Tierra, sino también el agua del mar iban curvándose hacia abajo con la distancia. **Y la única superficie que se curva hacia abajo en cualquier dirección es la esfera**. Esta Tierra esférica que imaginaban los griegos antiguos también les permitía explicar por qué la sombra de nuestro mundo sobre la Luna durante los eclipses era siempre circular.

Una Tierra esférica debe tener un diámetro, un tamaño determinado; y si una persona se aleja lo suficiente, debería aparecer por el otro lado, es decir, le daría una vuelta a la Tierra.

Esta vuelta a la Tierra (como dato histórico) la pudieron completar los navegantes Magallanes y Elcano, casi dos mil años después, entre el 20 de septiembre de 1519 y el 6 de septiembre de 1522.

ERATÓSTENES Y LA CIRCUNFERENCIA DE LA TIERRA

Y aquí es donde hace acto de presencia el griego **Eratóstenes de Cirene**, que vivió entre el 276 y 195 a.C., director de la gran biblioteca de Alejandría.

Eratóstenes nació en Cirene, antigua ciudad griega de Libia.

Fue una de las figuras más eminentes del gran siglo de la ciencia griega. Fue matemático, astrónomo, geógrafo, historiador, filósofo, filólogo, poeta, etc. Por todo ello, recibió el sobrenombre de **Pentathlos**, que quiere decir “campeón en muchas especialidades”. Eratóstenes tuvo fama de ser uno de los hombres más cultos de su tiempo.

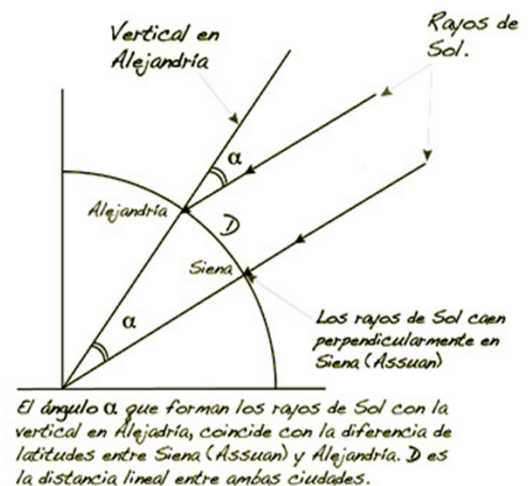
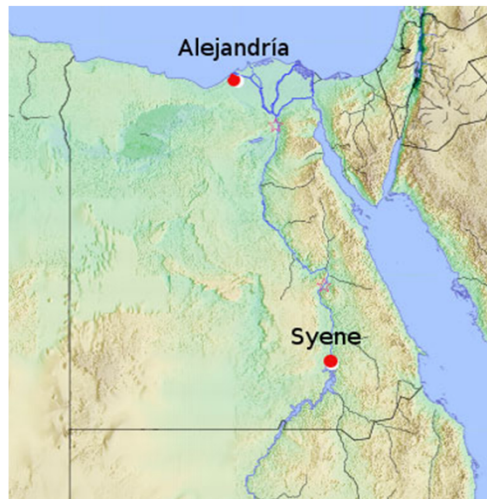
Hacia el año 236, fue llamado a Egipto por Ptolomeo III, para hacerse cargo de la Biblioteca de Alejandría, puesto que ocupó hasta el fin de sus días.

Estando en la Biblioteca de Alejandría, Eratóstenes encontró un informe de observaciones efectuadas en Siena, una ciudad situada a unos 800 Km. al Sur de Alejandría. Siena es hoy en día la ciudad de Asuán, en Egipto.

En ese informe se relataban unos hechos que llamaron poderosamente su atención. Se informaba que al medio día, el **21 de junio, día del Solsticio de Verano**:

- los objetos, en especial los obeliscos, **no producían sombra.**

Eratóstenes esperó un año para poder verificar estos hechos y procedió a comprobarlos, pero esta vez en Alejandría.



Para llevar a cabo el experimento colocó varias varas verticales, de diferentes longitudes, en una superficie plana. Llegado el día, el 21 de junio, al medio día, comprobó que las varas colocadas en Alejandría sí producían sombra. Y entonces se planteó la siguiente reflexión:

- “Si la Tierra es plana y los rayos solares, son paralelos (dada la distancia que nos separa del Sol), en cualquier punto donde nos encontremos, estas varas que aquí he colocado

no deberían dar sombra..... lo mismo que está ocurriendo en Siena, en estos momentos”.

- “...¿Pero y si la Tierra no es plana?. ¿Y si la tierra es redonda?, si así fuera, este hecho explicaría por qué se produce esa diferencia entre la no sombra de Siena y la sombra de Alejandría”

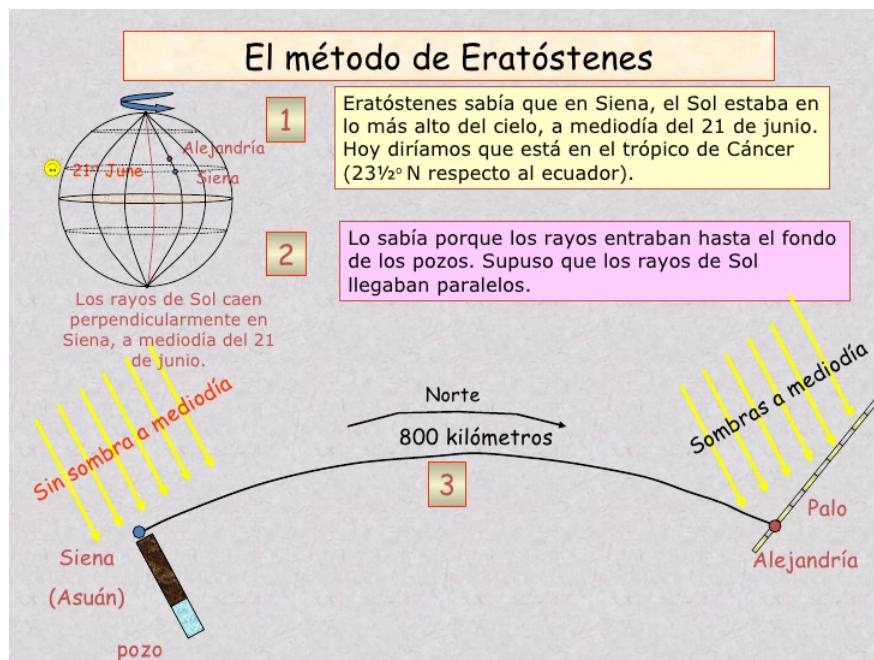
Después de estas observaciones, tomando la longitud de las varas y sus sombras correspondientes y con la ayuda del gnomon (aparato de la época que entre otras cosas servía para medir ángulos e inclinaciones), Eratóstenes calculó el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre dichas varas, **estimándolo en unos $7^{\circ} 12'$** .

Eratóstenes ya tenía un dato pero le faltaba uno más: **la distancia entre Alejandría y Siena**

De cómo calculó, en aquella época, la distancia entre las dos ciudades, existen varias teorías. Unos autores dicen que mando a un regimiento para que contara los pasos entre Siena y Alejandría. Otros dicen que ese cálculo lo hizo un esclavo a sus órdenes, que realizó el mismo recorrido, para contabilizar los pasos. Pero la teoría más lógica dice que ese dato de distancias, que él sabio buscaba, se encontraba en la propia Biblioteca de la Alejandría.

Esta distancia estaba recogida en la información que daban muchas caravanas que comerciaban entre las dos ciudades y que se estimaba en unos 5.000 estadios.

La unidad de medida del estadio equivale a unos 160 m, pero hay que tener en cuenta que en aquel momento existían diferentes estadios. Los más cercanos al ámbito de Eratóstenes eran



dos: uno era el estadio ático-italiano que equivaldría aproximadamente a unos 184,8 m y el otro era el estadio egipcio de 300 codos, equivalente a 157,2 m. Pues bien. Una sencilla regla de tres le dio a Eratóstenes la solución al problema que se había planteado:

- Si para $7^{\circ} 12'$ hay una distancia de 5000 estadios, para 360° , que son los grados de toda la circunferencia, habrá “X” estadios.
- Bastaba con multiplicar 5.000 por 360 y dividir por 7,2 para obtener la solución.

- Eratóstenes concluyó que la circunferencia de la Tierra era igual a 250.000 estadios, siendo el estadio medio de 160 metros **obtenemos unos 40,000 km**

Este descubrimiento quedó fijado en la ciencia antigua y con el correr del tiempo y el devenir histórico, todos hemos bebido de esta fuente científica.

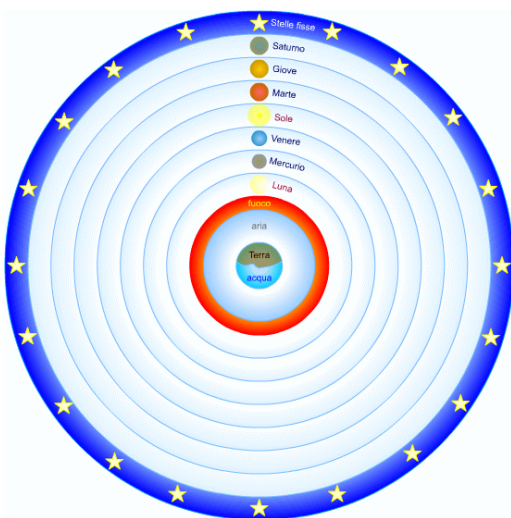
En el siglo III a. C., Eratóstenes había fijado la circunferencia terrestre en 250.000 estadios que son 40,000km. Hoy en día, esta circunferencia de la Tierra, está fijada en 40.008 km. ¡Un cálculo de verdad impresionantemente preciso para un astrónomo de la antigüedad sin utilizar herramientas modernas!

ARISTÓTELES (384-322 a.c.)

Otro discípulo de Platón, Aristóteles, era un hombre decidido a obtener un esquema completo de la estructura y naturaleza del Universo. Postuló que todo en el Universo estaba compuesto de **5 elementos** y que todo lo que ocurría en la Tierra podía explicarse en función de estos elementos que a decir de él eran: **tierra, agua, aire, fuego y el éter**, y que el acomodo entre ellos se debía a la “ligereza” de un elemento en relación a los otros.

Así, Aristóteles decía que la Tierra se “acomodaba” en el centro del Universo porque justamente estaba hecha del primer elemento y era el más pesado de todos, por lo tanto, la Tierra al estar en el centro terminaba siendo una esfera. Explicaba que el agua se acomodaba arriba de la tierra y enseguida el aire y finalmente el fuego en la parte más alta, porque era el elemento más ligero.

Finalmente se encontraba el **éter**, la sustancia de que estaban hechos el Sol, la Luna y las estrellas; y el éter decía Aristóteles, no le “gustaba caer” hacia el centro del Universo, sino que su función era dar vueltas alrededor de él, por eso el Sol, la Luna y las estrellas daban vueltas alrededor de la Tierra.

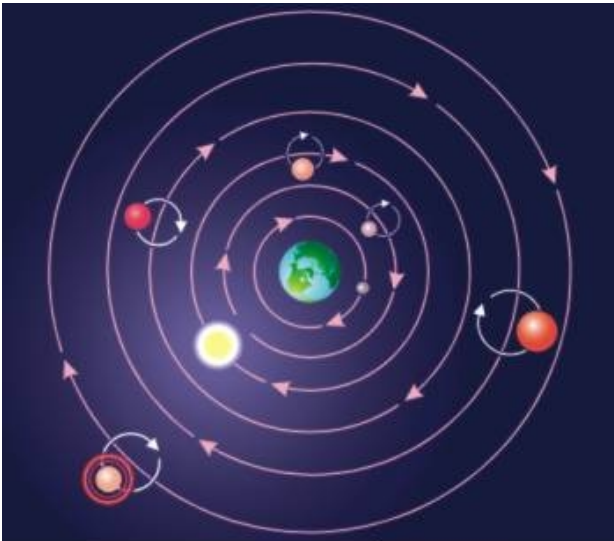


Aristóteles afirmaba que la **Tierra no se movía**, que estaba totalmente fija, y fundamentaba esta afirmación diciendo que si la Tierra girara, el aire “se quedaría atrás”, así también decía que, si la Tierra girara, un pájaro que levantara su vuelo se iría hacia atrás alejándose de nosotros a cierta velocidad. Evidentemente no se conocía el principio de inercia que salió a la luz allá por el siglo XVI con Galileo Galilei.

Estos argumentos de Aristóteles no pudieron ser rebatidos por nadie, ya que este filósofo tenía un gran peso en el conocimiento de aquella época, y así, sus ideas estuvieron vigentes casi dos mil años, no permitiendo que el conocimiento del cosmos y de los modelos celestes avanzara.

CLAUDIO PTOLOMEO

Ptolomeo es uno de los matemáticos y astrónomos de la antigüedad que más ha influido en la historia. De su vida y su muerte se conocen pocos datos, y casi todo lo que se sabe está relacionado con sus obras. Él fue el encargado de plantear **la teoría geocéntrica del universo** (la Tierra al centro del Universo), que estuvo vigente por casi 1400 años.



MODELO GEOCÉNTRICO

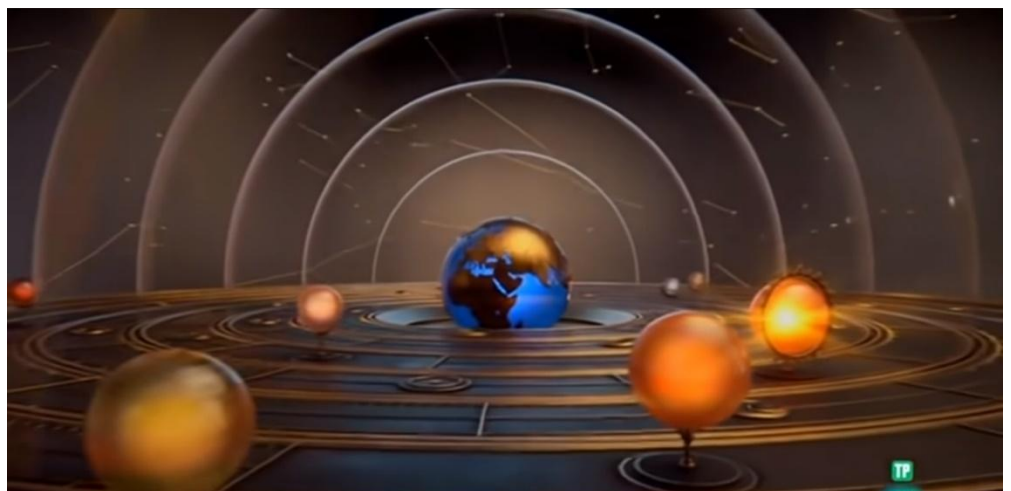
Entonces **Claudio Ptolomeo**, creía que la Tierra era el centro del Universo (**modelo Geocéntrico**), y que el resto de los cuerpos de la bóveda celeste giraban a su alrededor.

Creó una teoría en la que establecía que los cuerpos celestes que giraban alrededor de la Tierra describían **círculos perfectos**, influenciado por las ideas de **Aristóteles**.

Su modelo era muy complejo. Ptolomeo presentó su modelo en su obra monumental conocida como "Almagesto", que recopilaba y sintetizaba el

conocimiento astronómico de la antigüedad. En este tratado, Ptolomeo desarrolló una teoría detallada sobre el movimiento de los cuerpos celestes, utilizando conceptos como epiciclos para explicar las aparentes irregularidades en el movimiento de los planetas al ser observados desde la Tierra.

El modelo geocéntrico de Ptolomeo proporcionó una estructura coherente para predecir las posiciones de los planetas en el cielo, lo que facilitó la navegación marítima, la agricultura y otras actividades que

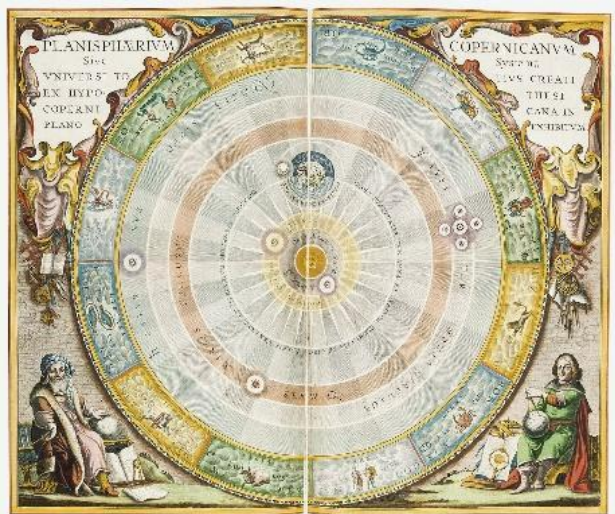


dependían del conocimiento astronómico. Además, su influencia se extendió más allá de la astronomía, influyendo en la cosmología y la filosofía de la época.

Sin embargo, con el advenimiento de la Revolución Científica en el siglo XVI, el modelo geocéntrico de Ptolomeo comenzó a ser cuestionado. Las observaciones de astrónomos como Nicolás Copérnico, Tycho Brahe y Johannes Kepler revelaron inconsistencias en las predicciones del modelo ptolemaico. Finalmente, las observaciones de Galileo Galilei con su telescopio proporcionaron evidencia directa en favor del modelo heliocéntrico propuesto por Copérnico, donde el Sol estaba en el centro del sistema solar.

A pesar de su obsolescencia científica, el modelo geocéntrico de Ptolomeo sigue siendo relevante como un hito en la historia del pensamiento humano. Nos recuerda la capacidad de la mente humana para desarrollar modelos complejos y coherentes para explicar el mundo que nos rodea.

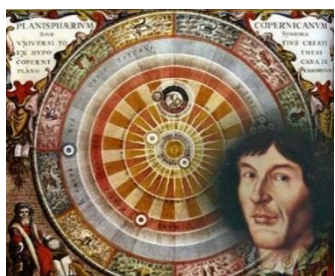
COPÉRNICO, EL CLÉRIGO AL CENTRO DEL UNIVERSO.



Todo gira alrededor de nosotros, es obvio, el Sol se mueve de Este a Oeste todos los días y, como él, lo hace la mayoría de las estrellas, exceptuando -cosa digna de mención- la estrella Polar, que se empeña en permanecer inmóvil. Eso no tiene nada de particular, el cielo es una enorme esfera que gira alrededor de la Tierra y la Polar está justo en el eje. Lo que está claro es que el Universo es esférico y nosotros, que somos tan importantes, estamos en el centro. Así pensaban los que vivieron en los tiempos antiguos, incluidos grandes sabios

griegos, como Parménides, Platón o Aristóteles.

Estas observaciones dieron luz a una nueva ciencia, la Astronomía. Los más observadores descubrieron que no todos los astros se mueven por igual en el firmamento. La Luna gira alrededor de nosotros siguiendo un ritmo distinto al de las estrellas fijas, el Sol lo hace al suyo y una serie de "estrellas errantes" (eso significa en griego "*esteres planetai*", de ahí el nombre de "planetas") giran siguiendo movimientos extraños que van y vienen por el cielo, como si sus esferas pararan en un momento dado, dieran marcha atrás, y volvieran de nuevo, como el planeta Marte por ejemplo.



Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo polaco, estableció un modelo que iba totalmente en contra al de Claudio Ptolomeo. En este modelo el Sol aparecía en el centro del Universo, y los planetas, incluyendo a la Tierra, giraban alrededor de él. Este modelo es conocido como **Heliocéntrico**. El modelo asimismo indicaba que la Tierra giraba una vez al día sobre su eje y completaba una vuelta alrededor del Sol

cada año. El modelo de Copérnico, muy cercano al real, desafortunadamente insistía en que el movimiento de los planetas eran círculos perfectos y lo hacían con movimiento constante. **Pero ni los planetas se mueven en círculos ni su velocidad es constante.**

Copérnico estaba convencido de que el **Sol** debía estar en el centro del Universo, pero seguramente esto le iba a provocar problemas con la Iglesia, por lo que retrasó la publicación de su obra **"Sobre los giros de los orbes celestes"** por muchos años, tal que recibió el primer ejemplar impreso de su obra justo en el lecho de muerte.

TYCHO BRAHE (1546 – 1601), EL ASTRÓNOMO DE LA OBSERVACIÓN Y NARIZ DE PLATA.

Tycho Brahe, matemático y astrónomo danés, considerado uno de los padres de la Astronomía europea. Brahe fue el último observador de los cielos anterior a la invención del telescopio y en cierta forma fue el eslabón que unió a los heroicos astrónomos del pasado con aquellos que pudieron disponer ya de un mejor medio tecnológico como el telescopio. Todos los detalles de la vida de Tycho (su pendenciera juventud, su matrimonio anticonvencional, la magnífica y legendaria historia de su observatorio de Uraniborg o la inestimable colaboración con Kepler) nos trasladan a un mundo tan humano como inalcanzable desde el punto de vista de nuestros parámetros actuales.



Antes de que Galileo apuntara al cielo con el primer telescopio (1609), sólo había una forma de escrutar el firmamento: **a simple vista**. Aun así, algunos genios de La Ciencia lograron observaciones increíbles.

Existió un tiempo único en el que los telescopios no habían llegado aún y los ojos humanos desnudos se encargaban de desentrañar los insondables y enigmáticos misterios del firmamento. Tycho fue uno de los gigantes de la ciencia antigua, el eslabón que encadenó ese tiempo heroico con el que llegó después. En su mente infantil, nuestro pequeño Tycho no fue capaz de intuir la influencia que su curiosidad por las estrellas llegaría a tener sobre la Humanidad y las ciencias. Pero así comienzan todos los sueños, en los ojos de los niños, en las primeras fantasías alimentadas en sus mentes, en las primeras semillas que, preñadas de ilusiones, germinarán en un futuro.

De entre todos los astrónomos pregalileanos, **Tycho Brahe** brilla con luz propia. Nació en 1546, en Dinamarca y durante sus 55 años de vida identificó cientos de estrellas, descubrió y estudió una supernova, se deleitó observando cometas y, aunque no llegó a destronar a la Tierra de su puesto central en el Sistema Solar, al menos colocó a los otros planetas en sus órbitas correctas alrededor del Astro Rey.

Tycho Brahe, astrónomo y matemático danés nació tres años después de la muerte de Copérnico.

EL COMIENZO DE UNA PASIÓN. En 1559, cuando Tycho contaba trece años, fue enviado a la Universidad de Copenhague. En aquel tiempo pudo observar un eclipse de Sol, concretamente

el 21 de agosto de 1560. El eclipse fue completo en Portugal y tan solo parcial en Dinamarca. Pese a ello, este fenómeno le marcó de forma determinante, y más aún el hecho de que hubiese sido predicho. Nuestro joven amigo se sintió fascinado por las predicciones de algunos sabios -basadas en las tablas de Ptolomeo que fueron capaces de pronosticar el día, aunque no la hora concreta del fenómeno. Fue entonces cuando el joven Tycho empezó a comprar libros de Astronomía. Sabemos a ciencia cierta que obtuvo una edición (en la cual hizo sus primeras anotaciones) en latín de las obras de Ptolomeo. Se interesó también por las Matemáticas.

LA NARIZ DE TYCHO, un hecho pintoresco de su vida.

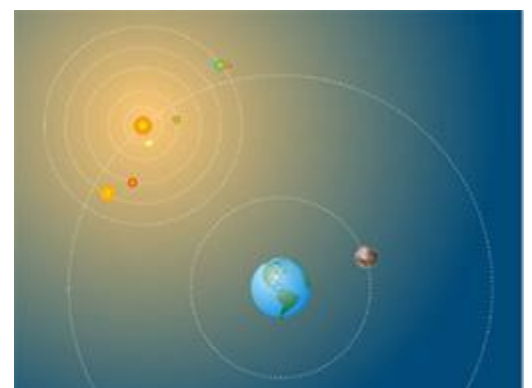
No sabemos a ciencia cierta cuál fue la causa de la famosa disputa entre Tycho y el joven danés -también perteneciente a la nobleza-, Manderup Parsberg, lo que sí sabemos con certeza es que tras varios encuentros sociales en los que ambos protagonistas se mostraron animadversión, se retaron a duelo el 29 de diciembre de 1566. De resultados de este lance, el joven Tycho perdió su nariz de un certero espadazo de su opositor, debiendo utilizar una prótesis hecha de una aleación de oro y plata durante el resto de su vida. Este fue uno de los hechos más pintorescos de la historia de la ciencia y fue motivo de burlas y múltiples habladurías que circularon ya hasta el final de su vida alrededor de nuestro singular personaje. Tycho llevaba siempre consigo una cajita con una suerte de pegamento con el que se pegaba la nariz.

Tycho Brahe se estableció a comienzos de 1569 en Augsburgo, lugar en el que prosiguió con sus estudios y observaciones astronómicas. Con el fin de perfeccionar sus observaciones, diseñó y se hizo construir un gigantesco cuadrante (el cuadrante fue un instrumento que servía para medir ángulos en Astronomía y navegación). El aparato en sí, tenía un radio de seis metros, la razón principal era que su borde circular pudiera tener una graduación en minutos de ángulo, lo cual permitiría realizar observaciones más precisas. El singular artilugio estuvo ubicado sobre una colina en el jardín de un amigo de Tycho, y allí se mantuvo durante cinco años hasta que un temporal lo destruyó en el mes de diciembre de 1574.

Son necesarios varios años para conocer con exactitud la multitud de movimientos planetarios respecto al propio Sol y a las constelaciones. El trabajo de Tycho habla por sí mismo de la paciencia y minuciosidad de sus observaciones y la de sus ayudantes.

El catálogo que Tycho confeccionó en las dos décadas de trabajo estaba compuesto por las posiciones de más de mil estrellas. Nadie había estudiado los cielos con tanta precisión y dedicación.

MUERTE DE TYCHO. El día 13 de octubre de 1601, Tycho Brahe cayó gravemente enfermo tras participar en un banquete en la residencia del barón Peter Vok von Rosenberg. El propio Kepler relató que para no caer en



descortesía, Tycho habría evitado hacer sus necesidades durante la cena, lo cual le produjo una infección urinaria que acabó causándole la muerte. Tras once días de delirios en los que se le escuchó la famosa frase “Ne frustra vixisse videar” (no dejéis que parezca que he vivido en vano), todo cambió la mañana del 24 de octubre. Ese día, ya en su lecho de muerte, Tycho recuperó la lucidez, reconoció en Kepler a su sucesor y admitió su inmensa capacidad como matemático. Además, le encomendó todos los datos relativos a sus observaciones.

Tycho Brahe murió ese mismo día y fue sepultado en medio de una gran solemnidad el día 4 de noviembre en la Iglesia de Nuestra Señora de Týn de Praga en la Plaza Vieja de la ciudad.

La historia de Tycho se completa con la obra de Kepler y viceversa, ambas no se llegan a comprender si no se estudian de forma conjunta. Los datos que el genio danés proporcionó a Kepler sirvieron para que éste formulara sus dos primeras leyes de los movimientos de los planetas que describían matemáticamente las órbitas de los mismos alrededor del Sol y que están recogidas en su obra “Astronomía Nova”, editada en 1609. La tercera ley de Kepler fue publicada en 1619 en su libro “Harmonices mundi”. La ciencia es una inacabable cadena de mentes que trabajan para el progreso. De este modo, Kepler nos dijo cómo se mueven los planetas alrededor del Sol mediante sus 3 leyes y fue Newton quien, finalmente, basado en estas leyes de Kepler, nos aclaró por qué se mueven así los planetas enunciando su Ley de la Gravitación Universal en 1685, mostrando una explicación de las leyes de Kepler desde el punto de vista de la atracción gravitacional que sufren los cuerpos.

El hombre providencial que ya hemos mencionado y que, finalmente, ordenó la enorme cantidad de datos que Tycho había compilado a lo largo de los años, fue otro gigante que en nada se parecía a nuestro amigo. Su nombre, como el del genio danés, también está escrito con letras de oro en la historia de la ciencia: Johannes Kepler.

JOHANNES KEPLER Y LOS MOVIMIENTOS PRECISOS DE LOS PLANETAS

La belleza de la esfera fascinaba a [Copérnico](#). *"La esfera -escribió- es la más perfecta... la más espaciosa de las figuras... donde no es posible encontrar principio ni fin"*. Así, imaginó un Sistema Solar en el que todos los cuerpos, estrellas, planetas, satélites y cometas se movían alrededor del Sol siguiendo **órbitas circulares perfectas**. Sin embargo, cuando comenzó a hacer cálculos de la posición de los astros basados en su modelo descubrió, sorprendido, que las cosas no acababan mejor que en el modelo de **Ptolomeo**.

A pesar de sus deficiencias, las ideas de Copérnico fueron ganando adeptos, entre ellos, **Johannes Kepler, un matemático neurótico, lleno de odio hacia sí mismo, arrogante y vociferante, pero un teórico extraordinariamente perspicaz.**



Kepler se aficionó a la astronomía durante su infancia, cuando su madre, una pobre mujer sospechosa de brujería, lo llevó una noche a ver el gran cometa de 1577 y, tres años más tarde, a contemplar la cara rojiza de la Luna eclipsada. Tuvo una infancia difícil, su carácter agrio hizo que sus compañeros de clase le propinaran más de una paliza, pero, a pesar de todo, creció convencido de que el mundo era fundamentalmente bello, tal y como describía Platón en su "armonía de los mundos".

Las observaciones del planeta Marte fueron la obsesión de Kepler antes y después de la muerte de Tycho. Ni Ptolomeo ni Copérnico lograron predecir el movimiento del Planeta Rojo con exactitud. Probó una y otra vez, siguiendo la fascinación de Copérnico por la esfera, intentó hacer cuadrar los datos con sesenta órbitas circulares diferentes, sin resultado. Atacó el problema desde todos los ángulos posibles. Viajó con la imaginación hasta Marte e intentó reconstruir el camino que seguiría la Tierra vista desde un observatorio marciano. Trasladó su punto de observación imaginario al Sol e intentó calcular el movimiento de Marte desde allí. Por fin, un día se hizo la luz en su mente incansable. *"Tengo la respuesta"* -escribió a su amigo Fabricius- *".. la órbita del planeta es una **elipse** perfecta."* *"He descubierto en los movimientos de los cuerpos celestes la naturaleza plena de la armonía"*.

Kepler murió el 15 de noviembre de 1630, a los 48 años de edad. Escribió él mismo su epitafio:

"Medí los cielos, y ahora mido las sombras.

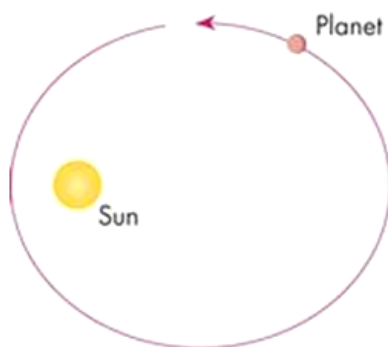
El espíritu estaba en el cielo, el cuerpo reposa en la Tierra."

Su tumba se ha perdido, destruida por la guerra.

Johannes Kepler nació en Alemania en 1571 y murió en 1630. Se convirtió en un gran matemático en su época y a solicitud de **Tycho Brahe**, Kepler se unió a él para intentar juntos darle solución al verdadero acomodo y mecánica celestes, algo en lo que los dos soñaban. Tycho era el genio de la observación más grande de la época y Kepler era el teórico más grande, ninguno por sí solo hubiera podido descifrar los misterios del universo, para tal tarea se requería de los dos talentos.

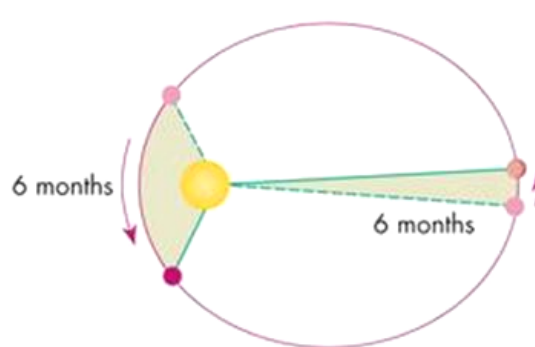
Después de ocho años de incesante estudio, Johannes Kepler determinó matemáticamente que la órbita que describía Marte **no era un círculo perfecto** como se pensaba en ese entonces, sino que era una elipse; esta elipse se ajustó maravillosamente a todas las observaciones que Tycho Brahe había hecho de Marte durante años. El descubrir Kepler que tanto Marte como todos los demás planetas se movían con órbitas elípticas delineó su primera ley: **"Los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el sol en uno de los focos de dicha elipse"**.

Al moverse el planeta en su órbita durante cierto periodo de tiempo, cubre un área imaginaria en forma de "cuña". Cuando el planeta está lejos del Sol, esta área es larga y angosta y cuando está cerca es corta y ancha. Aunque las forma de estas cuñas eran diferentes, Kepler descubrió que sus áreas eran exactamente iguales siempre y cuando estos dos tiempos de recorrido del planeta en su viaje alrededor del Sol fuesen iguales. Esto proporcionó una descripción



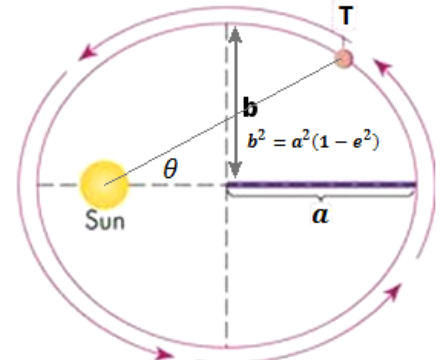
(1)

The orbits are ellipses



(2)

Equal areas in equal time



(3) $T^2 \propto a^3$ T = time to complete orbit
 a = semi-major axis

matemática precisa de la relación entre la velocidad un planeta y su distancia al Sol.

Con base en este descubrimiento, la segunda ley de Kepler es ésta: **"Un planeta cubre áreas iguales en tiempos de movimiento iguales"**.

A partir de su descubrimiento de las órbitas elípticas que describían los planetas, Kepler identificó que estos se movían más rápidamente cuanto más cerca del Sol se encontraban y

más lentamente cuanto más alejados del Sol se ubicaban, y así con astucia matemática estableció su tercera ley del movimiento planetario que dice: **“Para cada planeta, el cuadrado del tiempo que tarda en darle una vuelta al Sol es proporcional al cubo de su distancia promedio al Sol”**.

Con estas tres leyes, Kepler fue el primer ser humano que expuso de manera clara y precisa cómo se mueven los planetas y cómo funciona el sistema solar, aunque él mismo no las consideró leyes, sino parte de una armonía celestial que reflejaba la influencia de Dios en el universo.

Con Kepler pudimos tener leyes que nos permitían relacionar la velocidad de los planetas alrededor del Sol con su distancia al mismo; aunque todavía no teníamos datos de una distancia real ni de una velocidad real. **Una de las grandes virtudes de las leyes de Kepler fue que desapareció de un golpe el modelo geocéntrico del griego Ptolomeo.**

Además Kepler pensó, derivado de su segunda ley, que debía haber una fuerza mayor en el Sol que provocaba movimientos más rápidos en los planetas interiores (los más cercanos al sol) y una fuerza más débil del Sol que provocaba movimientos más lentos en los planetas exteriores (los más alejados del sol).

Los estudios y conclusiones de Johannes Kepler sin duda marcaron un antes y un después en el conocimiento matemático del cosmos, sin embargo, aunque el alemán había descubierto con precisión matemática **cómo se movían los planetas en el sistema solar**, todavía quedaba otra pregunta importante qué resolver, **¿qué los hace moverse y mantenerse en sus órbitas?**

GALILEO GALILEI, EL HOMBRE DE LA RAZÓN.

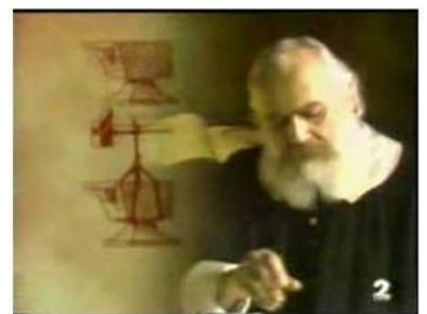
Tomen ustedes un martillo con la mano derecha y una pluma de ave con su mano izquierda, eleven los brazos hasta situar ambos objetos a la misma altura y suéltelos a la vez. No es difícil imaginar lo que sucederá. El martillo caerá en línea recta, cada vez más veloz, hasta chocar pesadamente contra el suelo; la pluma, en cambio, se balanceará lenta y suavemente en el aire, trazando un camino caprichoso arrastrada por la más tenue brisa, hasta aterrizar delicadamente mucho más tarde que el martillo.



Aristóteles decía que los cuerpos más pesados caen a tierra con mayor velocidad que los más livianos. Así fue aceptado durante más de 1900 años, por dos razones: porque lo decía el gran Aristóteles y porque era evidente a los ojos. Lo malo es que extendió su máxima a todos los cuerpos, ya se movieran en el aire o en el vacío, y cuando los razonamientos no se apoyan en la experimentación se suele meter la pata.

En la historia de los científicos perseguidos por la Inquisición, Galileo Galilei ocupa un lugar especial no solo por sus descubrimientos, sino también por su tozudez. A pesar de su condena que le obligó a abjurar de algunas de sus ideas, se mantuvo firme en ellas y siguió ignorando hasta el final las prohibiciones impuestas.

Así estaban las cosas a principios del siglo XVII, cuando Galileo Galilei decidió hacer lo que nadie había hecho hasta entonces: **experimental!** Lo ideal hubiera sido dejar caer un martillo y una pluma en un ambiente sin aire, pero en aquellos tiempos no había medios para crear un vacío artificial. Según cuenta un alumno del sabio, Vincenzo Viciani, Galileo llevó a cabo una demostración pública lanzando cuerpos de distinto peso desde lo alto de la Torre Inclinada de Pisa, un hermoso experimento sobre el que hay dudas porque Galileo nunca lo mencionó en sus escritos.



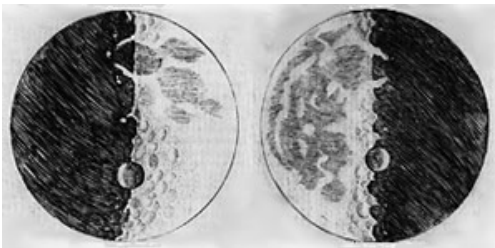
Galileo decía "...la razón debe intervenir cuando los sentidos nos fallan..."

Hijo de una madre noble y un padre burgués, pero ambos venidos a menos. Como primogénito, al joven Galileo le correspondería un día ser el cabeza de familia, por lo que su padre quiso que estudiara medicina y consiguió, tras bastantes esfuerzos, que fuera aceptado en la universidad de Pisa a los dieciséis años. Sin embargo, este pronto se dio cuenta de que la medicina no era su vocación y la dejó para **dedicarse a las matemáticas y a la física**, en las que destacó notablemente.

El italiano Galileo Galilei, contemporáneo de Kepler con el cual tuvo comunicación por cartas, tuvo noticias en 1609 de que en Holanda habían inventado un tubo amplificador, a base de lentes. A los tres meses construyó su primer telescopio, que inmediatamente utilizó para la observación astronómica. Fue el primer ser humano que vio el cielo con un telescopio, por lo que está considerado como el padre de la astronomía moderna.



Galileo estaba convencido de la veracidad del modelo heliocéntrico del Universo de **Copérnico**, donde el Sol estaba situado en el centro.



Observando por su telescopio, dibujó los relieves de la Luna.

Lo primero que observó es que la Luna tiene valles y montañas, cuya altura calculó a partir de sus sombras sobre la superficie lunar. Era tan parecida a la Tierra que a partir de estas observaciones muchos pensaron que la Luna podría

ser un lugar con vida. Galileo también descubrió que el planeta Júpiter tenía lunas.



En el verano de 1612, Galileo observó, con ayuda de su telescopio, la presencia y evolución de las manchas solares, que por cierto le produjo a la larga problemas en su vista (no se debe ver al sol ni de manera directa ni mucho menos a través de un telescopio). Uno de los principales descubrimientos de Galileo es el de la rotación del Sol, que vino a refutar los principios sostenidos por el filósofo griego Aristóteles de perfección e inmutabilidad (sin cambios) de los objetos celestes incluido el Sol. También descubrió las fases del planeta Venus, quien era considerado hasta ese entonces un punto luminoso en el cielo sin estructura. Galileo observó en él la forma de un disco. Descubrió los anillos de Saturno (que le parecían como orejas). Descubrió las 4 Lunas principales de Júpiter, las cuales observó que le daban vueltas al planeta, lo que le sugirió que efectivamente no todo daba vueltas a la Tierra, lo que confirmaba el modelo **heliocéntrico** de Copérnico.

Galileo fue el primero en hablar de **relatividad**, decía que el movimiento era relativo, es decir, diferente de acuerdo al punto de vista del observador. Hizo estudios que después retomó Newton como la idea de la inercia, es decir, los cuerpos tienden a mantener su estado de movimiento o de reposo. Estudió también la caída libre de los cuerpos refutando las ideas de la antigüedad de Aristóteles. Tuvo problemas con la Iglesia Católica en 1615 y posteriormente fue enjuiciado por sus argumentos heliocéntricos y lo condenaron a arresto domiciliario los últimos 10 años de su vida y sus libros fueron prohibidos.

La demostración más impresionante del argumento de Galileo acerca de la caída de los cuerpos tuvo que esperar muchos años, hasta la llegada del primer ser humano a la Luna. Durante uno de los viajes, concretamente el del Apolo 15, el astronauta David Scott dejó caer un martillo y una pluma ante los ojos de millones de espectadores. La ausencia de atmósfera en la Luna dio la razón a Galileo: ambos objetos cayeron con velocidades iguales y golpearon el suelo al mismo tiempo.

ISAAC NEWTON, EL GENIO DE LA FUERZA.

Antes de Newton había dos mundos regidos, aparentemente, por leyes físicas distintas: el **cielo**, situado más allá de la Luna, y la **Tierra**. Isaac Newton unificó ambos creando una física universal que gobierna por igual a las cosas cotidianas y a las más lejanas estrellas. Aún hoy, cuando las ideas de Newton se consideran sólo una parte de un escenario mucho más extenso, descrito por Einstein, nosotros, los ciudadanos de a pie, seguimos viendo el mundo con ojos **newtonianos**. Utilizamos sus leyes tanto para lanzar una pelota como para enviar una nave al espacio sideral.

Las famosas tres leyes de Newton son las siguientes:

Primera Ley: “En ausencia de una fuerza, un cuerpo en reposo permanecerá en reposo y un cuerpo en movimiento permanecerá en movimiento a lo largo de una línea recta y con velocidad constante”.

Segunda Ley: “En la presencia de una fuerza desequilibrante, un objeto experimenta una aceleración”.

Tercera Ley: “Ninguna fuerza aparece aislada, por tanto, a toda fuerza de acción le corresponde la aparición de una fuerza de reacción, simultánea, de la misma intensidad pero de sentido contrario”.

Con una visión tan especial del mundo, Newton, tal vez el más grande genio que jamás haya existido, no podía ser un humano corriente. Era un hombre reservado, arisco, con una sensibilidad especial ante los ritmos de la naturaleza pero insensible ante las personas que lo rodeaban. Si algo atraía su atención, al mismo tiempo el resto del mundo se desvanecía por completo. Cuando era joven desistieron de encargarle trabajos en la granja en la que vivía, si le ordenaban recoger el ganado, el ganado no volvía e Isaac tampoco, al cruzar un puente, se quedaba ensimismado observando la corriente de agua o mirando el vaivén de las hojas mecidas por el viento. Raramente estudiaba, pero, cuando lo hacía, le bastaban unos minutos para comprender las cuestiones que hacían penar durante horas a sus compañeros.

En la Universidad fue un espíritu solitario “Amicus Plato amicus Aristóteles magis amica veritas” -decía (Platón es mi amigo, Aristóteles es mi amigo, pero mi mejor amiga es la verdad”).

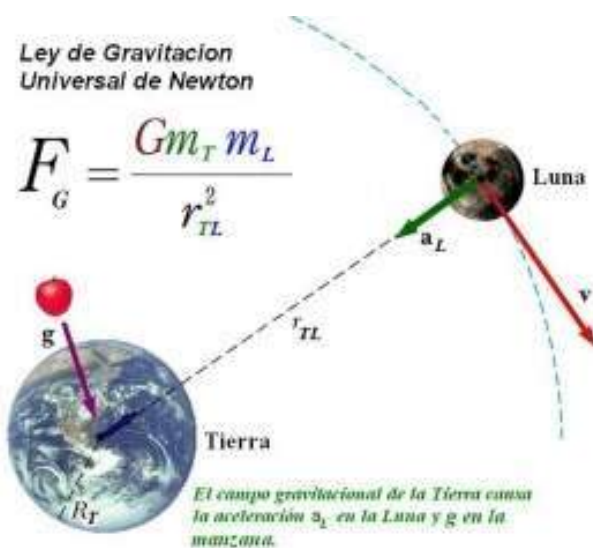
Todo lo estudiaba, todo lo experimentaba y, haciéndolo, se olvidaba de comer y de dormir como si el mundo ajeno a su centro de atención se desvaneciera en la nada. Si no existían suficientes matemáticas para desarrollar un problema, las inventaba.

Un día concibió la teoría grandiosa capaz de explicar el movimiento de la Luna y los planetas. He aquí su relato:

“En aquellos días yo estaba en la flor de mi vida para la invención y pensaba en matemáticas y filosofía más que en cualquier otro campo... Empecé a imaginar que la gravedad se extendía hasta la órbita de la Luna y... a partir de las Leyes de Kepler sobre los tiempos periódicos de los planetas..., deduje que las fuerzas que mantienen a los planetas en sus órbitas deben ser recíprocamente los cuadrados de sus distancias a los centros alrededor de los cuales giran, y por ende comparé la fuerza necesaria para mantener la Luna en su órbita con la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, y hallé que concuerdan con bastante aproximación”.

Cuentan que la inspiración le vino al ver caer una manzana de un árbol frente a la casa de su madre. Sea o no verdad, la humanidad ha visto caer manzanas desde el principio de los tiempos pero nadie, hasta él, tuvo la visión genial de unir, en una misma ley, a la manzana que cae, a la Luna que gira alrededor de la Tierra, a cada planeta o a cada estrella del Cosmos.

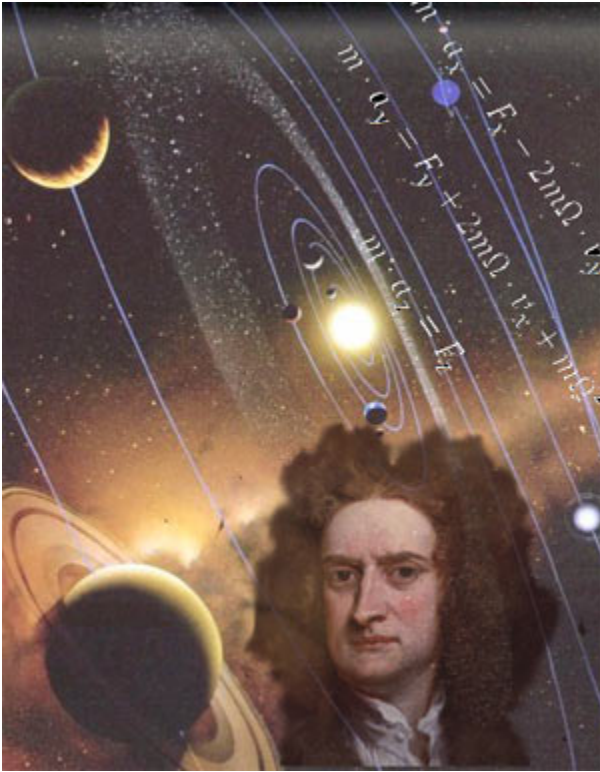
Newton nació el día de Navidad de 1642 (en Inglaterra todavía se utilizaba el calendario juliano). Mucho tiempo después, en la Navidad de 1968, una nave tripulada, de nombre Apolo 8, orbitó la Luna. En su interior tres seres humanos fueron testigos por primera vez de la extraordinaria diversidad de cráteres que revisten la cara oculta de nuestro satélite. En una de las comunicaciones con la Tierra, el astronauta Bill Anders hablaba con su familia cuando su hijo pequeño le preguntó: “¿Quién impulsa la nave?” Anders respondió: “Creo que Isaac Newton hace ahora la mayor parte del trabajo”.



Isaac Newton (1643-1727), basado en los trabajos del físico italiano Galileo Galilei, en el trabajo observacional de Tycho Brahe y en las observaciones y leyes del movimiento planetario del astrónomo alemán Johannes Kepler, crea las leyes del movimiento universal, y en ellas explicó el movimiento de los planetas alrededor del Sol y con precisión matemática pudo predecir la posición de ellos y el movimiento de otros cuerpos celestes.

Con todas las aportaciones de Galileo, Kepler y Newton, una nueva teoría del Universo tomó fuerza, aquella en la que todos los planetas incluida la Tierra, giraban alrededor del Sol en trayectorias no circulares perfectas, sino en trayectorias elípticas, debido a la fuerza de gravedad que el Sol

imprimía sobre ellos. Además, en esta teoría se aceptaba contundentemente que ni el Sol ni la Tierra estaban en el centro del Universo.



Tocaba a Newton completar los esfuerzos científicos de Copérnico, Tycho Brahe, Kepler e inclusive Galileo. Newton descubriría la fuerza que mantiene al universo unido. Isaac fue un científico profundamente religioso que creía que la ciencia podía revelarnos el gran plan de Dios para el universo.

Newton comenzó a construir sobre la base de estos grandes de la ciencia, si bien ellos habían descubierto el **cómo** funciona la mecánica celeste, tocaba a Newton descubrir el **porqué** de todo esto, por ejemplo, que la Luna gira alrededor de la Tierra, el por qué los objetos caen hacia la Tierra y el por qué la Tierra describe una órbita elíptica armónica alrededor del Sol.

Nadie pensó que estos fenómenos estuvieran relacionados, solamente Newton lo intuyó porque pensaba que el universo entero se regía por una misma ley, la ley de la gravedad. La gravedad es la fuerza de atracción que ejercen entre sí todos los cuerpos por el solo hecho de poseer masa, es decir, una cantidad de materia.

Así, en **1686 Newton** publicó su obra maestra, los “**Principia**” en donde desarrolló toda su teoría del movimiento planetario y también terrestre. Por esta obra es considerado el más grande científico de todos los tiempos.

Y así, por fin teníamos un modelo preciso de nuestro sistema solar, y además, leyes que podían predecir el movimiento tanto de objetos aquí en la Tierra como objetos de cualquier tamaño lejos de la Tierra como los demás planetas, lunas, asteroides, cometas, la caída de los cuerpos en la Tierra, la trayectoria de una bala de cañón, etc. Fue el principio de la Física Moderna y además, por si fuera poco, Newton se dio tiempo de inventar el cálculo integral.



Sin lugar a dudas, se habían dado saltos importantísimos en el conocimiento del cielo. Se pasó de la concepción de una Tierra plana vagando por aguas infinitas y como centro del Universo, a

una Tierra esférica girando alrededor del Sol, con una serie de planetas también moviéndose, cuyas posiciones ahora podían calcularse y predecirse matemáticamente y confirmarse mediante la observación en telescopios. Todo esto sentó las bases de la **Astronomía moderna**.