



# GUÍA N° 1

## HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA

Ruinas incas de Machu Pichu, Perú. Webshots.com

La astronomía es una de las ciencias más antiguas y al mismo tiempo de las más modernas. Aparentemente desdeñada hasta hace pocos años, bajo el presupuesto de que fue considerada como una actividad contemplativa y ociosa en torno a objetos que nada tenían que ver con la vida cotidiana, realmente si se ocupó de los asuntos propios del hombre, para **anticipar los eventos** de la naturaleza, de carácter cíclico, que le permitían su **supervivencia**: la caza, la pesca, la agricultura y el transporte.

Aunque el hombre en la vida citadina no observa las estrellas y se ha alejado de la naturaleza primitiva, habitando un medio más artificial, ha entrado en la era de los cohetes lunares y los satélites. Hoy es indiscutible la importancia de esta ciencia que ha llegado a las mentes de un sector nutrido de la población. La astronomía y las ciencias vecinas están conociendo un crecimiento verdaderamente explosivo, que se traduce, sobre todo, en el número cada vez mayor de trabajos científicos.

La imbricación de la astronomía con otras ciencias como la filosofía, la física, la meteorología, la geología, entre otras, es cada vez más evidente.

Ciertamente la astronomía no fue nunca, ni siquiera en los primeros pasos de su evolución, una actividad puramente contemplativa e inútil para la vida práctica de las colectividades humanas. Las observaciones astronómicas entraron en el proceso de recolección y procesamiento de información, útil para la construcción del futuro, pues le es propia a esta especie, a diferencia de los animales, anticipar los hechos y prevenir las necesidades del futuro de una manera consciente. Los problemas del calendario, del cálculo del tiempo o de la orientación en el campo y en el mar pertenecen a las bases mismas de nuestra cultura y civilización y sólo pueden resolverse mediante observaciones de los astros.

Observando el doble carácter, astronómico y mitológico, en la denominación de los días de la semana, que en su orden se relacionan con la Luna, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus, Saturno y el Sol (Apolo), vemos que la astronomía tuvo en los primeros albores de su historia otra aplicación "utilitaria": la **astrología**. Según la cosmovisión de entonces, toda la naturaleza, incluidos los astros de aspecto llamativo y errático movimiento, era animada y estaba poblada por dioses, espíritus y demonios, que influían definitivamente en los acontecimientos de la Tierra, como sequías, inundaciones y sismos, y en los acontecimientos humanos, como guerras, pestes y cambios de gobierno.

El deseo de anticipar eventos, que eran tenidos por designios de las divinidades astrales, llevó a estudiar cuidadosamente las trayectorias planetarias, en la medida en que los sencillos instrumentos de medición y rudimentos teóricos de entonces lo permitían. Si no contaban con aparatos ópticos, ni el desarrollo de las matemáticas, poseían instrumentos

Gonzalo Duque-Escobar

sencillos de medición de ángulos y dispositivos de alineamiento. Las series de observaciones obtenidas así a lo largo de los siglos e incluso milenios condujeron finalmente a valores numéricos bastante precisos. Especialmente avanzado estaba el conocimiento de la duración del año ligado a las estaciones, del mes al ciclo lunar y de la semana a las fases lunares, como claro estaban los períodos de los movimientos de los planetas. En esta fase del desarrollo de la astronomía no existía aún preocupación alguna por la explicación teórica del movimiento de los astros.

En el mundo antiguo hay que resaltar los siguientes centros de astronomía:

### **1.1. BABILONIA**

Los inicios de la astronomía babilónica se remontan al tercer milenio a. C.. Alcanzó su auge hacia 600-500 a. C. y decayó en el último siglo antes de nuestra era. Para ver la precisión de muchos de sus datos astronómicos vamos a dar algunos ejemplos: la duración media entre dos fases lunares iguales (mes sinódico o lunación) es de 29,530641 días; el valor moderno es de 29,530589 días (ver calendarios). El valor hallado en el siglo II o I a. C. para la revolución sinódica de los planetas, es decir, el tiempo entre dos posiciones similares con respecto a la Tierra, no difería en más del 1% del día, del valor actual: en el caso de Venus, por ejemplo es de, 583,91 días en lugar de 583,92 días. Sólo en el caso de Marte con, 779,995 días en lugar de 779,94 días, aparece una desviación algo mayor, que, sin embargo, tampoco tiene por qué ser del todo real, porque como hasta hace bien poco no se podían observar los planetas con instrumentos de medida modernos (desarrollo de los sistemas de Bessel en el siglo XIX), no es posible realizar con absoluta seguridad un

cálculo retrospectivo de las revoluciones que, siempre sometidas a perturbaciones, eran diferentes hace 2 ó 3 mil años.

La observación babilónica más antigua de un eclipse de Sol total (de entre las fechadas con seguridad) se remonta al 15 de junio de 763 a. C. Sin embargo la periodicidad de los eclipses se había observado bastante antes, seguramente en el siglo III a. C. El descubrimiento del **Ciclo de Saros** (23 meses sinódicos o 18 años  $11 \frac{1}{3}$  días; ver Calendarios) es, en este contexto, una de las contribuciones más notables de la astronomía babilónica.

Los babilonios recurrieron en principio al ciclo lunar para confeccionar un calendario. Cada 12 meses de 30 días componían un año. Para absorber el desfase respecto de la duración real del año solar (365,25 días) se agregaba de vez en cuando un mes más. Reglas fijas para intercalar este mes no las hubo en el siglo VI a. C.. A partir del 383 a. C. se previeron 7 meses para intercalar cada 19 años (año lunisolar).

La división del día comenzaba con la puesta de Sol. Hacia 1700 a. C. aproximadamente se conocía ya la división en 24 horas iguales.

Las constelaciones más importantes recibieron ya sus nombres en el tercer milenio a.C. La astronomía moderna adoptó la mayoría de los nombres babilónicos para las constelaciones del zodiaco.

## 1.2. EGIPTO

El calendario egipcio, a diferencia del babilónico, se apoyaba en el ciclo solar. En el milenio IV a. C. se conocía el año solar de 365 días, con 12 meses de 30 días y 5 días complementarios. El comienzo del año venía determinado por el **orto heliaco de la estrella Sirio**, es decir, por su primera aparición en el amanecer después de su período de invisibilidad. Este acontecimiento coincidía originariamente con el inicio de la crecida del Nilo. Observaciones posteriores revelaron un retraso del orto heliaco de Sirio, y la crecida del Nilo no volvía a coincidir hasta 1460 años después (período sothíaco). De ahí se dedujo que la verdadera duración del año era de 365,25 días. A partir del 238 a. C. se agregó por eso a cada cuarto año un día intercalado.

Aparte de diversas constelaciones estelares, existía en Egipto una división del zodíaco en 36 decanos, regidas por divinidades.

## 1.3. CHINA

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.

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 y de los eclipses. La antigua astronomía solar china difiere mucho de la babilónica y la occidental. El ecuador celeste se dividía en 28 casas y el número de constelaciones ascendía a 284.

#### **1.4. CENTROAMERICA Y PERÚ**

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

Gonzalo Duque-Escobar

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).

También la astronomía inca, en el Perú, tuvo en parte un gran desarrollo. Los incas, conocían la revolución sinódica de los planetas con admirable exactitud. Las anotaciones en los **quipus** (cordeles con nudos) dan 115,88 días para Mercurio, 584,8 días para Venus y 398,88 días para Júpiter. Los valores modernos son respectivamente 115,88 d, 583.92 d y 398,88 d. El calendario consistía en un año solar de 365 días, repartidos en 12 meses de 30 días y 5 días intercalados.

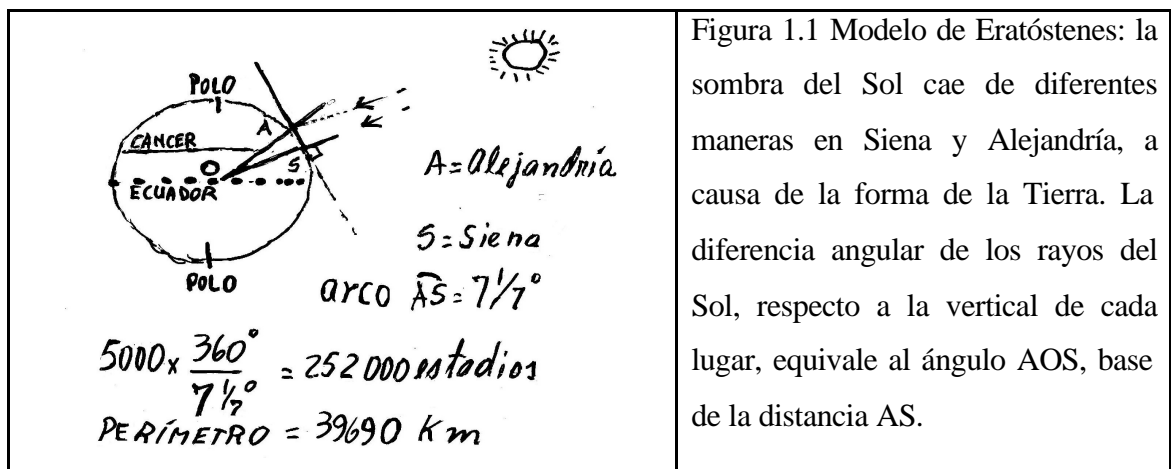
Todas las culturas pertenecientes al período de desarrollo comentado tenían una cosa en común y es que tomaban los fenómenos celestes como fenómenos dados, sin buscar para nada explicaciones ocultas. A la Tierra se le atribuía la forma de un disco plano, rodeada de la bóveda celeste.

## **1.5. GRECIA**

Para los Pitagóricos (572-48 a.C.), el cielo en su totalidad es números y es armonía. Se predica la igualdad entre todos los seres vivos. Mientras desprecian el provecho económico y consideran el trabajo está reservado para los esclavos, no escatiman esfuerzos para pensar en asuntos imposibles, de donde surgen conceptos fundamentales como los números irracionales, las cónicas, el infinito. Por oposición a este modo de pensar, el pensamiento práctico de Arquímedes (287-212 a.C.) expresado en sus aportes a la

ingeniería, con las poleas y palancas, el empuje hidrostático, el tornillo sinfín, es la antítesis.

Tales de Mileto (640 a.C.), el primero de los grandes astrónomos, creía que el Universo era esférico. Aristóteles (384 a. C.) combatió la idea de una Tierra plana, basando sus puntos de vista en el cambio de posiciones de estrellas en el cielo con la latitud y en la forma circular de la sombra de la Tierra proyectada sobre la Luna durante un eclipse.



El director de la Biblioteca de Alejandría, **Eratóstenes** (aproximadamente en 280-200 a. C.), mide la Tierra utilizando la altura del Sol de mediodía. Con la sombra de un elemento vertical proyectada en dos puntos distintos, halló una diferencia de valor de  $7^\circ \frac{1}{7}$  para la distancia angular entre Asuán y Alejandría. Como la distancia horizontal entre ambos lugares era, según mediciones suyas anteriores, de 5.000 estadios, halló por métodos puramente geométricos, cuando aún no se había desarrollado la trigonometría, que el perímetro total de la esfera terrestre era



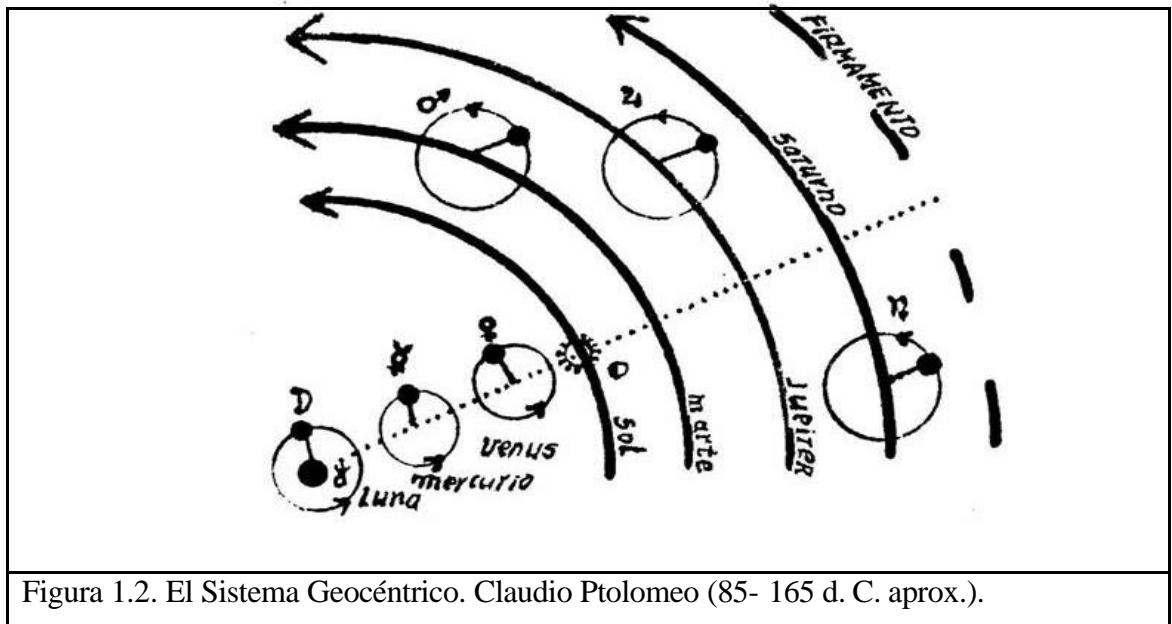
$$5000 \times 360^\circ / 71/7 = 252000 \text{ estadios} = 39690 \text{ Km}$$

**Hiparco** (190-120 a. C.), el astrónomo griego más importante, inventó la trigonometría, hizo un catálogo de más de 1000 estrellas y descubrió la precesión del eje terrestre. Sus trabajos fueron la base para la gran obra de Ptolomeo, que se escribiría en el siglo II d. C.

También a otros astros se les atribuyó una forma esférica. Anaxágoras sostenía que el Sol era una roca incandescente y Demócrito afirmaba que la Vía Láctea consistía en numerosas estrellas. Una de las mayores contribuciones de la astronomía griega, entre las concepciones clásicas sobre las consideraciones del Universo como finito y geocéntrico -al lado de El Timeo de Platón, la Metafísica y el Tratado del Cielo y el Mundo de Aristóteles- fue el intento de explicar el movimiento de los planetas mediante una teoría de Hiparco (190-125 a. C.) y Claudio Ptolomeo (87-170 d. C.) que compiló en **Almagesto** todo el saber astronómico de la época.

Los siete planetas, entre los que tradicionalmente figuraban también la Tierra y la Luna, se movían en siete esferas alrededor de la Tierra, la cual ocupaba el centro (sistema geocéntrico). De adentro hacia afuera se sucedían la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Más allá de la órbita de Saturno se hallaba la esfera de las estrellas fijas. La Tierra no ocupaba el centro exacto de cada órbita, es decir, las órbitas planetarias eran algo excéntricas. Sólo el Sol y la Luna se movían en círculo; los demás planetas recorrían un **epiciclo** cuyo centro se deslizaba a lo largo de un círculo llamado **deferente**.

El sistema de Ptolomeo es **geocéntrico**, y se sustituye por el **heliocéntrico** de Copernico. Tycho Brahe propuso un sistema intermedio, con la Tierra como centro, circundada por la Luna y el Sol, y este a su vez es circundado por los planetas. Se supone la Tierra completamente estática, mientras todos los cuerpos celestes giran en torno suyo, por ser él el centro del Universo. Obsérvense unos círculos menores llamados epiciclos y otros mayores, los deferentes. Los centros de los epiciclos de los planetas interiores se localizan sobre la recta Tierra Sol, y la de los exteriores, sobre los deferentes. Epiciclos y deferentes, son círculos, y los círculos suponen ser la geometría del movimiento perfecto.



La teoría de los epiciclos de **Ptolomeo** permitía no sólo dar una explicación teórica al movimiento de los planetas, sino también obtener predicciones fiables.

Gonzalo Duque-Escobar

Al lado de la teoría geocéntrica aparecieron otras como la de **Aristarco** de Samos (310 a 250 a. C.). Según él el Sol (Helios) se hallaba en el centro y alrededor de él giran en círculo los planetas, entre ellos la Tierra.

Los griegos fueron también los primeros en intentar medir distancias en el cosmos. Aristarco, aplicando métodos de paralaje, al proyectar la sombra de la Tierra sobre la Luna eclipsada, y que la Luna en los eclipses mostraba el mismo tamaño aparente del Sol, halló que la razón de las distancias Luna-Sol era de 1/19. El diámetro de la Luna, según él, era 0,36 veces la de la Tierra, y el del Sol 6,75 el de ésta, pues ambas cantidades deben guardar la misma proporción de las distancias.

Los pueblos del centro y norte de Europa a. C. poseían conocimientos astronómicos que aplicaron a las construcciones megalíticas de la Edad de Piedra. **Stonehenge** en el sur de Inglaterra, que en su mayoría tienen que ver con los movimientos del Sol y la Luna.

## **1.6. EDAD MEDIA**

Este período caracterizado por el dominio de la teología sobre las demás disciplinas intelectuales, va del año 476 d.C. cuando culmina el esplendor el imperio romano de occidente centrado en Roma, hasta el año 1453 cuando culmina el imperio romano de oriente, por la caída de Constantinopla en manos de los turcos otomanos.

Sobresalen Boecio de (480 a 524), Cosmas Indicopleustes de Alejandría S. VI, Isidoro de Sevilla (570 a 636), Beda el Venerable de Inglaterra (673 a 735), Al-Manzur de Bagdad (siglo VIII) Harun Al Raschid (765-809), Thabit Ven Qurrah (836-901), Al Battani (868-929), Al Fargani (siglo IX), Ibn al Haytham (965-1039), Abubacer (? -1185), Averroes (1126-1198), Thierry de Chartres (? - 1150), Alfonso X el Sabio en Toledo (1221-1284), Roger Bacon (1214- 1294), Pietro D`Abano (1250-1316), Tomas de Aquino (1225-1274), Jean Burilan (1300-1358), Nicilás de Oresme (1323-1382), Nicolás de Cusa (1401-1464)

El legado de la astronomía griega pasó en los siglos X a XV a manos de los **árabes** principalmente. Tradujeron la obra de Ptolomeo, el Almagesto; a muchas de las principales estrellas de las constelaciones les dieron nombres especiales que aún hoy se conservan, y confeccionaron diversos catálogos de estrellas y tablas planetarias. Debe advertirse que muchos de los nombres babilónicos o persas, de las estrellas, son luego tomados y traducidos a su lengua por los griegos, para que los árabes les hagan suyos después, y finalmente, lleguen a los **sabios alfonsíes** quienes los acuñan en castellano y arabismos.

### **1.7. EL RENACIMIENTO.**

El período es el punto de llegada del humanismo y alcanza su mayor esplendor en el período que va desde 1492 hasta 1529. El período va desde la caída de Constantinopla en 1453 hasta el asalto de la Bastilla a finales del siglo XVIII.

- **Nicolás Copernico** (1473-1543). Considerado el verdadero artífice de la nueva astronomía. Basado en la lectura de autores antiguos que hacían referencia al sistema heliocéntrico de Aristarco de Samos observó lo improbable del Sistema Ptolemaico. Escribió el *Commentariolus*, que versa sobre la arquitectura del sistema planetario y en el cual postula que la Tierra gira alrededor de su eje y que ésta y los planetas se mueven **alrededor del Sol**; a estas ideas llegó no tanto por mediciones y observaciones como por razonamientos teóricos.

Lo cierto es que con las teorías copernicanas no se podían obtener predicciones precisas de los movimientos planetarios, por lo que se vio obligado a introducir gran número de epiciclos para que la teoría coincidiera hasta cierto punto con los hechos. El problema estribaba en que Copérnico se limitó a órbitas circulares.

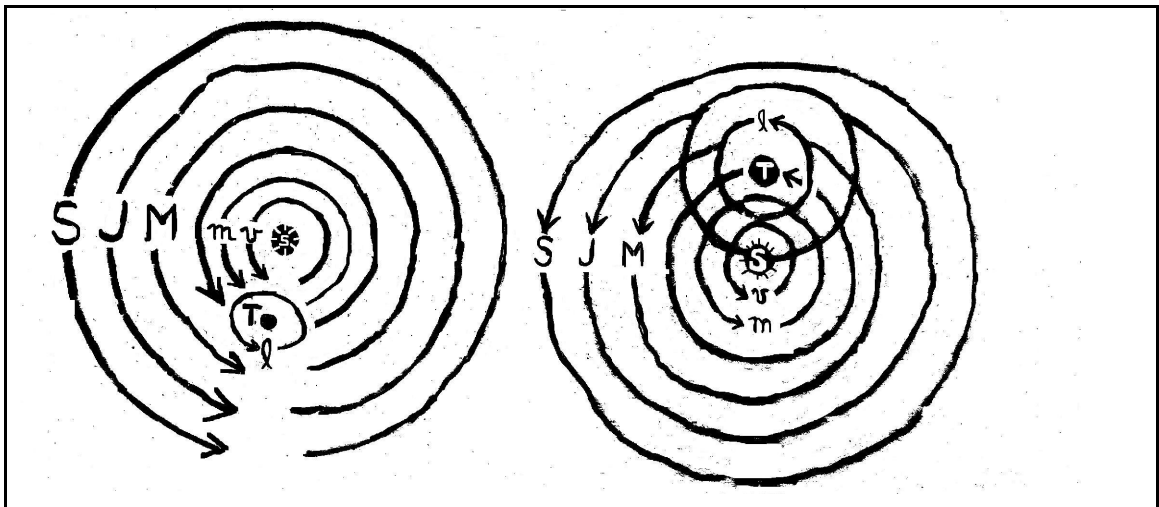


Figura 1.3. Modelos de Copérnico y de Brahe: S, J, y M son Saturno, Júpiter y Marte, TY es la Tierra y S el Sol. Con minúsculas, Venus, Mercurio y la Luna. Los demás planetas no se conocen.

La nueva concepción del mundo no provocó mayor preocupación, mientras no se extrajo de ella la inquietante consecuencia de que, si la Tierra no ocupa una situación privilegiada en el Universo, tampoco existen privilegios sociales que sean absolutos e inmodificables.

Esta abolición de los privilegios dentro de la naturaleza, y por ende en la sociedad, expresada abiertamente con plena transparencia, constituyó el meollo del pensamiento copernicano que el más grande filósofo del renacimiento, **Giordano Bruno**, propagó por toda Europa hasta ser excomulgado por las iglesias Católica, Luterana y Calvinista, condenado a prisión en las mazmorras de la Santa Inquisición durante siete años y terminar por ser quemado vivo en Roma a sus 52 años, el 17 de febrero del año 1600, sin que se haya retractado de su herética posición.

- **Tycho Brahe** (1546-1660) - **Johannes Kepler** (1571-1630). Brahe, desde los observatorios de Dinamarca, observa entre otras cosas la órbita de Marte con grandes cuadrantes de pared. Fueron estas las medidas de posición astronómica más precisas antes de la invención del telescopio, pues el error medio en las determinaciones de los astros era del orden de los 2' de arco.

Ya en Praga nombra ayudante suyo a Kepler, de quien conoció su obra *Mysterium Cosmographicum*. A la muerte de Brahe, Kepler evalúa las observaciones de Marte y en 1609 publica su *Astronomía Nova*, con las dos primeras leyes que señalan el movimiento elíptico y las áreas barridas por los radiovectores planetarios. La tercera ley se publica en 1619 en su obra *Harmonices Mundi*. Son aportes de Kepler, además, la creación de la

Gonzalo Duque-Escobar

ciencia-ficción, el principio de la acción de la luna en las mareas, y el principio de la cámara oscura como su funcionamiento en la óptica del ojo.

- **Galileo Galilei** (1564-1642). Fue un defensor de la teoría copernicana, lo que le trajo grandes conflictos con la Inquisición de Roma, donde se le prohibió seguir defendiendo éste sistema. No obstante, era la teoría de la transubstanciación referida al sacramento de la Eucaristía, y no la teoría geocéntrica, el verdadero meollo del problema.

Este astrónomo que en 1610, al descubrir los cuatro satélites de Júpiter, encuentra la comprobación objetiva de la teoría copernicana, también descubrió las leyes de la caída libre, de la inercia, de la oscilación del péndulo y los principios de escala en la resistencia de materiales. Con Galileo se inicia la Física moderna, al introducir el **Método Científico** y al transformar el tiempo, de una función discreta a una función continua. Desde 1609 construyó un telescopio e hizo hallazgos y observaciones (manchas solares, cuatro lunas de Júpiter, fases de Venus, montañas lunares, etc.), que publicó en 1610 en Siderius Nuncius. Con las fases de Venus, advierte la rotación de este planeta entorno al Sol y no a la Tierra.

La difusión del telescopio indujo en el siglo XVII una oleada de nuevos descubrimientos. Entre los astrónomos de ésta época tenemos a Simón Marius (lunas de Júpiter, detección de la nebulosa de Andrómeda en 1612), Christoph Scheiner (primera obra sistemática de las manchas solares), Johannes Hevelius (observaciones de la Luna y los cometas), Christian Huygens (descubrimiento del anillo de Saturno y de Titán el mayor satélite del planeta), Giovanni Doménico Cassini (hizo numerosas observaciones planetarias, descubrió cuatro satélites de Saturno), Olaus Römer (determinación de la velocidad de la

luz a partir de los eclipses de los satélites de Júpiter), John Flamsteed (fundación del observatorio de Greenwich en 1675, catálogo estelar).

- **Isaac Newton** (1643-1727). Nacido un año después de muerto Galileo, es el creador de la **Ley de Gravitación Universal**, según la cual la caída de las manzanas y el movimiento de los astros, se rigen por una misma fuerza. He aquí la importancia de dicha ley expresada como una teoría matemática capaz de explicar el movimiento de los cuerpos celestes.

En 1671 construyó un telescopio reflector, y al tiempo revoluciona los principios de la óptica con su descubrimiento de los colores en el espectro visible. Además, para sus desarrollos, creó su propia herramienta: el cálculo diferencial( que denominó Fluxiones), cuando contemporáneamente lo hacía Leibniz, por separado.

El descubrimiento de la Ley de la Gravitación Universal permitió, no sólo asentar el sistema copernicano sino, aumentar la precisión de los cálculos de órbitas lunares y planetarias, pues la ley también tenía en cuenta las perturbaciones gravitatorias entre los cuerpos que intervienen.

En el siglo XVIII y principios del XIX la mecánica celeste se desarrolla. No existe el computador. **Halley** calcula la órbita elíptica del cometa de 1682. **Kant** atribuye en 1755 la génesis del sistema solar a un proceso mecánico. **Lagrange** estudia en 1788 el conocido problema de los tres cuerpos y algunos casos especiales con solución. **Laplace** publica en 1799 su Mecánica Celeste y descubre la invariabilidad del eje mayor de las órbitas



Gonzalo Duque-Escobar

planetarias. **Leverrier** y **Adams** predicen la existencia de Neptuno por las perturbaciones que sufre Urano y el planeta es descubierto en 1846 en el Observatorio de Berlín. **Bessel** deduce en 1844, por las perturbaciones del movimiento propio de Sirio, la existencia de su compañera desconocida, que efectivamente es observada en 1862.

También, la técnica instrumental maduró en los siglos XVIII y XIX, lo mismo que las técnicas y métodos de medida experimentan un avance continuo. Nacen los primeros catálogos estelares. Con las investigaciones sobre el espectro solar y las rayas oscuras que llevan su nombre (1814), con la creación del análisis espectral por **R. W. Bunsen** y **G. R. Kirchhoff** (1845) y con la introducción de los métodos de fotografía y los fotómetros en la segunda mitad del siglo XIX, se funda la astrofísica.

## **1.8. LA ASTRONOMIA MODERNA Y CONTEMPORANEA.**

- **Edwin Hubble** (1889-1953). La época grande de la cosmología se inicia a principios de éste siglo con la construcción de grandes telescopios como el de Monte Wilson California (100 pulgadas). En 1917 los astrónomos identifican estrellas individuales en galaxias cercanas. Se inicia la gran discusión entre **Curtis** y **Shapley**, el primero sosteniendo la existencia de Universos islas y el segundo, un verdadero experto en estrellas cefeidas, resistiéndose a que nuestra galaxia perdiera su condición de privilegio; en el Smithsonian, el 26 de abril de 1920 confrontan sus tesis como si tratara de Copérnico y Ptolomeo. Para 1924 Hubble había descubierto 36 cefeidas en "nebulosas" espirales (galaxias) extendiéndose así y de manera definitiva, el tamaño del Universo más allá de la Vía Láctea.

**Hubble** utiliza esos faros del Universo, constituidos por estrellas variables pulsantes de período regular. En 1929 da una noticia sorprendente, por su simplicidad y trascendencia, en un trabajo suyo titulado "Una relación entre la distancia y la velocidad radial de las nebulosas extragalácticas", en el que advierte que mientras más lejos está una galaxia, con mayor velocidad se aleja de nosotros; en esta relación, a doble distancia doble velocidad de recesión, a triple distancia triple velocidad de recesión... Las consecuencias: el Universo se expande. Ese Universo homogéneo e isótropo, que se expande de forma relativista, que según Lemaitre debió nacer de una explosión, tiene un límite constituido por su tejido de expansión, cuyos cuerpos viajan aproximándose a la velocidad de la luz.

- **Albert Einstein** (1879-1955) y **Stephen Hawking** (1942). A. Einstein elimina el concepto newtoniano de espacio absoluto y demuestra que la luz es onda y partícula. Con su expresión  $E=mc^2$  de 1905, al formular la Teoría Especial de la Relatividad TER, los cuerpos pueden convertirse en luz y viceversa: Materia y Energía son entonces dos aspectos de la misma cosa. En 1916 publica la Teoría General de la Relatividad TGR, que considera la aceleración de los cuerpos y con la cual la gravedad se explica, no como una fuerza a distancia sino, como la deformación del Espacio-Tiempo causado por la masa de los astros: La Masa le dice al Espacio como se curva y el Espacio le dice a la Masa como se mueve.

El soporte para la TER y la TGR está en la teoría Electromagnética de **Maxwell**(1831-1879), en el concepto de campo de **Hertz** (1857-1894) y **Lorentz** (1853-1928), y en el espacio pseudo euclídeo de **Minkowsky** (1864-1909) y la geometría curva de **Riemann** (1826-1866). En 1926 Einstein prueba la existencia de los átomos con sus estudios sobre el

Gonzalo Duque-Escobar

movimiento Browniano, cuyo efecto se ve en el humo. Los aportes de A. Einstein, al lado de la Teoría Cuántica de **Max Planck** (1858-1947), la Teoría Atómica de **Niels Bohr** (1885-1962) y la Nueva Teoría Cuántica de 1925, permiten rehacer los fundamentos de la concepción del Universo.

El inglés **S. Hawking**, el más famoso de los cosmólogos actuales, articula dos grandes Teorías: la Teoría General de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Con ellas ha entrado al Horizonte de sucesos de los Agujeros Negros y al momento del Big-Bang. Puede resolver la singularidad del Big-Bang con la incorporación del tiempo complejo. Entre sus aportes está el de que los agujeros negros irradian, tienen temperatura y entropía, y el cambio del concepto de Universo determinístico por el de Universo probable.

Las fluctuaciones cuánticas del Universo de Hawking, punto de partida para explicar el origen de las galaxias se han podido comprobar con los espectaculares resultados en las medidas absolutas y diferenciales de la radiación de fondo, observadas por el proyecto COBE, desde 1989 a 1992.

Hoy los **Modelos Cosmológicos** y la **Astronomía Observacional** se muestran como poderosos soportes y única vía para continuar el desarrollo que antes pudieron jalonar los grandes aceleradores de partículas. Ahora es poco viable recurrir a los procedimientos de antes a causa del enorme costo que tienen los métodos instrumentales de la física de partículas, para avanzar en el conocimiento del Universo y de las leyes que rigen el cosmos.