

Historia de la Astronomía

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

International Astronomical Union, Williams College (Massachusetts, USA), Instituto Astronómico de la Academia Rumana (Bucarest, Rumania), Universidad de Texas (Austin, USA)

Resumen

Esta breve reseña de la Historia de la Astronomía ofrece una descripción de la presencia en todos los pueblos de la astronomía desde sus orígenes, seguido de un resumen de los acontecimientos clave en el desarrollo de la astronomía en Europa occidental hasta la época de Isaac Newton.

Objetivos

- Dar una visión general de la historia de la astronomía en diferentes áreas del globo de una manera superficial, pero con el objetivo de mostrar que la astronomía ha sido y es de interés para todos los pueblos.
- Mencionar las grandes figuras de la historia de la astronomía que dieron un vuelco a la forma de enfocar dicha materia hasta llegar a Newton: Tycho-Brahe, Copérnico, Kepler y Galileo.
- La brevedad necesaria en una conferencia no permite desarrollar la historia de la astronomía en nuestros días, pero estos contenidos están presentes en otros capítulos de este libro.

Pre-Historia

Con el cielo oscuro, los pueblos antiguos podían ver las estrellas: se levantaban en la parte oriental del cielo, se movían hacia arriba, y se ponían en el oeste. En una dirección, las estrellas se movían en círculos diminutos. Hoy en día, cuando miramos hacia el norte, vemos una estrella en esa posición - la Estrella del Norte, o Polar. No es una estrella muy brillante: 48 estrellas en el cielo son más brillantes que ella, pero esta en un lugar interesante. En tiempos antiguos, otras estrellas se alinearon con el Polo Norte de la Tierra, o, a veces, no había estrellas en la vecindad del polo.

Desde que la gente comenzó a mirar el cielo, se dio cuenta de que algunos de los objetos más brillantes no salen y se ponen exactamente con las estrellas. Por supuesto, la Luna es, de lejos, el objeto más brillante del cielo nocturno. Se eleva casi una hora más tarde cada noche, y aparece en un contexto diferente de las estrellas. Su forma también cambia, lo que ahora llamamos fases.

Pero algunas de estas luces en el cielo se mueven de forma diferente de las otras. Estas fueron llamadas errantes o planetas por los griegos. Prácticamente todas las civilizaciones de la Tierra se dieron cuenta, y nombraron, estos objetos.

Algunos pueblos antiguos construyeron monumentos como círculos, como Stonehenge en Inglaterra, o tumbas como las de Menorca, en España, que estaban alineadas con la Cruz del Sur en 1000 a.C. Los babilonios fueron grandes estudiosos de los fenómenos astronómicos, pero fueron los griegos los que construyeron la disciplina que trata de explicar el firmamento.

Los griegos

La mayoría de los griegos antiguos, como Aristóteles (384 a.C - 322 a.C), pensaban que la Tierra estaba en el centro del Universo, y que éste estaba hecho de cuatro elementos: Tierra, Aire, Fuego y Agua. Más allá de la Tierra estaba un quinto elemento, el éter (o quinta esencia), que constituía los puntos de la luz en el cielo.

Se dieron cuenta de que algunos de los objetos se movían de forma diferente al resto de las estrellas. Estos se bautizaron como “errantes” o planetas. En su mayoría, se mueven en la misma dirección que las estrellas: salen por el este y se dirigen hacia el oeste. Pero a veces, parece que hagan una pausa y vayan hacia atrás con respecto a las estrellas. Este movimiento hacia atrás se llama movimiento “retrógrado”, para diferenciarlo del movimiento hacia adelante, llamado “directo”.

El astrónomo griego Claudio Ptolomeo (90-168) trabajó en Alejandría en el norte de África en el siglo II d.C. Ptolomeo quería ser capaz de predecir las posiciones de los planetas y llegó a una solución matemática. Siguiendo a Aristóteles, puso a la Tierra en el centro del Universo. La Luna y los planetas estaban a su alrededor en círculos anidados que se hacían grandes con la distancia a la Tierra. ¿Qué pasaría si los planetas se movieran realmente en pequeños círculos cuyos centros estuvieran en los círculos grandes? Entonces, en algunos de los movimientos de los pequeños círculos, estarían moviendo más rápidamente hacia atrás que los centros de estos círculos se mueven hacia adelante. Para nosotros, desde la Tierra, veríamos que los planetas se mueven hacia atrás. Esos pequeños círculos se llaman “epiciclos”, y los grandes círculos se llaman “deferentes”. La idea de Ptolomeo de que los círculos se mueven en círculos tuvo influencia en la ciencia occidental por más de un millar de años. Yendo desde la observación a la teoría del uso de las matemáticas fue un paso único e importante en el desarrollo de la ciencia occidental.

A pesar de que no tenían los mismos nombres para los objetos que observaron, prácticamente todas las culturas en la Tierra miraban el cielo. Ellos usaron la información para establecer calendarios y predecir los ciclos de las estaciones para la siembra, la cosecha, o la caza, así como las ceremonias religiosas. Como los griegos, algunos de ellos desarrollaron las matemáticas muy sofisticadas para predecir los movimientos de los planetas o eclipses, pero esto no quiere decir que se trató, de lo que podríamos llamar, una teoría científica. He aquí algunos ejemplos:

África

Se situaron piedras de pie en Nabta, en el Desierto de Nubia, unos 1000 años antes de Stonehenge. Los egipcios utilizaron la astronomía para alinear sus pirámides, así como ampliar sus creencias religiosas al incluir la ciencia de las estrellas. Petroglifos en Namoratunga (Kenia) que comparten aspectos de marcas de ganado. La tradición de las estrellas viene de todas las áreas de África, de la región de Dogon de Malí, de África occidental, de Etiopía y de Sudáfrica.

Astronomía islámica

Muchos adelantos astronómicos se hicieron en el mundo islámico, especialmente durante la Edad de Oro Islámica (de los siglos VIII al XV), y en su mayoría escritos en su lengua árabe. Gran parte se desarrolló en el Oriente Medio, Asia Central, Al-Andalus, el norte de África, y más tarde en el Lejano Oriente y la India. Un número significativo de estrellas en el cielo, como Aldebarán y Altair, y términos astronómicos, tales como alidada, azimut, almucantar, todavía se mencionan por sus nombres árabes. Los árabes inventaron los números arábigos, incluyendo el uso del cero. Ellos estaban interesados en determinar la posición del Sol y la hora del día (ya que era útil para sus servicios religiosos). También hicieron muchos descubrimientos en óptica. Gran número de obras en griego se han conservado para la posteridad a través de sus traducciones al árabe.

Las primeras observaciones sistemáticas en el Islam se llevaron a cabo bajo el patrocinio de Al-Maamun (786-833). Aquí, y en muchos otros observatorios privados de Damasco a Bagdad, se midieron los grados del meridiano, se establecieron los parámetros solares y se emprendieron observaciones detalladas del Sol, la Luna y los planetas. Algunos instrumentos usados por la Astronomía Islámica fueron: globos celestes y esferas armilares, astrolabios, relojes de sol y cuadrantes.



Fig. 1: Astrolabio Árabe

Las Américas:

Norte América

Los pueblos nativos de América del Norte también dieron nombre a sus constelaciones del cielo y contaban historias que se transmitían a través de la tradición oral. Algunos artefactos, tales como ruedas de piedra o los alineamientos en la construcción, permanecen como evidencia de su uso de la astronomía en la vida cotidiana.

Astronomía maya

Los mayas fueron una civilización mesoamericana, que destaca por ser la única, que tuvo lengua escrita, totalmente desarrollada de la América precolombina, arte, arquitectura, matemáticas y sistemas astronómicos. Desde los primeros tiempos, durante el período Preclásico (c. 2000 a.C a 250 d.C), las ciudades mayas alcanzaron su más alto grado de desarrollo durante el período Clásico (c. 250 d.C a 900 d.C), y continuó durante todo el período post-clásico hasta la llegada de los españoles. Los pueblos mayas no desaparecieron, ni en el momento de la disminución del período Clásico, ni con la llegada de los conquistadores españoles y la posterior colonización española de las Américas.

La astronomía maya es una de las astronomías conocidas más antiguas en el mundo, sobre todo debido a su famoso calendario, mal interpretado ahora como la predicción del fin del mundo. La maya parece ser la única pre-telescópica civilización que demuestra el conocimiento de la Nebulosa de Orión como difusa, es decir, no un puntito estelar.



Fig. 2: Chichén Itzá (México) son unos importantes restos arqueológicos de la astronomía maya.

Los mayas estaban muy interesados en los pasajes cenitales, el momento en que el Sol pasa directamente sobre la cabeza del observador. Las latitudes de la mayoría de sus ciudades se encuentran por debajo del Trópico de Cáncer, estos pasajes cenitales tendrían lugar dos veces al año a igual distancia del solsticio. Para representar esta posición del Sol sobre sus cabezas, los mayas tenían un dios llamado Dios Descendente.

Venus era el objeto astronómico más importante para los mayas, incluso más que el Sol. El calendario maya era un sistema de calendarios y almanaques utilizados en la civilización maya de la Mesoamérica precolombina, y en algunas comunidades mayas modernas en el altiplano de Guatemala y Oaxaca, México. Aunque el calendario mesoamericano no se originó con los mayas, sus posteriores ampliaciones y mejoras fueron las más sofisticadas. Junto con los de los aztecas, los calendarios mayas son los mejor documentados y más entendidos.

Astronomía azteca

Los aztecas eran grupos étnicos del centro de México, en particular los grupos que hablaban la lengua náhuatl y que dominaron gran parte de Mesoamérica en los siglos XIV, XV y XVI, en un período conocido como el post-clásico tardío en la cronología mesoamericana.

La cultura y la historia azteca son conocidas, principalmente, a través de las pruebas arqueológicas encontradas en excavaciones como la del famoso Templo Mayor en Ciudad de México y en muchas otras, también es conocida por los códices indígenas de corteza de papel, desde relatos de testigos por los conquistadores españoles o por descripciones de los siglos XVI y XVII de la cultura azteca y la historia escrita por clérigos españoles y letrados aztecas que sabían el idioma español o náhuatl.

El Calendario Azteca o Piedra del Sol, es el primer monolito de lo que queda de la cultura prehispánica en Centroamérica y Sudamérica. Se cree que fue tallado entorno al año 1479. Este es un monolito circular con cuatro círculos concéntricos. En el centro aparece el rostro de Tonatiuh (Dios Sol), adornado con Jade y sosteniendo un cuchillo en la boca. Los cuatro soles o "mundos" anteriores están representados por figuras de forma cuadrada que flanquean el Quinto Sol, en el centro. El círculo exterior consta de 20 áreas que representan los días de cada uno de los 18 meses que conformaron el calendario azteca. Para completar el año solar de 365 días, los aztecas incorporaron 5 días de sacrificio, o Nemontemi.

Al igual que casi todos los pueblos antiguos, los aztecas agruparon en asociaciones las estrellas aparentemente brillantes (las constelaciones): Mamalhuaztli (Cinturón de Orión), Tianquiztli (las Pléyades), Citlaltlactli (Géminis), Citlalcolotl (Escorpio) y Xonecuilli (La Osa Menor, o Cruz del Sur para otros, etc). Los cometas fueron llamados "las estrellas que fuman."

Los grandes períodos de tiempo en la cosmología azteca están definidos por las eras de soles diferentes, cada uno de los finales fue determinado por desastres cada vez más importantes, como la destrucción de los jaguares, huracanes, incendios, inundaciones o terremotos.

Astronomía Inca

La civilización Inca es una civilización pre-colombina del Grupo Andino. Empieza a principios del siglo XIII en la cuenca del Cuzco, en el actual Perú, y luego creció a lo largo del Océano Pacífico y los Andes, cubriendo la parte occidental de América del Sur. En su apogeo, se extendió desde Colombia hasta Argentina y Chile, a través del Ecuador, Perú y Bolivia.

Los incas consideraban que su Rey, Sapa Inca, el "hijo del Sol". Sus miembros identificaban varias áreas oscuras o nebulosas oscuras en la Vía Láctea como animales, y se asociaba su aparición con las lluvias estacionales.

Los incas usaron un calendario solar para la agricultura y un calendario lunar para las fiestas religiosas. Según las crónicas de los conquistadores españoles, en las afueras de Cuzco, en el actual Perú había un gran calendario, que consistía en 12 columnas de 5 metros de altura cada una que se podían ver desde lejos. Con eso, la gente podía saber la fecha. Celebraban dos grandes fiestas, el Inti Raymi y Capac Raymi, el solsticio de invierno y verano, respectivamente.

Los incas tenían sus propias constelaciones: el Yutu (perdiz) era la zona oscura de la Vía Láctea que llamamos el Saco de Carbón. Llamaron a las Pléyades cúmulo Qollqa. Con las estrellas de la constelación de Lyra, hicieron un dibujo de uno de los animales más conocidos por ellos, y lo llamaron Pequeña Llama de Plata o Llama de color, cuya estrella más brillante (Vega) fue Urkuchillay, aunque según otros, ese era el nombre de toda la constelación. Por otra parte estaban los Machacuay (serpiente), la Hamp'atu (sapo), la Atoq (Fox), el Kuntur, etc.

Las grandes ciudades se elaboraron siguiendo las alineaciones celestes y el uso de los puntos cardinales.

En las afueras de Cuzco, había un importante templo dedicado al Sol (Inti), del que salían algunas líneas de forma radial que dividían el valle en 328 templos. Ese número es todavía un misterio, pero una posible explicación lo relaciona con la astronomía: coincide con los días que contienen doce meses lunares. Y los 37 días que faltan hasta los 365 días del año solar coincide con los días en que el cúmulo de las Pléyades no es observable desde el Cuzco.

India

La primera mención textual que se da en la literatura religiosa de la India (segundo milenio a.C) se convirtió en una tradición establecida por el primero milenio a.C, cuando las distintas ramas auxiliares de la educación comenzaron a tomar forma.

Durante los siguientes siglos, una serie de astrónomos indios estudiaron varios aspectos de las ciencias astronómicas, y siguieron un discurso global con otras culturas. Gnomons y esferas armilares eran instrumentos comunes.

El calendario hindú utilizado en la antigüedad ha sufrido muchos cambios en el proceso de regionalización, y hoy en día existen varios calendarios regionales de la India, así como un calendario nacional. En el calendario hindú, el día comienza con la salida del Sol local. Se le adjudicarán cinco "propiedades", llamada angas.

La eclíptica se divide en 27 nakshatras, que se llaman indistintamente casas lunares o asterismos. Estas reflejan el ciclo de la luna contra las estrellas fijas, de 27 días y 72 horas, siendo la parte fraccionaria compensada intercalando un nakshatra 28. Los cálculos de los nakshatra parecen haber sido bien conocidos en época del Rig Veda (segundo y primer milenio a.C).

China

Los chinos podrían ser considerados como los observadores más persistentes y precisos de los fenómenos celestes en cualquier parte del mundo antes de los árabes. Hicieron registros detallados de las observaciones astronómicas que se iniciaron durante el período de los Reinos Combatientes (siglo IV a.C) y prosperaron a partir del período Han.

Algunos elementos de la astronomía india llegaron a China con la expansión del budismo después de la Dinastía Han (25-220), pero la incorporación más detallada de la Astronomía India ocurrió durante la dinastía Tang (618-907).

La astronomía se revitalizó bajo el estímulo de la cosmología y la tecnología occidental después de que los jesuitas establecieron sus misiones. El telescopio se introdujo en el siglo XVII. El equipo y la innovación utilizada por la astronomía China: esfera armilar, globo celeste, la esfera armilar de accionamiento hidráulico y la torre del globo celeste.

La astronomía china se centró más en las observaciones que en la teoría. Según los escritos de los jesuitas, que visitaron Pekín en el siglo XVII, los chinos tenían datos desde el año 4000 a.C, entre ellos la explosión de las supernovas, los eclipses y la aparición de cometas.

En el año 2300 a.C, desarrollaron el primer calendario solar conocido, y en el año 2100 a.C registraron un eclipse solar. En el año 1200 a.C describieron manchas solares, que llamaron "puntos oscuros" en el Sol. En el año 532 a.C, dejaron evidencia de la aparición de una estrella supernova en la constelación del Águila, y en los 240 y 164 a.C dejaron evidencia del paso del cometa Halley. En el 100 a.C los chinos inventaron la brújula con la que marcaron la dirección norte.

Y en tiempos más recientes, determinaron que la precesión de los equinoccios era de 1 grado cada 50 años, registraron más supernovas y encontraron que la cola de los cometas siempre apunta en la dirección opuesta a la posición del Sol.

En el año 1006 se observó la aparición de una supernova tan brillante que podía verse durante el día. Se trata de la supernova más brillante que ha sido reportada. Y en 1054, se observó una

supernova, los restos de lo que más tarde se llamaría la Nebulosa del Cangrejo.

Su esfera celeste difiere de la occidental. El ecuador celeste se dividió en 28 partes, llamadas "casas", y hubo un total de 284 constelaciones con nombres como Osa, Tres Pasos, Palacio Supremo, trípode, lanza o arpón. El Año Nuevo Chino comienza el día de la primera luna nueva después de que el Sol entre en la constelación de Acuario.

El erudito científico chino Shen Kuo (1031-1095) no sólo fue la primera persona en la historia que describió la brújula de aguja, sino que también hizo una medición más precisa de la distancia entre la Estrella Polar y el Norte verdadero que se podría utilizar para la navegación. Shen Kuo y Pu Wei también establecieron un proyecto de observación astronómica nocturna en un período de cinco años consecutivos, un intenso trabajo que incluso puede competir con el trabajo posterior de Tycho Brahe en Europa. Para este proyecto, también trazaron las coordenadas exactas de los planetas en un mapa de estrellas y crearon las teorías del movimiento planetario, incluyendo el movimiento retrógrado.

Europa Occidental

Después de la caída de Roma, el conocimiento recogido por los griegos fue apenas transmitido a través del trabajo de los monjes que con frecuencia copiaban manuscritos que no tenía ningún sentido para ellos. Con el tiempo, con el surgimiento de las escuelas de la catedral y las primeras universidades, los académicos comenzaron a hacer frente a los enigmas que la ciencia ofrecía. A través del comercio (y saqueo), manuscritos nuevos vinieron del oriente a través de las Cruzadas, y el contacto con los eruditos Islámicos (sobretudo en España) permitieron realizar las traducciones al Latín. Algunos eruditos intentaron extraer la información en un orden que se ajustara a un punto de vista cristiano.

Genio matemático: Nicolás Copérnico de Polonia

En el 1500, Nicolás Copérnico (1473-1543) llegó a la conclusión que el Universo sería más sencillo si el Sol, en lugar de la Tierra, fuese su centro. Entonces, el movimiento retrógrado de los planetas podría ocurrir incluso si todos los planetas simplemente orbitaran alrededor del Sol en círculos. El movimiento hacia atrás sería una ilusión óptica que se produciría cuando adelantamos a otro planeta. Del mismo modo, si nos fijamos en el coche que está a la derecha, mientras que ambos estamos detenidos en un semáforo, cuando usted comienza a moverse en primer lugar, podría pensar que el otro coche se está moviendo hacia atrás.

Copérnico compartió sus ideas con los matemáticos, pero no las publicó hasta que un joven científico, Georg Reticus, lo convenció y lo arregló para hacer la publicación en otra ciudad. Una copia impresa de *De revolutionibus orbium Celestium* llegó justo cuando Copérnico estaba muriendo en 1543. Él podría no haber visto nunca el prefacio sin firmar escrito por el editor que sugería que el libro era una manera matemática para calcular la posición, no la verdad real.

Siguiendo a Aristóteles, Copérnico usó círculos y añadió algunos epiciclos. Su libro siguió la estructura del libro de Ptolomeo, pero su devoción a la simplicidad matemática fue influenciada por Pitágoras.

El libro de Copérnico contiene (figura 3) tal vez el diagrama más famoso de la historia de la ciencia. Se muestra el Sol en el centro de una serie de círculos. Copérnico calculó las velocidades a las que los planetas giraban alrededor del Sol, ya que sabía cuáles iban más rápido en el cielo. De este modo obtuvo los planetas en el orden correcto: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, y consiguió las distancias relativas de los planetas también correctas. Sin embargo, sus cálculos realmente no predecían las posiciones de los planetas mucho mejor que el método que Ptolomeo.

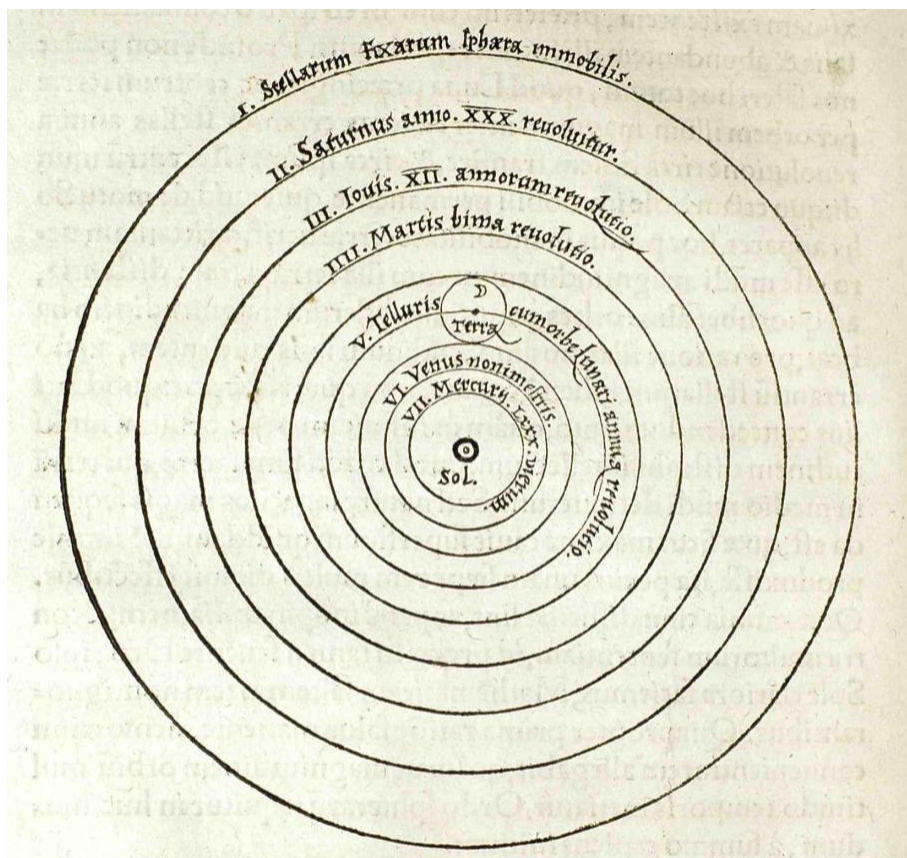


Fig. 3. El diagrama de Copérnico primero que muestra por primera vez el Sol en el centro de lo que ahora llamamos el Sistema Solar. Este diagrama está en la primera edición de *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre las revoluciones de los orbes celestes), publicado en 1543.

En Inglaterra, Leonard Digges escribió un libro, en inglés, sobre la Tierra y el Universo. En 1576, su hijo Thomas escribió un apéndice en el que se describían las nuevas ideas de Copérnico. En el apéndice, una versión en inglés del diagrama de Copérnico apareció por primera vez (figura 4). Digges también mostró las estrellas a diferentes distancias del Sistema Solar, no sólo en una esfera celeste.

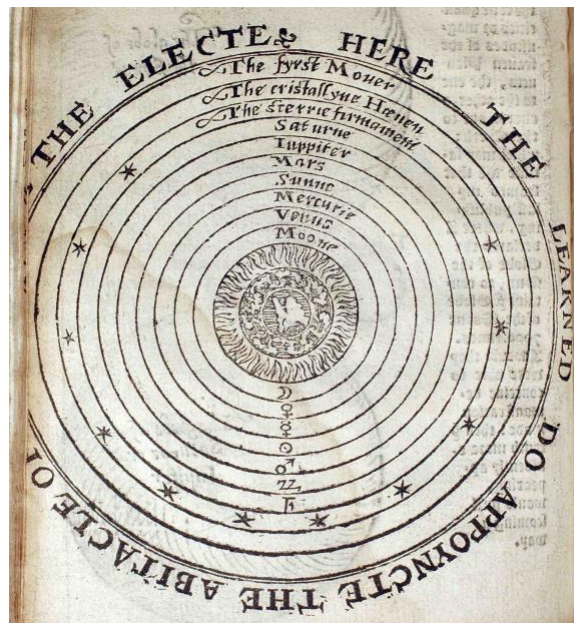


Fig. 4. El primer diagrama de Copérnico en inglés del Apéndice de Thomas Digges *A un pronóstico eterno*, un libro escrito por su padre, publicado por primera vez en 1556. Contenía sólo un diagrama de Ptolomeo. El Apéndice de Thomas Digges apareció por primera vez en 1576; este diagrama es 1596, fecha de la impresión.

Genio Observacional: Tycho Brahe de Dinamarca

El aristócrata danés Tycho Brahe (1546-1601) se hizo cargo de una isla frente a la costa de Copenhague, y recibió el alquiler de los residentes. En esta isla, Hven, utilizó su riqueza para construir un gran observatorio con los instrumentos más grandes y mejores. Aunque éstos fueron instrumentos pre-telescópicos, eran notables porque permitían mediciones más precisas de las posiciones de las estrellas y los planetas.

Tycho fue precursor de la universidad de hoy, con los científicos visitantes que iban a trabajar con él. Él hizo cada vez mejores dispositivos de observación para medir las posiciones de las estrellas y los planetas, y mantenía registros precisos.

Pero en su celo científico, se olvidó de algunas de sus responsabilidades hacia su monarca, y cuando los nuevos reyes llegaron, fue forzado a irse. Él optó por trasladarse a Praga, en el continente de Europa, llevándose con él sus máquinas de impresión y las páginas que ya habían sido impresas, sus registros y sus instrumentos móviles.

Tycho consiguió mejorar la exactitud de las observaciones científicas. Sus observaciones precisas de un cometa, a diferentes distancias, le mostraron que las esferas no tienen que estar anidadas con la Tierra en el centro. Por lo tanto, él hizo su propio modelo del Universo -un híbrido entre el modelo de Ptolomeo y Copérnico: el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, mientras que los

otros planetas giran alrededor del Sol. Tycho todavía tenía círculos, pero a diferencia de Aristóteles, él permitió a los círculos que se cruzaran entre sí.

Valoramos a Tycho principalmente por el tesoro de observaciones de alta calidad de las posiciones entre las estrellas del planeta Marte. Tycho invitó, a unirse a él, a un joven matemático, Johannes Kepler. Es a través de Kepler que la fama de Tycho es largamente reconocida.

Utilizando Matemáticas: Johannes Kepler de Alemania

Como profesor en Graz, Austria, el joven Johannes Kepler (1571 - 1630) recordaba su infancia interesada en la astronomía, debido al cometa y al eclipse lunar que él había visto. Se dio cuenta de que hay cinco formas sólidas formadas por caras iguales, y pensó que si estos sólidos se anidan y separan por esferas, podrían corresponder a los seis planetas conocidos. Su libro, *Mysterium Cosmographicum* (Misterio del Cosmos), publicado en 1596, contenía uno de los esquemas más bellos de la historia de la ciencia (figura 5). En él, el anidó un icosaedro, un octaedro, un dodecaedro, un tetraedro y un cubo, con veinte, ocho, doce, cuatro y seis lados, respectivamente, para mostrar la distancia de los planetas entonces conocidos. El diagrama, aunque muy bello, es completamente erróneo. Sin embargo, la habilidad matemática de Kepler le valió una entrevista con Tycho.

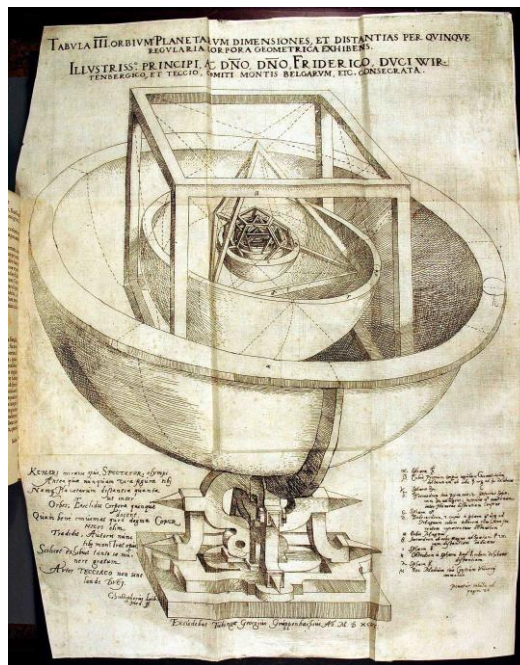


Fig. 5: Diagrama desplegable de Kepler de su *Cosmographicum Mysterium* (Misterio del Cosmos), publicado en 1596. Su pensamiento de la distribución geométrica del Sistema Solar fue sustituido en la década siguiente por sus arreglos de los planetas de acuerdo con las dos primeras de sus tres leyes del movimiento planetario, un sistema que es válido hasta hoy.

En 1600, se convirtió en uno de los asistentes de Tycho, e hizo cálculos con los datos que Tycho había acumulado. Después, Tycho fue a una cena formal y bebió abundantemente. Según la historia, el protocolo le impidió levantarse de la mesa, y terminó con un estallido de vejiga. Su muerte rápida y dolorosa fue seguida atentamente en su diario, y está bien documentada.

Pero Kepler no obtuvo los datos de inmediato. Por un lado, los datos eran una de las pocas cosas valiosas que los hijos de Tycho podían heredar, ya que Tycho se había casado con una plebeya y no se le permitió legar bienes reales. Pero Kepler pudo finalmente tener acceso a los datos de Tycho de Marte, y trató de hacer que encajaran sus cálculos. Para hacer sus cálculos precisos, incluso Kepler elaboró su propia tabla de logaritmos.

Los datos que Kepler tenía de Tycho eran de la posición de Marte en el cielo, sobre un fondo de estrellas. Trató de calcular el movimiento que debería ser real alrededor del Sol. Durante mucho tiempo, trató de encajar en un círculo o en una órbita con forma de huevo, pero él no pudo relacionar las observaciones con suficiente precisión. Finalmente, lo trató con una figura geométrica llamada elipse, una especie de círculo aplastado. ¡Se ajustaba! El descubrimiento es uno de los más grandes en la historia de la astronomía, y aunque Kepler lo aplicó por primera vez para Marte y para otros planetas de nuestro Sistema Solar, nosotros ahora lo aplicamos incluso para los cientos de planetas que hemos descubierto alrededor de otras estrellas.

El libro de Kepler de 1609, *Astronomia Nova* (Nueva astronomía), contenía las dos primeras de sus tres leyes del movimiento:

La primera ley de Kepler: La órbita de los planetas alrededor del Sol son elipses, con el Sol en un de sus focos.

La segunda ley de Kepler: Una línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Una elipse es una curva cerrada que tiene dos puntos clave en ella, que se conocen como focos. Para dibujar su propia elipse, se ponen dos puntos en una hoja de papel, cada uno es un foco. A continuación, tome un pedazo de cuerda más larga que la distancia entre los focos. Péguelos en los focos. A continuación, ponga un lápiz en la cuerda, tirando de ella (tensándola), y suavemente mueva el lápiz de lado a lado. La curva que se genere será un lado de una elipse, es evidente cómo mover el lápiz para dibujar el otro lado. Este experimento con la cuerda muestra uno de los puntos clave que definen una elipse: la suma de las distancias desde el punto de la elipse a cada foco se mantiene constante. Un círculo es un tipo especial de elipse donde los dos puntos están en uno encima del otro.

Kepler mantuvo la búsqueda de armonías en los movimientos de los planetas. Él asoció las velocidades de los planetas con notas musicales, las notas agudas que corresponden a los planetas que se desplazan más rápidamente, concretamente, Mercurio y Venus. En 1619, publicó su obra

más importante *Harmonices Mundi* (La armonía de los mundos). En él (figura 6), él incluía no sólo pentagramas con las notas, sino también lo que llamamos su tercera ley del movimiento planetario:

Tercera Ley de Kepler del movimiento planetario: El cuadrado del periodo de la órbita de un planeta alrededor del Sol es proporcional al cubo del tamaño de su órbita.

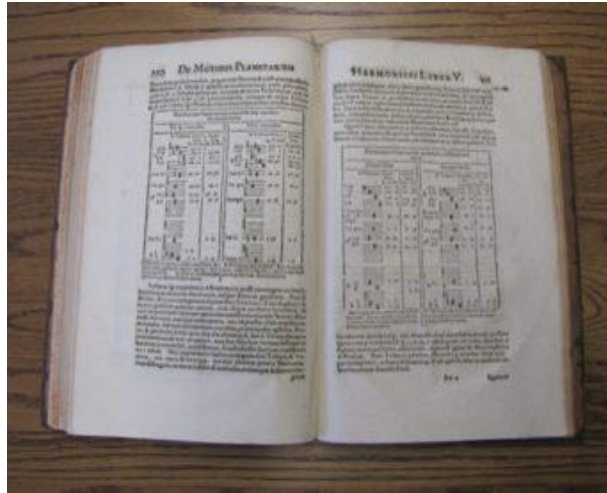


Fig. 6: De Harmonices Kepler Mundi (El armonía del mundo), publicado en 1619.

Los astrónomos suelen medir las distancias entre los planetas en términos de las Unidades Astronómicas, que corresponden a la distancia media entre la Tierra y el Sol, o 150 millones de kilómetros.

| | | |
|---------|----------|-------------|
| Mercury | 0.387 AU | 0.240 años |
| Venus | 0.723 AU | 0.615 años |
| Tierra | 1 AU | 1 año |
| Marte | 1.523 AU | 1.881 años |
| Júpiter | 5.203 AU | 11.857 años |
| Saturno | 9.537 AU | 29.424 años |

Tabla 1: Distancias desde el Sol y periodos de los planetas en la época de Kepler.

Elevando al cuadrado la primera columna y al cubo la segunda columna, veremos que son bastante iguales. Las diferencias provienen de la aproximación, no del mundo real, aunque con más decimales las influencias de los otros planetas podrían ser detectadas.

Descubrimientos con el telescopio: Galileo Galilei de Italia

El año 2009 fue el Año Internacional de la Astronomía, declarado por primera vez por la Unión Astronómica Internacional, y luego por la UNESCO, y finalmente por la Asamblea General de las Naciones Unidas. ¿Por qué? Se conmemoró el uso del telescopio en el cielo por Galileo 400 años antes, en 1609.

Galileo (1564-1642) fue profesor en Padua, parte de la República de Venecia. Oyó hablar de un invento holandés que podría hacer que los objetos distantes parecieran estar más cerca. A pesar de que no había visto ninguno, descubrió lo que las lentes deberían contener y construyó uno. Mostró su dispositivo a los nobles de Venecia como un proyecto militar y comercial, lo que les permitiría ver a los barcos en el mar más lejos que nunca. Su invento fue un gran éxito.

Entonces tuvo la idea de apuntar un telescopio hacia arriba. A pesar de que el telescopio era difícil de usar, tenía un campo de visión muy estrecho, y era difícil de apuntar, él tuvo éxito en ver parte de la Luna y dándose cuenta de que había muchas estructuras en ella. Debido a su formación como pintor en la Italia del Renacimiento, se dio cuenta de que la estructura representaba la luz y la sombra, y que él estaba viendo montañas y cráteres. De la longitud de las sombras y la forma, de cómo cambiaban con la iluminación cambiante del Sol, incluso podía imaginar cuan altas eran. Unos meses antes, el inglés Thomas Harriot había señalado con un telescopio similar a la Luna, pero sólo había dibujado algunos garabatos y dibujos borrosos. Harriot, pero, no estaba interesado en la publicación o en la gloria, y su obra no se conoció hasta después de su muerte.

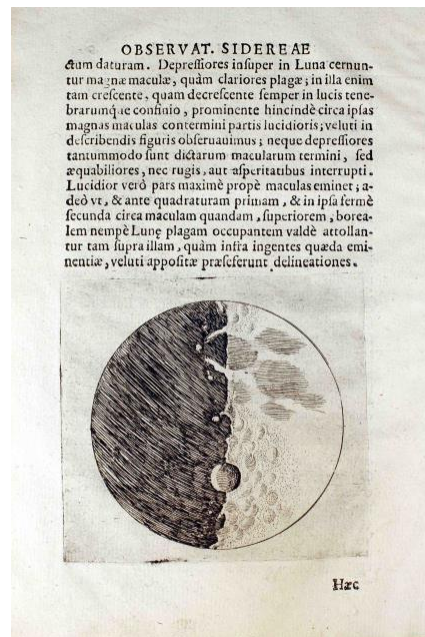


Fig. 7a: Uno de los dos telescopios supervivientes de Galileo llegaron al Instituto Franklin en Filadelfia en 2009, en su primera visita a los Estados Unidos. Nótese que la parte externa de la lente está cubierta con un anillo de cartón. Al ocultar la parte exterior de la lente, que fue la parte menos precisa, Galileo mejoró la calidad de sus imágenes (Foto: Jay M. Pasachoff). Fig. 7b: Una página del Sidereus Nuncius de Galileo (El mensajero de los astros),

publicado en 1610, mostrando un grabado de la Luna. El libro fue escrito en latín, la lengua de los eruditos europeos. El libro incluye una amplia cobertura del movimiento relativo de las cuatro lunas principales de Júpiter.

Una lente que Galileo utilizó para sus descubrimientos se conserva, agrietada, en el Museo de Historia de la Ciencia en Florencia, Italia, y dos telescopios completos, que han sobrevivido, también están allí (figura 7a).

Galileo comenzó a escribir sus descubrimientos a finales de 1609. Encontró no sólo montañas y cráteres en la Luna, sino también que la Vía Láctea estaba hecha de muchas estrellas, al igual que ciertos asterismos. Luego, en enero de 1610, se encontró con cuatro 'estrellas' cerca de Júpiter que se movían con Júpiter y que cambiaban de posición de noche a noche. Eso marcó el descubrimiento de las lunas principales de Júpiter, que ahora se llaman los satélites galileanos. Él escribió sus descubrimientos en un libro delgado llamado *Sidereus Nuncius* (El mensajero de los astros), que publicó en 1610 (figura 7b). Desde Aristóteles y Ptolomeo, se pensaba que la Tierra era el único centro de revolución. Aristóteles había sido considerado como infalible. Así que el descubrimiento de los satélites de Júpiter, mostrando que Aristóteles pudo haberse equivocado fue un golpe tremendo a la idea geocéntrica, y por lo tanto un punto fuerte a favor de la teoría heliocéntrica de Copérnico.

Galileo intentó dar a las lunas el nombre de Cosme de Medici, su patrón, para ganarse su favor. Pero esos nombres no se conservaron. Después de unos años, Simon Marius propuso los nombres que se utilizan actualmente. (Marius, incluso pudo haber visto las lunas un poco antes que Galileo, pero lo publicó mucho más tarde.) De izquierda a derecha, son Io, Europa, Ganimedes y Calisto (figura 9). Incluso en un pequeño telescopio de aficionado, se pueden ver en una noche clara, y observar que durante horas se cambian de posición. Ellas orbitan Júpiter en períodos de unos pocos días.

Incluso con los mejores y más grandes telescopios terrestres, los astrónomos no pueden obtener una visión clara de la estructura de la superficie de los satélites galileanos. Sólo cuando la NASA con los satélites Pioneer 10 y 11, y a continuación, Voyager 1 y 2, voló cerca del sistema de Júpiter vimos con suficiente detalle los satélites como para poder caracterizarlos junto con sus superficies. A partir de observaciones terrestres y espaciales, los astrónomos todavía están descubriendo las lunas de Júpiter, a pesar de que los recién descubiertos son mucho más pequeños y más débiles que los satélites galileanos.

Galileo utilizó sus descubrimientos para conseguir un mejor trabajo con un salario más alto, en Florencia. Por desgracia, Florencia estaba más cerca de la autoridad papal en Roma, sirviendo como banqueros del Papa, y era menos liberal que la República de Venecia. Él continuó escribiendo sobre una variedad de temas científicos, tales como las manchas solares, cometas, cuerpos flotantes. Cada uno parecía señalar un argumento en contra de algún aspecto de los estudios de Aristóteles. Él descubrió que Venus tenía fases – lo que mostró que Venus orbita el Sol. Esto no probó que la Tierra orbitaba el Sol, ya que la cosmología híbrida de Tycho podría explicar estas fases. Sin embargo, Galileo lo vio como una prueba de Copérnico.

En 1616, fue informado por funcionarios de la Iglesia de Roma para que no enseñara el copernicanismo, que el Sol y no la Tierra era el centro del Universo. Se las arregló para guardar silencio durante mucho tiempo, pero en 1632 publicó su *Diálogo* (*Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*), donde había tres hombres que discutían los sistemas geocéntrico y heliocéntrico. Él tenía permiso oficial para publicar el libro, pero el libro hizo evidente su preferencia por el sistema heliocéntrico de Copérnico. Fue juzgado por su desobediencia y fue condenado a arresto domiciliario, donde permaneció por el resto de su vida.



Fig. 8. En el año 2009, para conmemorar el 400 aniversario del primer uso por Galileo del telescopio en el cielo, una placa fue puesta en una columna en la parte superior del campanario, una torre del siglo XV (re-erigida en el siglo XX después de su colapso en 1902) en Venecia. La conmemoración aquí es de Galileo, demostrando su telescopio a los nobles de Venecia mediante la observación de barcos relativamente lejos en el mar, esto era antes de que él apuntara con su telescopio hacia arriba. La escritura en la placa puede ser traducida aproximadamente como "Galileo Galilei, con su catalejo, el 21 de agosto, de 2009, amplió los horizontes del hombre, hace 400 años." (Foto: Jay M. Pasachoff).

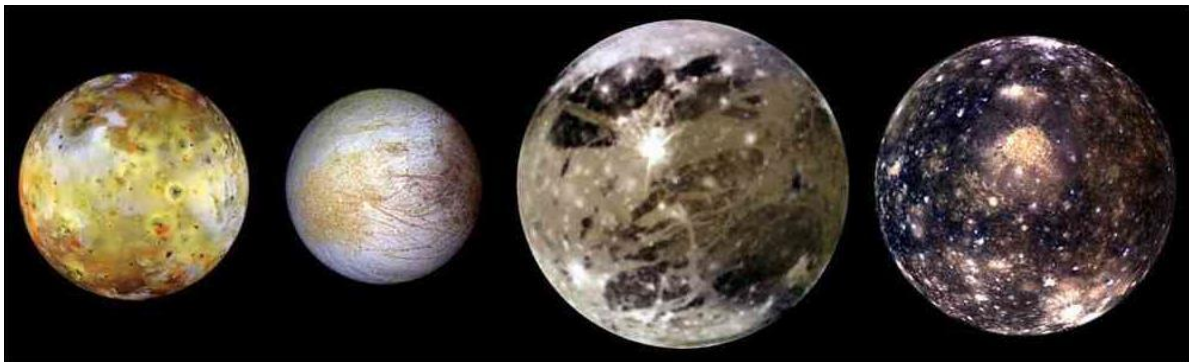


Fig. 9. El propio Galileo habría quedado sorprendido al ver lo que su nave homónima y sus predecesores mostrarán desde los "Medician satellites" que él descubrió en 1609. Aquí muestran en imágenes su verdadera escala relativa. De izquierda a derecha, vemos Io, recientemente resurgió con dos docenas de volcanes en erupción continua. En segundo lugar está Europa, el principal sospechoso para la búsqueda de vida extraterrestre a causa de la mar que se encuentra bajo la capa de hielo suave que vemos. En tercer lugar es Ganímedes, la luna más grande del Sistema Solar, mostrando sobre todo una parte fascinante de su superficie acanalada. Y a la derecha es Calisto, más lejos que los otros y cubierto de hielo duro que conserva las cicatrices de la superposición de impactos de meteoritos que se han producido durante miles de millones de años. (NASA: Misión de Galileo, PIA01400).

La Nueva Física: Isaac Newton de Inglaterra

Muchos creen que los tres mejores físicos de todos los tiempos son: Isaac Newton, James Clerk Maxwell, y Albert Einstein. Un resumen: Newton descubrió la ley de la gravedad, Clerk Maxwell unificó la electricidad y el magnetismo, y Einstein descubrió la relatividad especial y general.

Según la historia, el joven Isaac Newton (1642-1727) fue enviado a casa desde la Universidad de Cambridge a Woolsthorpe, cerca de Lincoln, en Inglaterra, cuando las universidades inglesas estaban cerradas debido a una plaga. Una vez allí, vio a una manzana caerse del árbol, y se dio cuenta de que la misma fuerza que controlaba la caída de la manzana era, sin duda, la misma fuerza que controlaba el movimiento de la Luna.

Finalmente, Newton volvió al Trinity College de Cambridge. Mientras tanto, un grupo de científicos en Londres se reunieron en un café para formar una sociedad (en la actualidad la Royal Society), y el joven Edmond Halley fue enviado a Cambridge para conseguir los servicios de un brillante matemático, Isaac Newton, podría ayudarles con una cuestión científica importante. El viaje de Londres a Cambridge en diligencia era mucho más largo y difícil que la hora en tren que se tarda hoy en día.

Halley le preguntó a Newton que si hubiera una fuerza que atrajera según el cuadrado de la distancia, ¿qué forma tendría una órbita? Y Newton contestó que sería una elipse. Emocionado, Halley le preguntó si lo había probado, y Newton dijo que estaba en unos papeles que tenía. Él dijo que no podía encontrarlos, aunque tal vez no hacía más que ganar tiempo de espera para juzgar si realmente quería entregar su análisis. De todos modos, Newton fue invitado a escribir algunas de sus conclusiones matemáticas. En pocos años, todo ello lo condujo a su libro más famoso, el *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principios matemáticos de filosofía natural), donde lo que entonces se llamaba Filosofía incluye lo que hoy llamamos ciencia.

El *Principia* de Newton apareció en 1687, en América. Newton era todavía un profesor de la universidad entonces, pasó mucho tiempo antes de que él fuera nombrado caballero por su trabajo posterior a la mención inglesa. Halley tuvo que pagar por la impresión del libro de Newton, y él lo defendió, incluso escribió un prólogo. El famoso *Principia* incluye la ley de Newton que mostraba cómo la gravedad disminuye con el cuadrado de la distancia, y su prueba de leyes de Kepler sobre las órbitas planetarias. El libro también incluye las leyes de Newton del movimiento, claramente se muestran como "leyes", en latín, mientras que las leyes de Kepler están enterradas en su texto.

Leyes de Newton del movimiento son:

La primera ley del movimiento de Newton: Un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento, y un cuerpo en reposo tiende a permanecer en reposo.

La segunda ley de Newton del movimiento (versión moderna): fuerza = masa por aceleración

La tercera ley de Newton del movimiento: Por cada acción hay una reacción igual y opuesta.

Newton sentó las bases a través de la física matemática que llevaron a la ciencia a nuestro tiempo moderno.

Continúa la investigación en astronomía

Así como los pueblos antiguos tenían curiosidad sobre el cielo y quisieron encontrar su lugar en el Universo, los astrónomos de la época actual se han basado en los descubrimientos del pasado con la misma motivación. Descubrimientos teóricos y observaciones trasladaron la comprensión de nuestro lugar en el Universo de la visión geocéntrica de Ptolomeo, a la hipótesis heliocéntrica de Copérnico, al descubrimiento de que el Sistema Solar no estaba en el centro de nuestra galaxia, a nuestra comprensión de las galaxias distribuidas por todo el Universo.

La astronomía moderna se enfrenta a la búsqueda de la naturaleza de la materia oscura y la energía oscura. La teoría de la relatividad de Einstein indica que no sólo no es nuestra galaxia el centro del Universo, sino que el "centro" es algo sin sentido. Descubrimientos más recientes de cientos de exoplanetas que orbitan otras estrellas han puesto de manifiesto lo inusual de nuestro Sistema Solar. El camino del descubrimiento muestra que los astrónomos de la época moderna hacen lo mismo que hicieron los astrónomos de miles o cientos de años atrás.

Bibliografía

- Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
- Orchinson, W. and Shi, Y. (Editors) *Journal of Astronomical History and Heritage* ISSN: 1440-2807. <https://www.sciengine.com/JAHH/home>
- Pasachoff, J. Publications, Solar Corona. <https://www.solarcorona.com>
- Pasachoff, J and Filippenko A, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium, 4th ed.*, Cambridge University Press 2012.
- UNESCO's Astronomy and World Heritage Initiative, maintained by the **International Working Group on Astronomy and World Heritage**