

Nicolás Copérnico (1473-1543), canónigo polaco que revolucionó la astronomía con su modelo heliocéntrico para el sistema solar.

### 13. LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Con la caída de imperio romano el pensamiento en general y la física y la astronomía en particular, sufrieron un largo período de hibernación. Muy pocos avances ocurrieron en astronomía en los primeros quince siglos de nuestra era; los pocos que podrían mencionarse corresponden a astrónomos árabes. En el siglo xv en Italia renace el conocimiento. En astronomía el renacimiento tiene un nombre: *Nicolás Copérnico*. Polaco de origen, nacido en Torún en 1473, educado en Polonia e Italia, Copérnico propuso un sistema para explicar el movimiento de los planetas que considera al Sol el centro del sistema, con todos los planetas girando a su alrededor, la Tierra también la considera un planeta que gira en torno de un eje en 24 horas y se traslada en torno al Sol en un año. Este modelo de universo se conoce como el sistema *heliocéntrico*, por tener al Sol como centro. No difiere en concepción al propuesto 1800 años antes por Aristarco de Samos, pero Copérnico no tan sólo propone la idea, sino que elaboró totalmente el modelo matemático para

describir los movimientos planetarios basado en un sistema heliocéntrico. Con Copérnico las llamadas estrellas fijas dejan de tener que girar en torno a la Tierra en 24 horas. Su modelo fue dado a conocer en 1543, sólo meses antes del fallecimiento de su autor, en el libro "Sobre las Revoluciones de los Orbes Celestes".

El modelo matemático de Copérnico es algo más preciso que el de Ptolomeo pero, dado que Copérnico no era un observador, las observaciones en que basa su teoría están tomadas en gran parte del propio Ptolomeo. Así el libro de Copérnico no significó un aumento importante en la precisión con que se podían calcular las posiciones del Sol, la Luna y los planetas. El modelo de Copérnico es más simple desde el punto de vista matemático y por ser una descripción correcta fue mucho más fecundo. Sin embargo, no fue de muy rápida adopción. Las razones para ello fueron a lo menos de dos tipos: por una parte el sistema de Copérnico parecía contradecir las Sagradas Escrituras si se las tomaba literalmente y por otra parte estaba en desacuerdo con la física de Aristóteles que era el marco de razonamiento de los filósofos de la época. En particular, dentro de la física aristotélica no existía el concepto de inercia, razón por la cual muchos dijeron que era imposible que la Tierra girase en 24 horas porque significa que un punto en el ecuador terrestre se mueve con una velocidad cercana a los 2.000 kilómetros por hora. Argumentaban que seríamos arrojados por los aires, que habría vientos huracanados permanentes, pues el aire se quedaría atrás produciendo grandes vendavales, etc. Por lo tanto muchos de los que no adhirieron al sistema copernicano lo hicieron basándose en argumentos científicos (errados por cierto, pero esa era la ciencia de la época) y no en argumentos teológicos.

El más grande astrónomo de la segunda mitad del siglo XVI fue sin duda Tycho Brahe. Noble danés, nació tres años después de la muerte de Copérnico, en 1546, y murió en 1601. Tycho se dio cuenta que era fundamental disponer de muy buenas observaciones astronómicas si se pretendía hacer un buen modelo matemático que permitiera predecir dónde estarán los planetas en el futuro. Parece trivial: para saber dónde estarán los planetas en el futuro necesitamos conocer, con tanta precisión como sea posible, dónde están hoy, y además tener un buen modelo matemático para describir el movimiento. Tycho empezó por elaborar un catálogo de posiciones precisas de 777 estrellas, concentrándose al mismo tiempo en observaciones del planeta Marte. El rey danés Federico II le regaló una isla, Hven, le dio dinero para construir un gran observatorio, Uraniborg; y le financió sus trabajos por casi 20 años. Al morir su patrono Tycho abandona Dinamarca y se dirige a Praga, donde el rey Rodolfo II lo nombra matemático de la corte.

Estando Tycho en Praga llega a trabajar con él un joven matemático alemán; su nombre: Johannes Kepler. El primer ayudante de Tycho era Longomontano, nombre latinizado de Christen Sörensens Longberg (1562-1647). Longomontano al poco tiempo regresó a Dinamarca y quedó Kepler como primer ayudante. El

24 de octubre de 1601 muere Tycho prematuramente y todo su caudal de observaciones del planeta Marte queda en manos de su ayudante Kepler. Rodolfo II nombró a Kepler Matemático Imperial, con lo cual pudo dedicarse al análisis de las observaciones de Tycho.

Tycho era un brillante observador, hábil constructor de instrumentos, hombre que llevó a la astronomía observacional al límite de las posibilidades técnicas de la época. Johannes Kepler (1571-1630) era uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos, de talentos teóricos muy superiores a los de Tycho pero cuya habilidad instrumental y observacional era muy limitada. Por lo tanto fue una situación muy afortunada la que puso a Kepler en el camino de Tycho Brahe. Kepler sin las observaciones de éste jamás habría desentrañado el secreto de los movimientos planetarios y Tycho sin Kepler nunca hubiese visto tan bien ocupadas sus observaciones. Cuentan que Tycho, en su lecho de muerte no cesaba de pedirle a Kepler que hiciera que no hubiese vivido en



Tycho Brahe (1546-1601), noble danés, matemático y astrónomo, elevó a sitials sin precedente las técnicas observacionales en astronomía, varias décadas antes de la invención del telescopio.

vano. Esa petición no podría haber caído en mejores manos. En ocho años de intenso trabajo con las observaciones del planeta Marte efectuadas por Tycho, Kepler logró arrebatarse a la naturaleza el secreto de los movimientos planetarios.

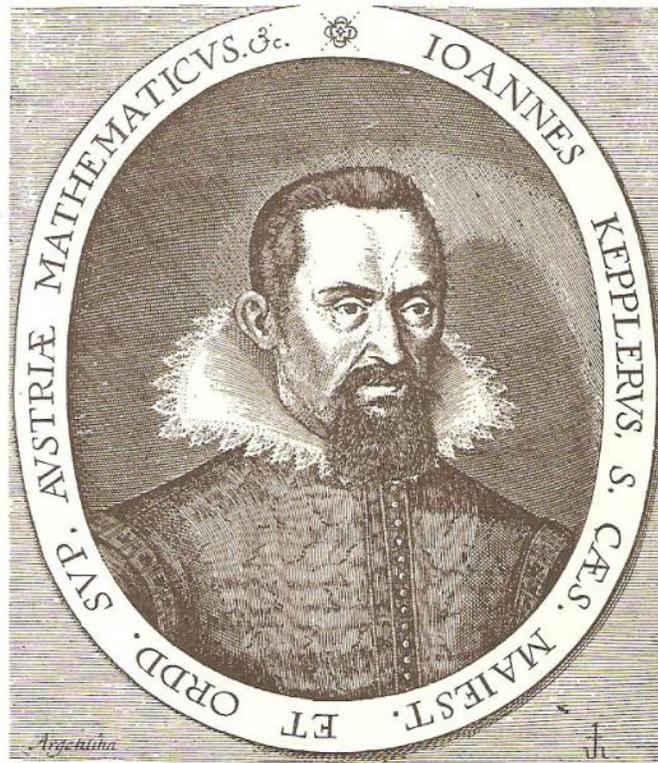
#### 14. LEYES DE KEPLER

En 1609 Kepler publica su libro titulado "Astronomia Nova", donde da a conocer las dos primeras leyes del movimiento planetario.

**Primera Ley:** Las órbitas de los planetas son planas. El Sol está en el plano de la órbita. La trayectoria del planeta respecto del Sol es una elipse de la cual el Sol ocupa uno de los focos.

**Segunda Ley:** El radio vector que une al Sol y el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.

La segunda ley de Kepler, conocida como ley de las áreas determina que un planeta tenga una velocidad mayor en su perihelio que en su afelio. Mientras



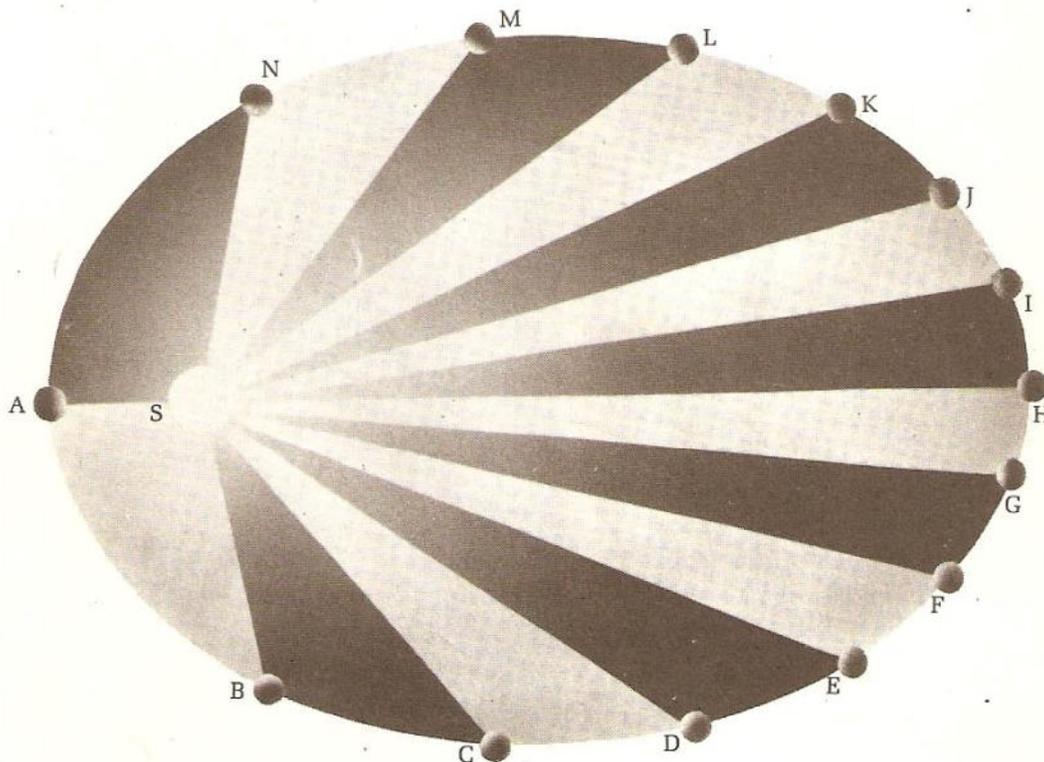
Johannes Kepler (1571-1630), brillante matemático y astrónomo alemán que descubrió las leyes del movimiento planetario.

más excéntrica sea la órbita, esto es, a mayor achatamiento, mayor será la diferencia de velocidad en ambos extremos de la órbita.

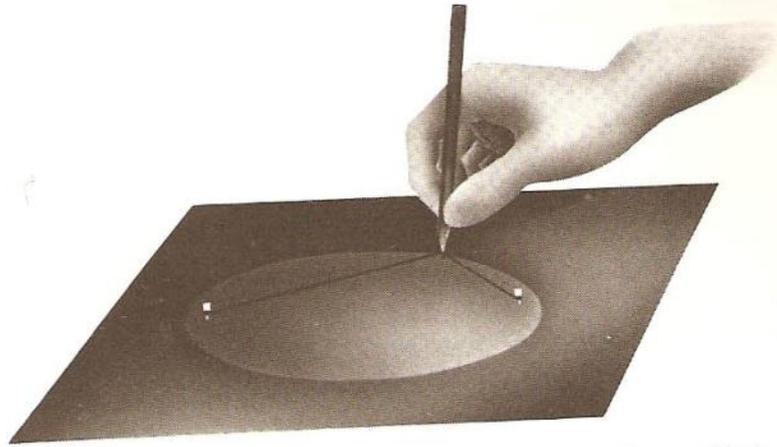
Kepler publica en 1619 su tercera ley del movimiento planetario que se puede enunciar:

**Tercera Ley:** Los cuadrados de los períodos de revolución en torno al Sol son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de las órbitas.

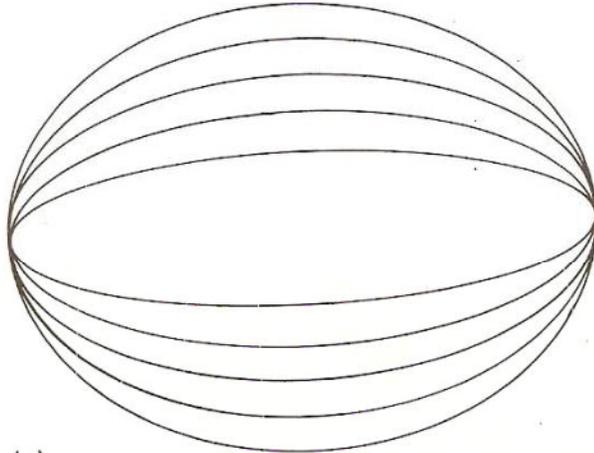
Se llama eje mayor de una elipse a su mayor diámetro; semieje mayor a la mitad del eje mayor. La tercera ley de Kepler, conocida como ley armónica, dice que la velocidad media con que un planeta recorre su órbita disminuye a medida que el planeta está más y más lejos del Sol. La tercera ley de Kepler muestra que la "influencia" que el Sol ejerce sobre los planetas disminuye con la distancia. ¿De qué forma exactamente? Kepler trató de encontrar una respuesta a esa pregunta pero no lo logró, tal vez por su muerte prematura en 1630; o quizás porque era necesario mejorar la física para poder plantearse mejor el problema y Kepler era un excelente matemático, pero no había experimentado en física.



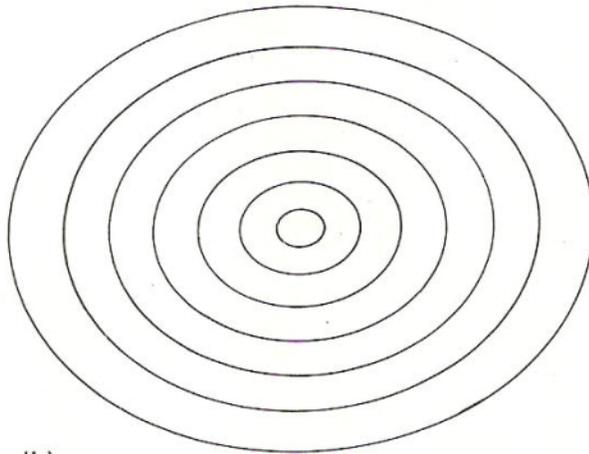
*Ilustración de la segunda ley de Kepler. El planeta demora igual tiempo en ir de A a B que de G a H, por ejemplo. Esto muestra muy claro que en el perihelio (A) la velocidad en la órbita es mucho mayor que en el afelio (H).*



Para dibujar una elipse bastan dos alfileres una cuerda y un lápiz.



(a)

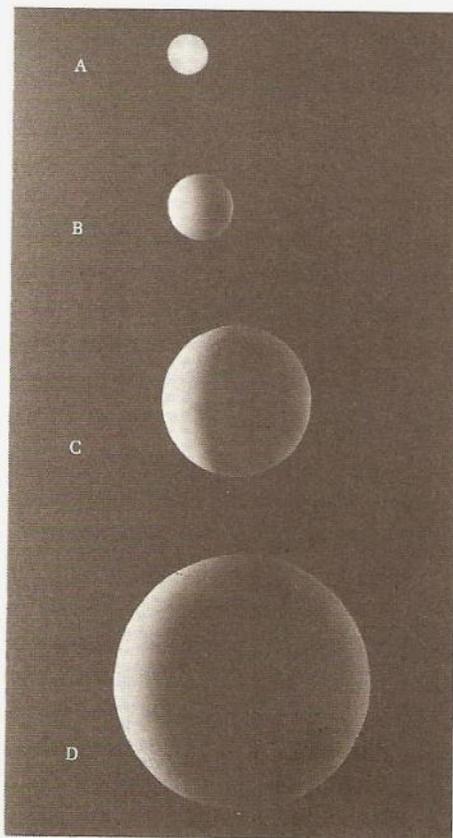


(b)

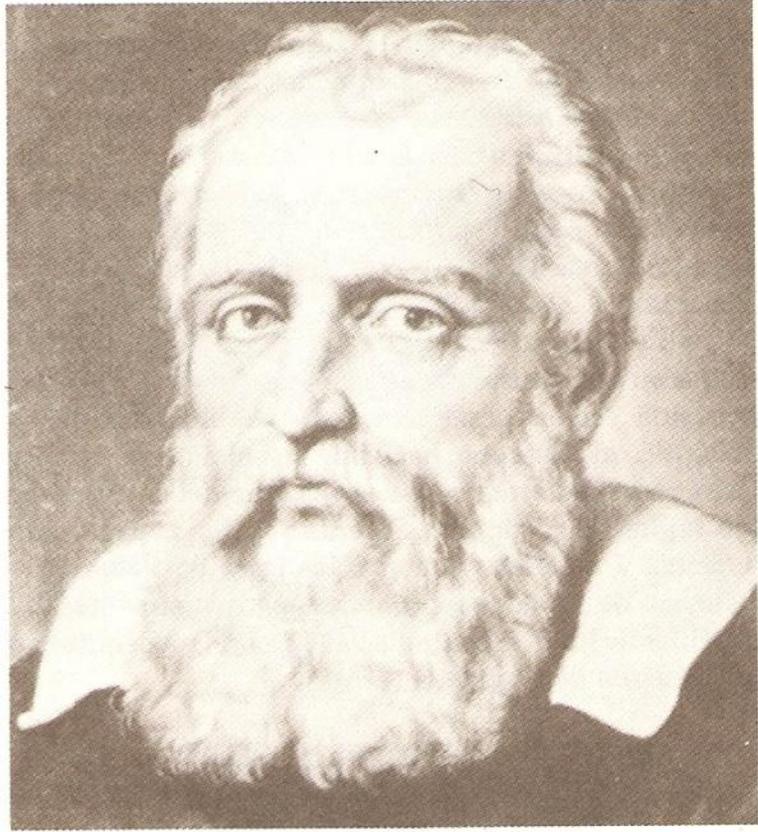
a) Elipses de igual eje mayor pero distintas excentricidades.  
b) Elipses de igual excentricidad pero distintos ejes mayores.

Al gran físico, astrónomo y matemático italiano *Galileo Galilei* (1564-1642), contemporáneo de Kepler, le correspondió hacer un valioso aporte a la ciencia de comienzos del siglo xvii para el establecimiento definitivo del sistema heliocéntrico. Además echó las bases de la física moderna. Galileo rompió con el método utilizado en la Edad Media y el Renacimiento y empezó a preguntarse cómo ocurren los fenómenos en lugar de tratar de especular el porqué de los fenómenos. Así estudió la caída libre de los cuerpos llegando a formular sus leyes. Además llega a la ley de inercia que la física Aristotélica no conocía en absoluto.

Galileo construye en 1609 el primer telescopio a los pocos días que le contaron que en Holanda habían descubierto una combinación de lentes que permitía ver las cosas más cerca. Galileo fue el primero en verle un uso científico al telescopio haciendo con él una gran cantidad de descubrimientos astronómicos entre los cuales destacan del descubrimiento de cuatro satélites de Júpiter, algo raro en Saturno (no fue capaz de distinguir el anillo), los cráteres y montañas lunares, las fases de Venus, las manchas solares, etc. Muchas de estas observaciones, particularmente las fases de Venus y los satélites de Júpiter, contradecían la teoría geocéntrica de Ptolomeo, favoreciendo la teoría de Copérnico.



*Venus a su máxima distancia de la Tierra (A) y cerca de su menor alejamiento (D). El tamaño varía considerablemente, pero también la forma como el Sol lo ilumina. Cerca nuestro sólo lo vemos iluminando por atrás; a su mayor distancia lo vemos totalmente iluminado lo que es imposible según el modelo de Ptolomeo.*



*Galileo Galilei (1564-1642), gran físico, matemático y astrónomo italiano, iniciador de la ciencia moderna.*

Galileo defendió la teoría heliocéntrica con gran vehemencia, hasta que se ganó suficientes enemigos y el libro de Copérnico fue puesto en el Index de los libros prohibidos; luego en 1633 el propio Galileo fue citado ante el Tribunal del Santo Oficio (la Inquisición), obligado a retractarse y condenado a prisión perpetua, que la pudo cumplir después de un tiempo de estar preso, como arresto domiciliario. Sólo en los últimos años de su vida se le permitió que recibiera visitas, entre ellos a sus últimos discípulos Viviani y Torricelli.