

HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA:

Los astrónomos, desde la antigüedad, consideraron el cielo desde el punto de vista religioso, ya que, para ellos, era la morada de los dioses, supervisores del día y de la noche, de los grandes eclipses de Sol y de Luna. En muchas culturas, las personalidades se atribuían a formas y objetos celestes, en la certeza que influían en la vida de los hombres. Los astrónomos – sacerdotes escrutaban el cielo, tomaban notas, compilaban calendarios y actuaban como depositarios de las leyendas relacionadas con el cielo. No había una distinción clara entre astronomía y astrología.

Las primeras civilizaciones se sirvieron de la astronomía para establecer con precisión las épocas adecuadas para sembrar y recoger las cosechas y para las celebraciones. También lograron utilizarla para orientarse en las largas travesías comerciales o en los viajes. Los egipcios, mayas y chinos desarrollaron interesantes mapas de constelaciones y calendarios de gran utilidad. Desde la más ancestrales culturas ha existido una semana de siete días, correspondientes a cada fase de la luna, doce veces al año. (Los sacerdotes egipcios esperaban la mañana en que Sirius, la estrella más brillante del cielo, aparecía por primera vez, después de que el Sol, la hubiera bloqueado; luego, utilizaban esta “salida heliaca” para predecir las crecidas anuales.)

LA ASTRONOMÍA PRIMITIVA

En el progreso astronómico primitivo posiblemente los seres humanos fijaron su atención en el objeto más luminoso que observaban: el Sol; luego en la Luna y después estrellas y planetas.

Pronto, el conocimiento de los movimientos cíclicos del Sol, las Lunas y las estrellas mostraron su utilidad para la predicción de fenómenos como el ciclo de las estaciones, de cuyo conocimiento exacto dependía directamente la supervivencia de cualquier grupo humano: cuando la actividad principal era la caza, era fundamental predecir el instante el que se producía la migración estacional de los animales que les servían de alimento y, posteriormente, cuando nacieron las primeras comunidades agrícolas, era trascendental conocer el momento exacto para sembrar y también para recoger el fruto.

La alternancia del día y la noche debe haber sido un hecho explicado de manera obvia desde un principio por la presencia o ausencia del Sol en el cielo y **el día** fue seguramente la primera unidad de tiempo universalmente utilizada.

Debió de ser importante también desde un principio el hecho de que la calidad de la luz nocturna dependiera de la fase de la Luna, y el ciclo de veintinueve a treinta días ofrece una manera cómoda de medir el tiempo. De esta forma los calendarios primitivos casi siempre se basaban en el ciclo de las **fases de la Luna**.

En cuanto a las estrellas, para cualquier observador debió de ser obvio que eran puntos brillantes que guardan entre sí las mismas distancias relativas, es decir, conservan un esquema fijo noche tras noche.

Así parecería natural interpretar que las estrellas estuviesen fijas a una especie de bóveda sólida que rodeara a la Tierra, pero que el Sol y la Luna no deberían estar incluidos en ella: la Luna, noche tras noche, cambia su posición relativa y, hasta visiblemente, en el curso de una misma noche. Para el Sol esto es menos obvio, ya que cuando el Sol está en el cielo las estrellas no son visibles; pero el cielo nocturno contiene las estrellas de la otra mitad del cielo, y el aspecto de esta mitad visible cambia también noche tras noche.

El orto de ciertas estrellas es el hecho que determinará la división del tiempo y la fijación de los días.

Del **Megalítico** se conservan grabados en piedra de las figuras de ciertas constelaciones: la Osa Mayor, la Osa Menor y las Pléyades. En ellos cada estrella está representada por un alvéolo circular excavado en la piedra.

Del final del **Neolítico** han llegado hasta nosotros menhires y avenidas dolméticas, es decir, alineamientos de piedras; la mayor parte de ellos orientados hacia el sol naciente (Este), aunque no de manera exacta sino siempre con una desviación de algunos grados hacia la derecha.

Con el tiempo, se observó que el esquema visible de las estrellas realiza un giro completo en poco más de **365 días**. Esto lleva a pensar que el Sol describe un ciclo completo contra el fondo de las estrellas en ese intervalo de tiempo. Además este ciclo de 365 días del Sol concuerda con el de las estaciones y, ya antes del 2500 a.C., los egipcios usaban un calendario basado en ese ciclo, por lo que cabe suponer que utilizaban la observación astronómica de manera sistemática desde el cuarto milenio a.C.

En efecto el **año egipcio** tenía 12 meses de 30 días más 5 días llamados *epagómenos*. La diferencia, pues, era de $\frac{1}{4}$ de día respecto al año solar. No utilizaban, pues, años bisiestos: 120 años después se adelantaba un mes, de tal forma que 1456 años después, el año civil y el astronómico volvían a coincidir de nuevo.

A este intervalo de tiempo se le llama *período sotíaco*, por la estrella *Sothis*, nuestro **Sirio**, (el *Sepedet* de los egipcios), que sirvió a los egipcios para determinar el principio de su año.

El **Nilo** empezaba su crecida más o menos en el momento en que la estrella *Sothis*, tras haber sido mucho tiempo invisible bajo el horizonte, podía verse de nuevo poco antes de salir el Sol.

El **calendario egipcio** tenía tres estaciones de cuatro meses cada una:

- I. Inundación o *Akhet*.
- II. Invierno o *Peret*, es decir, "salida" de las tierras fuera del agua.
- III. Verano o *Shemú*, es decir, "falta de agua".

La apertura del año egipcio ocurría el primer día del primer mes de la Inundación, es decir, aproximadamente cuando la estrella *Sirio* comenzaba de nuevo a observarse un poco antes de la salida del Sol.

De finales de la época egipcia (144 d.C.) son los llamados *papiros de Carlsberg*, donde se recoge un método para determinar las fases de la Luna, procedente de fuentes muy antiguas. En ellos se establece un ciclo de 309 lunaciones por cada 25 años egipcios, de tal forma que estos 9125 días se disponen en grupos de meses lunares de 29 y 30 días. El conocimiento de este ciclo permite a los sacerdotes egipcios situar en el calendario civil las fiestas móviles lunares.

La orientación de templos y pirámides es otra prueba del tipo de conocimientos astronómicos de los egipcios: las caras de las pirámides están vueltas hacia los cuatro puntos cardinales, de forma que, por ejemplo, la desviación al Norte de las pirámides de Keops y Kefrén es de 2´28", es decir, prácticamente despreciable dada la dimensión del monumento.

Probablemente esta orientación la efectuaban sabiendo que la sombra más corta de un objeto es la que apunta al Norte.

LA ASTRONOMÍA PREHISTÓRICA

Desde la más profunda antigüedad, el hombre ha contemplado los cielos y se ha maravillado con su aspecto. No podemos imaginarnos cuales fueron las explicaciones que construyó en su mente al contemplar al Sol, la Luna y las estrellas.

Con un cerebro en proceso de formación, los primeros **homínidos** debieron encontrarse a merced de las inclemencias del medio ambiente. Los fenómenos naturales como la lluvia, la sequía, el frío o el calor tuvieron que sembrar en su mente más miedo y temor por lo desconocido que admiración. Muy poco podemos intuir sobre el grado de conocimiento de la astronomía que manejó la humanidad en esta etapa de su evolución.

LA ASTRONOMÍA PALEOLÍTICA

El Paleolítico Superior (40.000 a 10.000 años a.C.) se caracterizó por un conocimiento astronómico muy básico. Son muy pocos los indicios que se han descubierto, pero el haber dominado el fuego, trajo como consecuencia el desarrollo ulterior de la humanidad.

De la última glaciación, la humanidad emerge con un conocimiento primario que la va a permitir iniciar su desarrollo.

Se atribuye a esta era, el inicio del conocimiento astronómico de la humanidad: el

hallazgo de huesos tallados, mostrando secuencias de 28 o 29 puntos, es una clara alusión a la medida de las lunaciones. De manera similar se han encontrado labrados en piedra, de lo que se cree son representaciones del Sol, la Luna y las estrellas.

LA ASTRONOMÍA NEOLÍTICA

La mejora de sus herramientas de trabajo le permitió incrementar su dieta alimenticia y por primera vez, la raza humana, mejor alimentada, comienza a profundizar sus habilidades existenciales.

Con el Neolítico, adviene la agricultura y con ella la necesidad de precisar los mejores momentos para realizarla. Se han descubierto asentamientos agrícolas que ya existían en el año **9.000 a.C.** y pueblos organizados, como el de las cercanías de **Chatal Huyuk**, al suroeste de Turquía.

El cultivo de la tierra trajo como consecuencia dos factores:

1. Necesidad de predecir los movimientos de los astros principales (el Sol y la Luna) en el cielo.
2. Agotamiento de la fertilidad del suelo por la monotonía del cultivo.

Predicción de los movimientos del Sol y la Luna.

Con el transcurrir del tiempo, la raza humana tuvo que vincular los cambios climáticos con las posiciones del Sol en el cielo. Al repetirse las temporadas de frío o calor, lluvia o sequía, debió preocuparse por poder predecir sus instantes de ocurrencia: había nacido la astronomía de posición. Para poder determinar los puntos de salida y puesta del Sol, comenzó a fabricar alineaciones de piedra o palos. Con el correr de los años fue afinando sus observaciones y mejorando sus métodos de predicción.

Son ejemplos de estas estructuras:

1. Las alineaciones de **Carnac** y **Le Menec**, en Francia, de 4 y 1 Kilómetros, tienen 2.934 y 1.099 bloques de piedras (**menhires**) respectivamente. Se encuentran alineados con la salida del Sol en las fechas en que debe comenzar la siembra (6 de mayo y 8 de agosto). Los análisis arrojan una antigüedad de **6.700 años a.C.**
2. **Stonehenge**, en Inglaterra, complejo de círculos para determinar la salida y puesta del Sol y la Luna a través de todo el año. Uno de sus círculos internos; el Círculo de Sarsen, está compuesto de 30 bloques de piedra, uno de los cuales es la mitad de los otros: los estudiosos coinciden que es una clara alusión a los 29,5 días que dura cada



3. lunación. Se le calcula una antigüedad entre **3.700 a 2.100 a.C.** Ya en el año 2.500 a.C. se utilizaba para calcular eclipses de Luna.

LA ASTRONOMÍA BABILÓNICA

Para perfeccionar su calendario, los babilonios, estudiaron los movimientos del Sol y de la Luna. Solían designar como comienzo de cada mes el día siguiente a la luna nueva, cuando aparece el primer cuarto lunar después del ocaso.

Hacia 400 a.C. comprobaron que los movimientos aparentes del Sol y la Luna de Oeste a Este alrededor del zodíaco no tienen una velocidad constante. Estos cuerpos se mueven con velocidad creciente durante la primera mitad de cada revolución hasta un máximo absoluto y entonces su velocidad disminuye hasta el mínimo originario.

Además perfeccionaron el método matemático representando la velocidad de la Luna como un factor que aumenta linealmente del mínimo al máximo durante la mitad de su revolución y entonces desciende al mínimo a final del ciclo. Con estos cálculos los astrónomos babilonios podían predecir la luna nueva y el día que comenzaría el nuevo mes. Como consecuencia, conocían las posiciones de la Luna y del Sol todos los días del mes. También eran capaces de calcular las posiciones planetarias.

LA ASTRONOMÍA CHINA

La astronomía china se centró más en la observación que en el aspecto cosmológico. En este sentido, los problemas del calendario y el registro de eventos importantes, como la explosión de supernovas, eclipses y aparición de cometas, fueron sus principales objetivos.

Entre los eventos más resaltantes de la astronomía china, cabe destacar:

El primer calendario solar de la historia (1.300 a.C.) y el invento de la brújula (**100 a.C.**).

El nuevo año chino se inicia el día de la primera luna nueva después de que el Sol entre en la constelación de **Acuario**.

Sabemos poco la astronomía en la antigua China. Sin embargo, se sabe que es

más antigua que la astronomía occidental y que, por estar tan alejada de ella, tuvo un desarrollo totalmente independiente.

Los chinos consideraban al universo como una naranja que colgaba de la estrella polar ubicando sus 284 constelaciones en 28 segmentos o casas en que dividían el universo. La antigua astronomía estelar china difiere mucho de la babilónica y de la occidental.

Al igual que en Babilonia, el antiguo calendario chino de principios del siglo II a. C. es un año lunisolar, con ciclos bisiestos de 19 años. La obra "Calendario de tres ciclos", aparecida hacia el principio de nuestra era y cuyo autor es Liu Hsin, describe la historia de la astronomía china desde el tercer milenio.

Los astrónomos de la corte imperial china observaron fenómenos celestes extraordinarios cuya descripción ha llegado en muchos casos hasta nuestros días. Estas crónicas son para el investigador una fuente valiosísima porque permiten comprobar la aparición de nuevas estrellas, cometas, etc. También los eclipses se controlaban de esta manera.

Por el contrario, el estudio de los planetas y de la Luna no estuvo, hasta el siglo I a.C., en condiciones de proporcionar predicciones suficientemente exactas de los fenómenos celestes.

Se cuenta la historia de los desdichados astrónomos de la corte, Hsi y Ho, que fueron ejecutados por haber puesto en peligro la seguridad del mundo, al dejar de predecir un eclipse de Sol.

La concepción del Universo en la China antigua se encuentra expuesta en el "Chou pei suan ching", un tratado escrito alrededor del siglo IV a.C. Según la teoría del Kai t'ien (que significa: el cielo como cubierta), el cielo y la Tierra son planos y se encuentran separados por una distancia de 80.000 li (un li equivale aproximadamente a medio kilómetro). El Sol, cuyo diámetro es de 1.250 li, se mueve circularmente en el plano del cielo; cuando se encuentra encima de China es de día, y cuando se aleja se hace noche.

Posteriormente, se tuvo que modificar el modelo para explicar el paso del Sol por el horizonte; según la nueva versión del Kai t'ien, el cielo y la Tierra son semiesferas concéntricas, siendo el radio de la semiesfera terrestre de 60.000 li. El texto no explica cómo se obtuvieron las distancias mencionadas; al parecer, el modelo fue diseñado principalmente para calcular, con un poco de geometría, la latitud de un lugar a partir de la posición del Sol.

El Kai t'ien era demasiado complicado para cálculos prácticos y cayó en desuso con el paso del tiempo. Alrededor del siglo II d.C., se empezó a utilizar la esfera armilar como un modelo mecánico de la Tierra y el cielo. Al mismo tiempo surgió una nueva concepción del Universo: la teoría del Hun t'ien (cielo envolvente), según la cual: "... el cielo es como un huevo de gallina, tan redondo como una bala de ballesta; la Tierra es como la yema del huevo, se encuentra sola en el centro. El cielo es grande y la Tierra pequeña."

Posteriormente, las teorías cosmogónicas en China girarán alrededor de la idea de que el Universo estaba formado por dos sustancias: el yang y el yin, asociadas al movimiento y al reposo, respectivamente. De acuerdo con la escuela neoconfucionista, representada principalmente por Chu Hsi en el siglo XII, el yang y el yin se encontraban mezclados antes de que se formara el mundo, pero fueron separados por la rotación del Universo. El yang móvil fue arrojado a la periferia y formó el cielo, mientras que el yin inerte se quedó en el centro y formó la Tierra; los elementos intermedios, como los seres vivos y los planetas, guardaron proporciones variables de yang y yin.

LA ASTRONOMÍA EN LA INDIA

Los antiguos hindúes decían que el Universo era una noche de sueño cósmico de **Brahma**. Este sueño de **4.320 años** terrestres, era guardado por **Shiva**, el señor de la danza cósmica. Cuando **Brahma** despierte, el Universo terminará.

La sociedad civilizada surge en la India, al igual que en Mesopotamia y Egipto; con la cultura de la **Edad del Bronce**. Sin embargo no es mucho lo que se sabe del Indo más allá del **3.000 a.C.**

Poco antes de la era cristiana, se adoptó una escritura alfabética y se comenzó toda una labor de recopilación del conocimiento hindú antiguo. Estos compendios antiguos, **Los Vedas**, contienen las primeras referencias astronómicas en lo que respecta al Sol, la Luna y las estrellas. Como cosa extraña, los planetas no poseen ninguna referencia.

Los dos grandes astrónomos hindúes, **Varahamihira** (505 d.C.) y **Brahmagupta** (628 d.C.) trabajaron en el observatorio astronómico de **Ujjain**.

Varahamihira construyó un compendio de la astronomía hindú: los *Siddantas*. En ellos se expresa que el conocimiento astronómico hindú provenía del Occidente (**Yavanas**).

Los astrónomos hindúes, para poder explicar el complicado movimiento planetario, recurrieron a la teoría griega de los Epiciclos, pero en lugar de ser redondos, los mismos eran elípticos.

LA ASTRONOMÍA EGIPCIA

La astronomía en el antiguo Egipto, no se diferencia mucho de las demás civilizaciones, en los albores de la humanidad: una mezcla de registros científicos enlazados con concepciones místicas.

Para los egipcios, el cielo estaba representado por **Nut**, una diosa con cuerpo de mujer que extendía sus extremidades para arropar todo el firmamento. **Geb** (la Tierra) servía de soporte, siendo los cuatro puntos cardinales, los puntos en donde se apoyaba Nut.

A través de Nut, **Amón-Ra** (el Sol), transitaba el Nilo celestial en su barca.

El calendario egipcio se encontraba basado en el movimiento del Sol y la duración de su año era de **365,25 días**. Su año estaba dividido en 12 meses de 30 días cada unos, más cinco días adicionales, denominados **Epagómenos**.

Para el año **2.700 a.C.**, ajustaron su calendario con el **orto helíaco** (salida en el horizonte) de la estrella **Sotkis** (la estrella Sirio de la constelación del Can Mayor).

Esto llevó a los astrónomos-sacerdotes a calcular el ciclo en donde se repetirían las mismas condiciones de salida de estrellas y fecha de inicio de las estaciones climáticas, conocido con el nombre del **Gran Ciclo de Sotkis** o el Gran año, con una duración de **1.461 años** solares.

Los cinco planetas observables más el Sol y la Luna constituían los siete objetos celestes que regían cada uno de los días de la semana.

La gran herencia astronómica que nos dejaron fue su calendario solar, el cual pasó a Occidente gracias a la conquista de **Julio César**.

LA ASTRONOMÍA GRIEGA

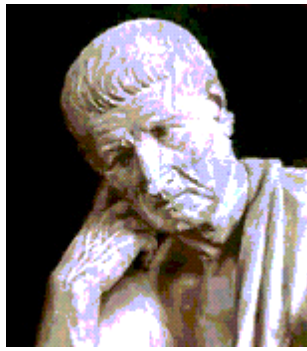
Los antiguos griegos fueron los primeros en intentar dar una explicación a los fenómenos naturales sin tener que recurrir a causas sobrenaturales; así, la astronomía pasó de considerarse como un culto místico a consagrarse como una ciencia. Los pensadores helenos comprobaron que las ideas astrológicas dominantes no se correspondían con las “leyes” del universo que ellos estaban empezando a descubrir.

Thales de Mileto (625 – 545 a.C.)

Estudio astronomía en Mesopotamia. Aporto a su país el conocimiento y los documentos de los babilonios y los egipcios, y expuso teorías meridianas entre las ideas mitológicas del pasado y los descubrimientos científicos del futuro. Creía, siguiendo las referencias de los babilonios, que la Tierra era plana y que flotaba en el agua como un tronco. Se dice que realizó la predicción del eclipse de Sol del 28 de mayo del 585 a.C., que sirvió para detener una batalla entre medos y lidios.

Aristóteles (384-322 a.C.)

En torno al 340 a.C., Aristóteles afirma que **la Tierra es redonda**, no plana, y da tres argumentos a favor de esta tesis:



1. En los eclipses lunares siempre se observa que la sombra de la Tierra sobre la Luna tiene forma de arco de circunferencia.
2. La diferencia en la posición aparente de la estrella Polar entre Grecia y Egipto, que incluso le permite hacer un cálculo del tamaño de la Tierra en 400.000 estadios, aproximadamente unos 80.000 km. de circunferencia (el doble del tamaño real).
3. En el mar cuando un barco aparece en el horizonte se ven primero las velas y posteriormente el casco del barco.

Además establece que la Tierra está quieta y el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se mueven en órbitas circulares y con velocidad uniforme alrededor de ella, ya que el movimiento circular, al ser el más perfecto que existe, es el que debe gobernar los cielos.

Sus argumentos sobre la condición y posición de la Tierra le llevan a pensar que no pueden ser simple consecuencia del movimiento de los cielos: la circunferencia de un círculo determina las propiedades de su centro; el cosmos es esférico, luego la tierra ha de ser esférica.

Además argumenta que la Tierra es el centro del Universo de la siguiente manera: los cuerpos pesados no caen en líneas paralelas, sino en líneas que convergen en su centro. Los cuerpos que se proyectan directamente hacia arriba caen hacia abajo al punto del cual partieron, por tanto, la Tierra ni está en movimiento ni está en ningún sitio que no sea el centro.

LA ASTRONOMÍA ALEJANDRINA

Aristarco de Samos (310 – 230 a. C.)

Fue seguramente el primer astrónomo conocido que defiende una idea heliocéntrica del Universo: la Tierra, los planetas y mucho más lejos las estrellas giran alrededor del Sol.

Aristarco no conocía las distancias de la Tierra a la Luna y al Sol, pero fue capaz de calcular su proporción.

Su idea está basada en cómo se producen las **fases de la Luna**: ésta no tiene luz propia sino que la recibe del Sol y la refleja hacia nosotros, de tal forma que sólo se ilumina una mitad de su superficie esférica mientras que la otra mitad permanece en la oscuridad.

Por otra parte, Aristarco dedujo, a partir del tamaño de la sombra de la Tierra sobre la

Luna durante un eclipse lunar, que el Sol tenía que ser mucho mayor que la Tierra y que además tenía que estar a una distancia muy grande.

El Sol, al estar tan lejos, ilumina a la Luna prácticamente con un haz de rayos paralelos.

Aristarco dedujo que el Sol está 19 veces más lejos de nosotros que la Luna. Sin embargo, actualmente se conoce que el Sol está **389** veces más lejos de la Tierra que la Luna. Una de las razones de este resultado tan inexacto, posiblemente se debió a que a simple vista no puede establecerse con precisión cuándo está la Luna en la fase de media luna, así como localizar con exactitud los centros del sol y la luna.

En definitiva, no importa tanto el que Aristarco utilizase datos imprecisos y consiguiera respuestas imperfectas. Lo que realmente sí asombra es que su método fuese tan sencillo, claro y correcto; de manera que si luego se disponía de mejores observaciones podrían darse respuestas más precisas. Aunque su exposición era más científica que la de Aristóteles, sus teorías encontraron pocos seguidores y la historia es parca en referencia a sus ideas heliocéntricas.

Ptolomeo (87-170 d.C.)

Ptolomeo de Alejandría, publicó en el año 140 d.C. Aproximadamente, una admirable enciclopedia de la ciencia clásica, el “Almagesto” en la cual plasmó siglo de observaciones babilónicas sobre los movimientos de los planetas, para apoyar sus argumentos de que la Tierra era el centro del Universo.

Utiliza el modelo geocéntrico heredado de Aristóteles:

- La Tierra en el centro y ocho esferas rodeándola. En ellas estarían la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas conocidos en aquel tiempo: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.
- Los planetas se movían en círculos más internos engarzados a sus respectivas esferas. La esfera más externa era la de las estrellas fijas, las cuales siempre permanecían en las mismas posiciones relativas, las unas con respecto a las otras, girando juntas a través del cielo.

Este modelo no describía con claridad que había detrás de la última esfera, pero desde luego no era parte del universo observable por el ser humano. Su complejo sistema de “círculos dentro de círculos” acabaría convirtiéndose en un acertado método matemático para pronosticar los movimientos de los planetas.

El “sistema del mundo” de Ptolomeo, desarrollaba las ideas que regirían el mundo de la astronomía durante quince siglos. Su muerte marcó el fin de la era clásica de la astronomía.

LA ASTRONOMÍA EN EL S. XVI

Copérnico (1473-1543)

Estudiando los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, intenta encontrar un modelo cosmológico inteligible de todo el Universo. Es decir, sigue la senda de sus predecesores, que ya lo buscaban



descontentos, sin duda, con una explicación que se limitaba a predecir y describir fenómenos con inventos matemáticos arbitrarios.

Propone entonces un **sistema heliocéntrico** que se caracteriza por:

- Una relativa facilidad en explicar el movimiento retrógrado



- de los planetas y en mostrar por qué sus posiciones relativas al sol determinaban tal movimiento.
- Proporcionaba una base sobre la que determinar las distancias al sol y a la tierra.
- Su carácter interconexo: las posiciones planetarias en cualquier momento son simultáneamente explicables en tal configuración.
- Su teoría lunar es más simple.

La gran aportación del sistema de Copérnico se concreta en dos ideas:

1. Una modificación de las ideas vigentes en la época acerca de la naturaleza de la materia, de los planetas, del sol, de la luna y de las estrellas.

2. Una modificación acerca de la naturaleza y acciones de la fuerza en relación con el movimiento, es decir, de la física aristotélica imperante entonces.

En 1543, antes de morir publicó su obra maestra “Sobre la Revolución de las Esferas Celestes” que subvertiría la visión que tenía la humanidad del cosmos, desencadenando una polémica que encontró su mayor punto de encono, en la actitud hostil de la Iglesia, que sostenía como dogma inalterable, la creación divina del universo con la Tierra como único centro posible.

El planteamiento de Copérnico no tuvo más éxito q el de Ptolomeo, pero dos acontecimientos posteriores sirvieron de detonante a la revolución copernicana: las observaciones sobre el cielo, sorprendentes y precisas, de Thycho Brahe y la utilización de un sencillo catalejo por Galileo.

Tycho Brahe (1546 – 1601)

Astrónomo danés que realizó enormes cambios en las técnicas de **observación** y en los niveles de precisión. Diseñó y construyó un gran número de instrumentos: más grandes, más sólidos y mejor calibrados.

Además inauguró la técnica de efectuar observaciones regulares de los planetas en su curso a través de los cielos, ya que hasta entonces sólo se observaban en las configuraciones más favorables; en concreto, observó la órbita de Marte con la ayuda de cuadrantes de pared.

Fue tal la precisión y el número de datos que acumuló que acabó con la dependencia que tenía la astronomía europea respecto a los datos de la Antigüedad.

Además del movimiento de los planetas, Tycho Brahe cita la *nova* observada en la constelación de Casiopea en 1572 y la estudia con detalle: determinó que el fenómeno era supralunar, por lo que pone en duda la incorruptibilidad de los cielos.

Por otra parte, observó diversos cometas que pasaron cerca de la Tierra en 1577, 1580, 1585, 1590, 1593 y 1596. Con el primero de ellos ya dedujo que este fenómeno era también supralunar.

El sistema de Brahe fue aceptado como alternativa al de Copérnico durante más de dos generaciones. El sistema de Brahe se basa, pues, en el principio de **circularidad**, el **movimiento uniforme** y en la precisión observacional; de tal forma que, interpreta la ausencia total de paralaje estelar como un apoyo a la idea de una tierra en reposo, no en movimiento como suponía Copérnico.

En 1599 fue acogido en la corte del emperador Rodolfo en Praga, donde en 1600 nombró ayudante suyo a Johannes Kepler, el cual cuando muere Brahe - y tras varios pleitos con los herederos - recibe los preciosos datos acumulados durante toda su vida. Kepler los utiliza para formular sus tres leyes sobre el movimiento de los planetas.

Johannes Kepler (1571-1630)

Astrónomo alemán, publica en 1596 su obra *Mysterium cosmographicum* que le pondrá en contacto con Tycho Brahe. Tras la muerte de éste, pasó a ocupar el puesto de astrónomo de la Corte Imperial y evaluó las observaciones que había hecho Brahe de Marte.

En 1609 apareció su *Astronomia nova* con las dos primeras leyes del movimiento planetario (ley de la elipse y ley de las áreas). La tercera ley estaba contenida en *Harmonices mundi*. Con ellas da un modelo que explica adecuadamente los movimientos de los planetas, incluida su retrogradación.

Las leyes enunciadas por Kepler sobre el movimiento de los planetas son las siguientes:

1. Los planetas se mueven sobre **elipses**, con el Sol en uno de sus focos.
2. La línea de unión planeta-Sol (llamada también radio vector) barre áreas iguales en tiempos iguales (**ley de las áreas**).
3. El cuadrado del **período de revolución** de un planeta es proporcional al cubo de su **distancia media** al Sol.

En 1611 apareció su *Dioptrik*, con las bases numéricas y ópticas del telescopio astronómico (o de Kepler).

En 1627 se publicaron las *Tablas rodolfinas*, que constituyen la base de todos los cálculos de órbitas planetarias hasta bien entrado el siglo XVII.

En suma, Kepler prepara el camino a un descubrimiento fundamental: **la ley de la gravitación universal de Newton**, ya que una fuerza de atracción entre el Sol y un planeta proporcional a sus masas y, sobre todo, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, explicaba el hecho de que el planeta (más *ligero*) girase en una órbita elíptica alrededor del Sol, con éste en uno de sus focos.

LA ASTRONOMÍA EN EL S. XVII



Telescopio de Galileo. El óptico holandés Hans Lippershey fue probablemente el que construyó el primer telescopio en la primera década del siglo XVII. Galileo fue uno de los que lo utilizaron para observar los cielos. El telescopio que construyó Galileo en 1609 era un telescopio de refracción, con lente convexa delante y una lente ocular cóncava. Con él descubrió las fases de Venus, lo que indicaba que este planeta gira alrededor del Sol. También descubrió cuatro lunas girando alrededor de Júpiter. En la imagen, dos telescopios de Galileo conservados en el Museo de Historia de la Ciencia de Florencia.

En 1609 diseñó y construyó un telescopio adaptando un catalejo. Al parecer, ya había sido inventado en Holanda, mantenido bajo secreto militar. Gracias al telescopio, hizo grandes descubrimientos en Astronomía, de entre los que destaca la observación el 7 de enero de 1610 de cuatro de las lunas de Júpiter, girando en torno a este planeta. Este descubrimiento daba la razón a Copérnico y cuestionaba la postura de que la Tierra era el centro de todos los movimientos celestes. Además observó que la Luna no era una esfera perfecta sino que poseía montañas y cráteres. Estos y otros descubrimientos los publicó en su obra *Sidereus Nuncius*. Pero la ciencia oficial se negó a creerle alegando que no había demostrado que lo observado al otro lado de los cristales curvos existiese realmente, y lo observado podrían ser errores del aparato.

Observaciones de Galileo:

Puso sus observaciones de las lunas de Júpiter en su libro *Siderius Nuncius*. Estudió Júpiter a lo largo de un mes y fue capaz de mostrar el movimiento de los satélites en torno a Júpiter.

Hasta que Galileo comenzó a estudiar la Luna y Venus, no tenía una evidencia concreta para apoyar el Sistema de Copérnico.

En 1616 la Iglesia Católica declaró falsas las ideas de Copérnico. El Papa Pablo V instó a los católicos a no enseñar o defender el copernicanismo. En 1623 fue nombrado papa Urbano VIII. Éste tenía ciertas simpatías por los nuevos movimientos intelectuales, por lo que Galileo le dedicó su obra *Il Saggiatore*, que publicó ese mismo año. En ella Galileo defiende que el mundo hay que estudiarlo con matemáticas, no con referencias a una autoridad intelectual. Aunque Urbano VIII era reacio a revocar un edicto de un papa anterior, permitió a Galileo exponer sus trabajos sobre las mareas

siempre que dejase claro que se trataba de hipótesis de trabajo y no de explicaciones sobre el funcionamiento real del mundo. Por espacio de ocho años estuvo trabajando en dicho libro, al que añadió tal cantidad de material nuevo que las mareas pasaron a ser un simple argumento más a favor del movimiento de la Tierra. El libro se publicó en 1632 como una defensa del sistema astronómico de Copérnico, bajo el título de *Dialogo supra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano*.

Fue requerido en Roma por la Inquisición. Tras un largo y agotador interrogatorio, aunque inusualmente benévolo debido a la fama de Galileo, el 22 de junio de 1633, admitió su "error", y negó que el Sol fuese el centro del Universo y que la Tierra girase en torno a su eje y alrededor del Sol. Profundamente convencido de la veracidad de su descubrimiento se dice que Galileo, antes de retirarse de la sala, murmuró su famosa frase: "Eppur si muove" ("y sin embargo (la tierra) se mueve (alrededor del Sol)")

En 1637 publicó su obra *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Ésta y el *Diálogo* son sus obras más importantes.

El escritor alemán Bertolt Brecht escribió una novela sobre su defensa del copernicanismo y sus problemas con la Iglesia Católica, "**Vida de Galileo Galilei**".

Al finalizar el siglo XX el Papa Juan Pablo II reivindicó la figura de Galileo sosteniendo que fue más inteligente que los teólogos de su época.

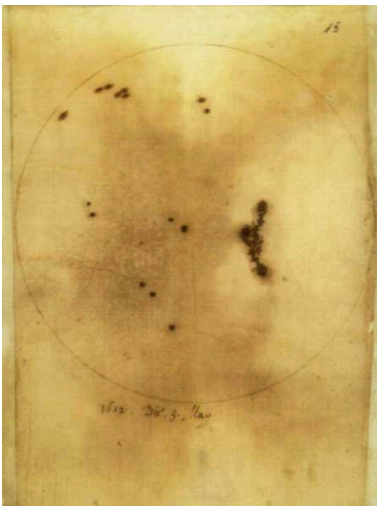
Astronomía

Sus aportaciones en el terreno de la astronomía y el estudio del universo no fueron menos importantes. A principios del siglo XVII, perfeccionó el catalejo, un instrumento óptico de reciente invención, para obtener un telescopio de sesenta aumentos.

Con la ayuda de dicho aparato, Galileo exploró el cielo y llegó a conclusiones que revolucionaron profundamente la manera de entender el orden del universo. En contra de la creencia general, demostró que la superficie de la Luna no era cristalina, sino que estaba cubierta de cráteres y montañas, con lo que refutó la idea aristotélica de la absoluta perfección de los astros. De la misma manera, descubrió las manchas solares, con lo que pudo determinar el período de rotación del Sol y la dirección de su eje. Galileo descubrió, asimismo, los cuatro satélites mayores de Júpiter y demostró que no todos los astros giraban alrededor de la Tierra. Esta constatación de las teorías copernicanas, contraria a la cosmología de Tolomeo vigente hasta entonces, le valió la condena de las autoridades eclesiásticas, pero desempeñó un papel fundamental para edificar la moderna visión del universo.

Metodología científica

Puede considerarse a Galileo como el fundador de la astronomía moderna, y más en general, como el introductor del método experimental en la investigación científica. Además de sus extraordinarios resultados como físico y astrónomo, la importancia de Galileo está precisamente en haber creado una mentalidad científica nueva, cuyas bases son aún las nuestras. Por estos motivos, puede considerarse a Galileo como el fundador de la ciencia moderna, basada en la observación de los hechos, la realización de experimentos y la formulación de teorías explicatorias. En la historia de la cultura, Galileo se ha convertido en el símbolo de la lucha contra la autoridad y de la libertad en la investigación.



Manchas solares. Dibujo de las manchas solares en la obra *El mensajero de los astros*. Los defensores del sistema tolemaico sostenían, con Aristóteles, que en el firmamento sólo podían existir cuerpos esféricos perfectos. Las observaciones mediante el telescopio de Galileo desmintieron esta opinión: fue el primero en describir los cráteres de la luna o las manchas solares. Tales observaciones le permitieron determinar el período de rotación del Sol y la dirección de su eje. Galileo puede ser considerado como el fundador de la ciencia moderna, porque hizo despertar a la inteligencia humana de una acrítica aceptación de la autoridad de Aristóteles, y trazó las

líneas de un método experimental en el que la experiencia sensible y la razón venían a encontrarse unidas en el común esfuerzo de la investigación.

LA ASTRONOMIA EN MÉXICO

La Astronomía Maya



En América durante la época precolombina se desarrolló un estudio astronómico bastante extenso. Algunas observaciones Mayas son bien conocidas, como el eclipse lunar del 15 de Febrero de 3379 a.C. Tenían su propio calendario solar y conocían la periodicidad de los eclipses. Inscribieron en monumentos de piedra fórmulas para predecir eclipses solares y la salida heliaca de Venus.

Si los distintos pueblos del Méjico antiguo llegaron hasta la fase jeroglífica, los mayas lograron la fase silábico-alfabética en su escritura. La numeración iniciada por los olmecas con base vigesimal, la perfeccionan los mayas, en los siglos III y IV a. C.

Los mayas conocieron desde el tercer milenio a. C. como mínimo un desarrollo astronómico muy polifacético. Muchas de sus observaciones han llegado hasta nuestros días (por ejemplo un eclipse lunar del 15 de febrero de 3379 a. C.) y se conocían con gran exactitud las revoluciones sinódicas de los planetas, la periodicidad de los eclipses etc. El calendario comienza en una fecha cero que posiblemente sea el 8 de junio de 8498 a. C. en nuestro cómputo del tiempo, aunque no es del todo seguro. Los mayas tenían además un año de 365 días (con 18 meses de 20 días y un mes intercalado de 5 días).

Los estudios sobre los astros que realizaron los mayas siguen sorprendiendo a los científicos. Su obsesión por el movimiento de los cuerpos celestes se basaba en la concepción cíclica de la historia, y la astronomía fue la herramienta que utilizaron para conocer la influencia de los astros sobre el mundo.

El calendario solar maya era más preciso que el que hoy utilizamos. Todas las ciudades del periodo clásico están orientadas respecto al movimiento de la bóveda celeste. Muchos edificios fueron construidos con el propósito de escenificar fenómenos celestes en la Tierra, como El Castillo de Chichén Itzá, donde se observa el descenso de Kukulcán, serpiente formada por las sombras que se crean en los vértices del edificio durante los solsticios. Las cuatro escaleras del edificio suman 365 peldaños, los

días del año. En el Códice Dresde y en numerosas estelas se encuentran los cálculos de los ciclos lunar, solar, venusiano y las tablas de periodicidad de los eclipses.

La Astronomía Inca



En América del Sur, en los andes Centrales, culturas preincaicas realizaron obras como las Líneas de Nazca, o la Puerta del Sol en Tiahawanaco. En realidad, aún es mucho lo que falta por investigar en este aspecto y en la actualidad científicos de diferentes partes del mundo han vuelto a mirar a América, porque sin duda, a pesar del saqueo realizado por los conquistadores europeos, se pueden descubrir muchas cosas más.

Sin duda alguna, los Incas es el imperio más representativo de América del Sur. Es precisamente en Cuzco, en donde muchos investigadores han encontrado documentos de colonizadores españoles que describen el Templo del Sol, del cual irradiaban cuarenta y un ejes llamados ceques, cuya disposición implicaba lineamientos geománticos o astronómicos, que definían el valle en 328 huacas las cuales cumplían funciones rituales y políticas.

Los Incas conocían la revolución sinódica de los planetas, Construyeron un calendario Lunar para las fiestas religiosas y uno solar para la agricultura. Utilizaron elementos como mojones alrededor de los pueblos para realizar astronomía observacional. Los Chibchas conocían la constelación de Orión y reconocían la relación entre la salida heliacal de Sirio con el comienzo de la temporada de lluvias.

El calendario consistía en un año solar de 365 días, repartidos en 12 meses de 30 días y con 5 días intercalados. Se sabe que el calendario era determinado observando al sol y a la luna. Para fijar las fechas exactas del año y meses, Pachacútec dispuso la edificación de 12 torres o pilares localizados al Este de la llacta del Cusco, llamados sucangas.

Los Incas daban mucha importancia a las constelaciones y estaban muy interesados en la medición del tiempo para fines agrícolas. Poseían sus propias constelaciones entre las cuales, se destacan la Cruz del Sur y el Centauro. Para ellos la vía láctea era oscurecida por sacos de carbón. La Astronomía jugó un papel muy importante para la construcción de sus ciudades

La Astronomía Azteca



La civilización Azteca surgió a partir del siglo X. Su máximo esplendor lo obtuvo entre los siglos XIV al XVI. Los aztecas no solo desarrollaron la astronomía y el calendario, sino que estudiaron y desarrollaron la meteorología, como una consecuencia lógica de la aplicación de sus conocimientos para facilitar sus labores agrícolas.

La representación del cielo (masculino) y Tierra (femenino) estaban determinados por Ometecuhtli y Omecíhuatl, respectivamente. Las eras en la cosmología azteca están definidas por soles, cuyo final estaba marcado por cataclismos. El primer Sol, Nahui-Oceloti (Jaguar) era un mundo poblado por gigantes, que fue destruido por jaguares. El segundo Sol, Nahui-Ehécati (Viento) fue destruido por un huracán. El tercer Sol, Nahuiquiahuitl, por una lluvia de fuego. El cuarto Sol, Nahui-Ati (agua) fue destruido por un diluvio. Y el quinto, Nahui-Ollin (movimiento) está destinado a desaparecer por movimientos de la Tierra.

El calendario azteca, o piedra del Sol, es el monolito más antiguo que se conserva de la cultura prehispánica. Se cree que fue esculpido alrededor del año 1479. Se trata de un monolito circular con cuatro círculos concéntricos. En el centro se distingue el rostro de Tonatiuh (Dios Sol), adornado con Jade y sosteniendo un cuchillo en la boca. Los cuatro soles o eras anteriores, se encuentran representados por figuras de forma cuadrada que flanquean al quinto sol, en el centro. El círculo exterior está formado por 20 áreas que representan los días de cada uno de los 18 meses que constaba el calendario azteca.

Para completar los 365 días del año solar, los aztecas incorporaban 5 días aciagos o nemontemi.

Para los aztecas, la sucesión del día y la noche se explicaba por las constantes luchas entre los astros principales. Dado que durante el día es muy difícil observar la Luna e imposible a las estrellas, los aztecas interpretaban que el sol naciente (Huitzilopochtli) mataba a la Luna (Coyolxauhqui) y a las estrellas.

La astronomía era muy importante, ya que formaba parte de la religión. Construyeron observatorios que les permitieron realizar observaciones muy precisas, hasta el punto que midieron con gran exactitud las revoluciones sinódicas del Sol, la Luna y los planetas Venus y Marte.

Al igual que casi todos los pueblos antiguos, los aztecas agruparon las estrellas brillantes en asociaciones aparentes (constelaciones). Los cometas fueron

denominados "las estrellas que humean".

Bibliografía

- *Métodos matemáticos de la ciencia*, George Pólya. Serie La Tortuga de Aquiles N° 3. DLS-EULER,Editores.
- *Atlas de Astronomía*, Joachim Herrmann. Alianza Editorial.
- *Historia del telescopio*, Isaac Asimov. Alianza Editorial.
- *Astronomía moderna*, L. Oster. Editorial Reverté.
- *Astronomía*, F. Martín Asín. Editorial Paraninfo.
- *Historia de la Matemática*, Carl B. Boyer. Alianza Universidad Textos.
- *Cosmos*, Carl Sagan. Editorial Planeta.
- *Historia del tiempo (Del big bang a los agujeros negros)*, Stephen W. Hawking. Alianza Editorial.
- *La aventura del Universo*, Timothy Ferris. Editorial Grijalbo Mondadori.
- *Sol, lunas y planetas*, Erhard Kepler. Biblioteca Científica Salvat.
- *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, John Losee. Alianza Universidad.
- *Teorías del Universo (volumen I), de los pitagóricos a Galileo*, Ana Rioja y Javier Ordoñez. Serie Thémata, editorial Síntesis.
- *La revolución copernicana (La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento)*, Thomas S. Kuhn. Serie Ariel Filosofía. Editorial Ariel.
- *Astronomía y Matemáticas*. Grupo Azarquiel. Cuadernos de Pedagogía nº 166, enero 1989.