

### CAPITULO III

#### LEYES Y PERTURBACIONES ASTRONÓMICAS

Variación secular de la oblicuidad de la eclíptica y nutación. — Aberración de la luz.  
Sistemas astronómicos. — Pasos de Venus

Aunque en lugar oportuno dijimos que la inclinación del plano de la eclíptica respecto del ecuador es invariable, no es esto verdad en todo rigor, puesto que ofrece un cambio apreciable de  $46''$  en cada cien años. Esta variación la han echado de ver los astrónomos por el aumento y disminución progresiva de las latitudes de las estrellas, situadas en regiones opuestas. Su efecto es aproximar más y más el plano de la eclíptica al del ecuador, pero esta disminución de la oblicuidad no pasará de límites muy moderados, después de lo cual (si bien en un período inmenso de siglos, que es un ciclo compuesto, resultante de la acción reunida de todos los planetas) volverá á aumentar, y oscilará así en uno y otro sentido, respecto de una posición media, sin que la extensión de los desvíos de dicha posición llegue á  $1^{\circ} 21'$ ; el intervalo de tiempo que exige una de estas oscilaciones es próximamente de unos 10.000 años.

Uno de los efectos de esta variación del plano de la eclíptica, á saber, el que hace variar sus nodos con un plano fijo, va envuelto con la precesión de los equinoccios, de la cual sólo puede distinguirse por medio de la teoría. Y sin embargo, este último fenómeno es debido á otra causa, análoga en verdad, desde un punto de vista general, á la que produce la variación secular de la oblicuidad de la eclíptica, pero modificada singularmente por las circunstancias que concurren en su producción.

La precesión de los equinoccios, como hemos manifestado, consiste en una retrogradación continua del nodo del ecuador con la eclíptica, y su efecto varía según la época del año y la distancia de la Tierra al Sol; en dos épocas del año que corresponden á los equinoccios, la influencia del Sol es cero, y otras dos veces, ó sea en los solsticios, alcanza su valor máximo. En ningún momento sucesivo presenta exactamente un mismo valor, y por consecuencia, la precesión de los puntos equinociales es irregular, y la oblicuidad de la eclíptica se halla sujeta á variaciones semi-anuas, toda vez que la fuerza solar que produce los cambios de oblicuidad es constantemente variable, y el movimiento de rotación de la Tierra es continuo.

Esto da origen á un pequeño movimiento oscilatorio del eje terrestre, que se llama *nutación solar*; de mucha más importancia es la nutación producida por la influencia de la Luna, hasta tal punto, que Bradley la descubrió mucho antes de que la teoría demostrase su existencia.

La nutación del eje de la Tierra es un pausado y pequeño movimiento giratorio, que, de existir solo, haría que el polo describiese en el cielo, en un período de 18 años y medio, una pequeña elipse, cuyo eje mayor mediría  $18'',5$  y el menor  $13'',74$ ; el semieje mayor es igual, por lo tanto, á  $9'',25$ , cuya cantidad se llama coeficiente de nutación. La consecuencia de este movimiento real del polo es un adelanto y un retroceso aparentes de todas las estrellas hacia el polo, en el mismo período de tiempo. Por esto, también, el lugar del equinoccio en la eclíptica se determina por la situación del polo en el cielo, y el mismo influjo producirá un movimiento alternativo hacia adelante y hacia atrás de los puntos equinociales, resultando que las longitudes y las ascensiones rectas de las estrellas aumentarán y disminuirán en los mismos períodos.

Estos movimientos de precesión y nutación son comunes á todos los cuerpos celestes, así fijos como errantes; y esta circunstancia hace que sea imposible atribuirlos á otra causa sino á la del movimiento real del eje de la Tierra, como hemos indicado. Si sólo afectara á las estrellas, se podría, con igual fundamento, atribuirlo á una rotación real del cielo estrellado sobre nuestro eje, que pasase por los polos de la eclíptica en 25.868 años, y á un movimiento elíptico de este eje en poco más de 18 años; pero toda vez que afecta al Sol, á la Luna y á los planetas, que están dotados de movimientos independientes y distintos de los de la bóveda estrellada, no puede suponerse que dependa sino del movimiento real de la Tierra.

Otro fenómeno importante que debe tomarse en consideración al reducir las observaciones astronómicas, es el que se conoce con el nombre de aberración de la luz. Ni la nutación ni la precesión alteran los lugares aparentes de los astros entre sí; en cuanto de estas causas depende, los vemos como están, si bien desde una estación más ó menos inestable, así como desde un bajel vemos en su verdadera forma y colocación los objetos lejanos en la costa, á pesar de la continua elevación y depresión que causa aparentemente en ellos el movimiento de balance y cabezada de la inquieta estación desde donde los contemplamos. Pero hay una causa óptica, independiente de la refracción y de la perspectiva, que produce cierta alteración en las posiciones relativas de los astros, y que, por lo mismo, nos presenta el cielo bajo un aspecto ligeramente desfigurado y cuyo influjo es preciso calcular y llevar en cuenta para obtener un conocimiento puntual del lugar de cualquiera de ellos.

Esta causa es lo que se llama, como indicamos, la aberración de la luz, efecto singular y sorprendente, dimanado de hallarnos en una estación que no está en reposo, sino en movimiento rápido, y de que las direcciones aparentes de los rayos luminosos no son las mismas para un espectador en movimiento, que para otro en reposo. Aunque la luz se propaga con la velocidad enorme de 75.000 leguas por segundo, y podemos considerar su propagación como instantánea para todas las aplicaciones terrestres, no ocurre lo mismo en los problemas astronómicos, en que, tratándose de millones de leguas, hay necesidad de proceder con mayor escrupulosidad. Un ejemplo bien sencillo servirá para demostrar este punto; si aceptamos que la distancia de nuestro planeta al Sol sea de 37 millones de leguas, una simple operación aritmética nos demostrará que, caminando la luz 75.000 leguas por segundo, el tiempo que tardan en llegar hasta la Tie-

rra los rayos solares es igual á  $8^m 13^s,3$ , por manera que, al mirar al Sol en un momento dado, no lo vemos como brilla en aquel instante, sino como brillaba  $8^m 13^s,3$  antes. Estas diferencias son mucho más considerables, y pueden elevarse hasta siglos, cuando se trata de las estrellas, según tuvimos ocasión de ver en lugar oportuno.

Si la Tierra se encontrara en reposo, este fenómeno sería inmaterial; pero toda vez que nuestro planeta se mueve, se deduce que, cuando los rayos solares hieren la vista de un habitante colocado en la superficie, se encontrará éste separado algún tanto del punto del espacio, que en el momento en que el rayo luminoso partió del Sol; por consecuencia, verá á este lumínar más allá del verdadero lugar que ocupa cuando el rayo penetra en su ojo. En el espacio de  $8^m 13^s,3$  habrá caminado la Tierra en su órbita unos  $20''$ , y esta cantidad se llama *la constante de aberración*. Puede definirse la aberración diciendo que es un fenómeno que resulta del efecto combinado de la propagación de la luz y del movimiento de la Tierra en su órbita.

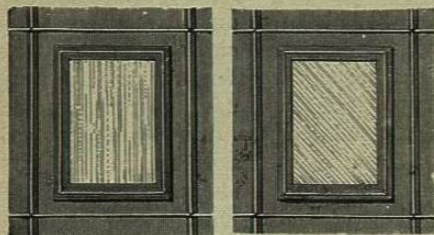


Fig. 140. - Explicación de la aberración

Una persona expuesta á un aguacero, que suponemos cae perpendicularmente en perfecta calma, si permaneciese en pie é inmóvil, recibiría la lluvia en el sombrero, que podría servirle en tal caso, si era grande, de completo amparo; mas si echase á correr en cualquiera dirección, ya el agua le daría en la cara, del mismo modo que si, manteniéndose parado, se hubiera levantado un viento de igual velocidad que la hubiese impelido en aquella dirección. Supongamos que en un coche de ferrocarril observamos por la ventana las gotas de una lluvia vertical; si el coche está inmóvil, parecerá que todas las gotas se mueven en su dirección real, esto es, verticalmente. Pero si el tren está en marcha y si mientras la gota *a* se mueve de *a* á *b*, camina el coche con una velocidad determinada, parecerá que la gota ha seguido la dirección *a' b'*, y veremos que la lluvia cae oblicuamente en la apariencia, siendo tanto más considerable la oblicuidad, cuanto mayor sea la velocidad del tren.

Un observador que mirase la estrella *E* desde la estación inmóvil *T*, vería el punto luminoso en la dirección real del curso seguido por los rayos de luz que emanan á cada instante, es decir, en la dirección *T E*; pero las cosas pasan de otro modo, si el observador se mueve en la dirección de la tangente *T A* á la órbita de la Tierra. Este movimiento se combina con el de las moléculas luminosas y el resultado es el mismo que si el observador permaneciese inmóvil y el rayo de luz estuviese animado de un movimiento *T A'* igual y contrario al de la Tierra. Para averiguar la dirección en que se ve la estrella, es preciso, según las reglas de la mecánica, construir un paralelogramo *T C B A'*, cuyos lados *T C* y *T A'* se encuentran en la relación de 10.000 y 1, es decir, de las velocidades de la luz y de la Tierra; la diagonal *B T e* indicará la dirección del lugar aparente de la estrella, y el ángulo *E T e* será el ángulo de aberración.

El efecto uranográfico de la aberración consiste en desfigurar el aspecto del cielo, haciendo que todas las estrellas se agolpen, digámoslo así, en la dirección de un punto de él, que es el punto evanescente de todas las líneas paralelas á aquélla, en que por el momento se verifica el movimiento de la Tierra. Y como ésta se mueve alrededor del Sol en el plano de la eclíptica, aquel punto debe caer en dicho plano con un adelanto de  $90^\circ$  en longitud respecto de la Tierra, ó igual atraso respecto del Sol, y por de contado variar continuamente de posición, describiendo la circunferencia de la eclíptica en un año, y como hemos demostrado, el efecto en cada estrella de por sí será hacerle describir aparentemente en el cielo una pequeña elipse, cuyo centro corresponde al punto en que se vería la estrella, si la Tierra estuviese en reposo.

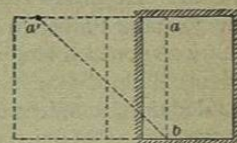


Fig. 141. - Desviación aparente de las gotas de lluvia.

Tenemos todavía en nuestras bibliotecas un libro que durante catorce siglos fué una especie de Biblia astronómica, puesto que nada se le agregaba, ni se discutía ninguna de sus proposiciones. Nos referimos al *Almagesto* de Ptolemeo, compuesto á mediados del segundo siglo de nuestra era, y todo cuanto hemos llegado á saber acerca de la astronomía de los antiguos, lo debemos á este libro en más de un concepto estimable. Ciertamente es que han llegado hasta nosotros varios fragmentos de antiguos autores y que en casi todos los escritos de los poetas y filósofos de Grecia, y aun de Roma, se leen alusiones más ó menos vagas á los fenómenos celestes, y siempre que nos ha parecido oportuno, las hemos mencionado en nuestro trabajo; pero la obra de Ptolemeo es el único compendio que poseemos de la ciencia astronómica de lo pasado. Y aunque su sistema es erróneo en muchos y muy importantes puntos, sin embargo, representa los caracteres más notables de los movimientos aparentes de los astros con completa exactitud.

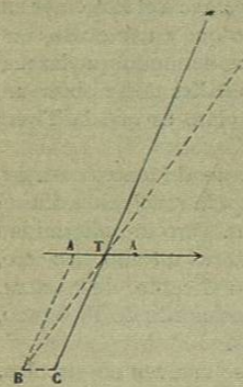


Fig. 142. - Teoría de la aberración

La doctrina fundamental del sistema ptolemaico consiste en suponer que los cielos tienen una forma esférica y que todos los movimientos se efectúan en círculos ó esferas; que la Tierra es esférica asimismo y se halla situada en el centro de los cielos ó esfera celeste, donde permanece fija, y que su magnitud es la de un punto, en comparación con la esfera de las estrellas. Trataremos de presentar las ideas de Ptolemeo del modo más claro posible, en su orden natural, y mencionaremos también las pruebas en que fundaba sus proposiciones.

1.º *Los cuerpos celestes se mueven en círculos.* Aquí se refiere principalmente Ptolemeo al movimiento diurno, por el cual cada uno de los cuerpos celestes se ve en la apariencia arrastrado alrededor de la Tierra, ó más bien, alrededor del polo de los cielos, en un círculo diario. Mas todos los astrónomos de la antigüedad y de la Edad media, hasta la época de Keplero, aceptaban la idea de que, siendo el círculo la figura plana más perfecta, todos los movimientos celestes

deben efectuarse en círculos; y como se notó que los movimientos no eran nunca uniformes, supusieron que tales círculos no eran concéntricos á la Tierra. Cuando no bastaba un solo círculo para explicar el movimiento, introducían una combinación de movimientos circulares.

2.º *La Tierra es una esfera.* Que la Tierra es redonda de Este á Oeste, lo demostraba Ptolemeo por el hecho de que el Sol, la Luna y las estrellas no salen y se ponen á la vez para todos los habitantes de la Tierra. Por las comparaciones de los tiempos en que los eclipses de Luna se ven en diferentes países, se dedujo que, mientras más al Oeste se encuentra el observador, más temprano se verifica el fenómeno después del ocaso del Sol. Como el tiempo es el mismo en todas partes, claro está que el Sol se pone más tarde, mientras más nos alejamos en dirección del Oeste. Además, si la Tierra no fuera redonda de Norte á Sur, una estrella que pasara por el meridiano en el horizonte del Norte ó del Sur, siempre permanecería en el mismo punto por mucho que el viajero caminase hacia el Sur ó hacia el Norte. Esto demuestra que el horizonte mismo cambia de dirección según camine el observador. Finalmente, en cualquier sentido en que nos aproximemos á un objeto elevado viniendo del mar, vemos que su base siempre queda oculta por la curvatura del agua, á menos de que nos acerquemos mucho á él.

3.º *La Tierra es el centro de la esfera celeste.* Si la Tierra fuese separada de su centro, se notarían varias irregularidades en el movimiento diurno aparente de la esfera celeste y parecería que las estrellas se movían con más rapidez en la región en donde la Tierra se encontrase. Si se transportase hacia el Este, nos encontraríamos más cerca de los cuerpos celestes en su orto que en su ocaso, moviéndose también con más rapidez en la primera situación, de modo que las mañanas serían más cortas que las tardes. Y como tales anomalías no se observan, pues el movimiento diurno es perfectamente uniforme, claro es que la Tierra debe encontrarse en el centro de movimiento.

4.º *La Tierra carece de movimiento de traslación.* Porque de tenerlo se apartaría del centro hacia uno de los lados de la esfera celeste y la revolución diurna de las estrellas dejaría de ser uniforme en todas sus partes. Pero la uniformidad de movimiento que acabamos de describir, y que se observa un año tras otro, nos obliga á aceptar que la Tierra conserva su posición en el centro de la esfera.

No deja de presentar interés el análisis de estas proposiciones de Ptolemeo, para averiguar lo que contienen de falsas y de verdaderas.

La primera proposición, de que los cuerpos celestes se mueven en círculos, ó expresado en sentido más literal, con movimiento esférico, es cierta en cuanto concierne al movimiento diurno aparente. Lo que Ptolemeo ignoraba era que este movimiento no es más que aparente y que lo origina la rotación de la Tierra sobre su eje.

La segunda proposición es exacta, y las pruebas aducidas por Ptolemeo en favor de la redondez de la Tierra las hemos presentado en otro lugar de esta obra, esto es, que al cabo de diez y ocho siglos, todavía hay que mencionarlas en un tratado de astronomía. Más curiosa, sin embargo, es la mezcla de verdad y de error que encierran las otras dos proposiciones, relativas á la inmovilidad de la Tierra; y no podemos calificarlas de falsas en absoluto, porque en cierto sen-

tido, esto es, en el único sentido en que puede aceptarse que haya una esfera celeste, la Tierra permanece en su centro. Lo que Ptolemeo no sabía es que esta esfera no tiene existencia real y que el espectador la lleva consigo adondequiera que se transporte. Su demostración de que el centro de revolución de la esfera es la Tierra, puede hasta cierto punto aceptarse como exacta, pues lo que realmente prueba es que nuestro globo gira sobre su propio eje.

La gloria de ser el primero que demostrase al mundo la verdadera teoría de los movimientos celestes, pertenece al inmortal Copérnico; es verdad que tenemos algún motivo para creer que Pitágoras enseñaba que el Sol, y no la Tierra, era el centro del movimiento, y que, por lo tanto, fué el primero en resolver el gran problema; pero no profesó su doctrina en público, y las vagas relaciones de su enseñanza privada sobre este punto, que han llegado hasta nosotros, se encuentran tan enlazadas con las especulaciones que los filósofos griegos sostenían acerca de los fines de la naturaleza, que es difícil decidir si Pitágoras llegó, en efecto, á averiguar la verdad del problema. Es indudable que ningún astrónomo moderno admitiría como exacta la explicación de un fenómeno cualquiera, si no le daban pruebas más convincentes que las que, según es de presumir, podía ofrecer Pitágoras á sus discípulos.

El gran mérito de Copérnico consiste en haber adivinado la verdad y en consagrar la mayor parte de su vida á buscar pruebas para apoyarla, hasta tal punto que en último extremo se imponía de un modo inevitable; pocos libros hay, de los que pueda decirse que encierran la vida de un hombre, más importantes que su gran obra *De Revolutionibus Orbium Caelestium*.

Nació Copérnico en 1473, diez y nueve años antes del descubrimiento de América, cursando sus estudios en la Universidad de Cracovia; abrazó el Estado eclesiástico, permitiéndole su posición dedicarse por completo á sus aficiones favoritas. Se dice que ya en 1507 había concebido su teoría del verdadero sistema del mundo, pero durante muchos años sólo se ocupó de comprobar las observaciones necesarias para perfeccionar su sistema, consultando frecuentemente con sus amigos, y dándoles cuenta de sus opiniones, sin atreverse á publicarlas, temiendo á las preocupaciones del vulgo. En 1540, Retico, uno de sus amigos, dió á luz un opúsculo, escrito con arreglo á algunas de las ideas de Copérnico, que fué recibido de un modo favorable, por lo cual consintió éste en la publicación de su grande obra. El primer ejemplar fué puesto en sus manos pocas horas antes de su muerte, que tuvo lugar en el mes de mayo de 1543.

Los principios fundamentales del sistema de Copérnico se encuentran comprendidos en dos proposiciones distintas, que han de ser probadas separadamente, pudiendo ser la una verdadera y la otra falsa, y viceversa, pues como decimos, son en un todo independientes.

1.º La revolución diurna de los cielos es tan sólo aparente y causada por el movimiento diurno de la Tierra sobre un eje que pasa por su centro.

2.º La Tierra es uno de los planetas, y todos giran alrededor del Sol, como centro del movimiento; el verdadero centro de los movimientos celestes no es, por lo tanto, la Tierra, sino el Sol. Por esto se llama también este sistema teoría heliocéntrica.

Copérnico principió por probar la primera proposición, explicando cómo

puede resultar un movimiento aparente del que en realidad tenga una persona; demostró también que, siendo los cielos, en proporción con la Tierra, de dimensiones enormes, si nuestro globo permaneciera fijo debieran girar los astros con una velocidad infinita; y que era más natural admitir que la Tierra girase, toda vez que hay que estimarla como un punto imperceptible del Universo, que no el Universo mismo.

La obra de Copérnico hizo avanzar á la astronomía, en poco tiempo, de un modo prodigioso, á pesar de estar basada en muchos puntos, en ciertas doctrinas de Ptolemeo y de los antiguos filósofos, puesto que con ellos admitía que tanto los cielos como la Tierra eran esféricos, y que todos los movimientos celestes eran circulares ó compuestos de círculos. Mas con todo eso, mayor aún hubiera sido el adelanto de la ciencia, con un conocimiento más perfecto de las leyes de los movimientos celestes y con observaciones más exactas de las posiciones de los astros. En esta última dirección se inició primeramente el progreso, gracias al genio y á la fuerza de voluntad de Tycho Brahe.

Nació este astrónomo en 1546, tres años después de la muerte de Copérnico; la observación de un eclipse de Sol ocurrido el 21 de agosto de 1560 le hizo aficionarse á la astronomía, asombrado de que tal fenómeno pudiera anunciarse, consagrándose por completo al estudio de esta ciencia admirable. En 1576 fundó el rey de Dinamarca el famoso observatorio de Uraniborg, en el que Tycho, por espacio de veinte años consecutivos, estudió las posiciones de los cuerpos celestes, empleando los instrumentos más perfectos que podían construirse en aquella época. Por desgracia, aún no se había inventado el anteojito, y este astrónomo hizo todas sus observaciones á la simple vista, de modo que su importancia y celebridad se deben, principalmente, á que suministraron á Keplero los medios de descubrir sus inmortales leyes de los movimientos planetarios.

Como astrónomo teórico fué Tycho poco afortunado; rechazó el sistema de Copérnico apoyándose en una razón que en su tiempo no dejaba de tener alguna fuerza; esto es, en la increíble distancia á que había que suponer situadas las estrellas fijas, para que pudiera ser aceptable el movimiento de traslación de la Tierra. Según el sistema del canónigo de Thorn, los planetas superiores parecen describir una revolución anual en un epiciclo, en consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol; las estrellas fijas, que están situadas fuera del sistema solar, debieran presentar el mismo movimiento si la hipótesis fuese verdadera, movimiento que no revelaban ni las observaciones de Tycho, ni las de sus predecesores.

A esto hubieran debido replicar los defensores de Copérnico que las estrellas fijas están demasiado lejos para que fuese posible percibir estos movimientos; los astrónomos de aquella época admitían como axiomático que la naturaleza no podía dilapidar el espacio hasta el punto de que entre la órbita de Saturno, último planeta conocido entonces, y las estrellas fijas hubiera una distancia cien veces mayor que la de este planeta al Sol. Pero, al mismo tiempo, las pruebas que aducía Copérnico en favor de la teoría heliocéntrica eran demasiado poderosas para que fuese posible destruirlas; Tycho, por lo tanto, adoptó un sistema intermedio entre el de Ptolemeo y el de Copérnico. Supuso que los cinco planetas giraban alrededor del Sol, como centro de sus movimientos; que el Sol

también giraba en una órbita anua en torno de la Tierra, y que ésta, inmóvil, era el centro del universo.

Tal vez fué una circunstancia favorable para la admisión del sistema de Copérnico que los instrumentos astronómicos de Tycho Brahe ofreciesen una inferioridad tan marcada con los de nuestro siglo, pues si le hubieran permitido averiguar con toda exactitud que las estrellas no presentan en absoluto paralaje de ninguna especie, y que, por lo tanto, de ser cierto el movimiento de traslación de la Tierra, debieran encontrarse, cuando menos, á una distancia 200.000 veces superior á la del Sol, es bien seguro que los astrónomos hubieran dado la preferencia al sistema ptolemaico.

Tycho no adujo en favor de su hipótesis ninguna clase de pruebas, y es difi-

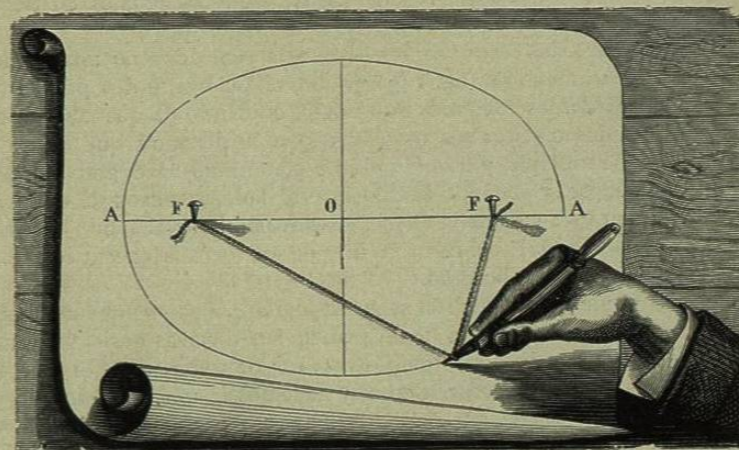


Fig. 143. - Método para trazar una elipse

cil averiguar cómo hubiera podido destruir las numerosas objeciones que contra su absurdo sistema pueden formularse.

Nació Keplero en Wurtemberg el año 1547; durante algún tiempo ayudó á Tycho Brahe en sus cálculos, pero tenía demasiada penetración para adoptar el absurdo sistema de su maestro; comprendiendo la verdad de la teoría de Copérnico, trató de determinar por sí mismo las leyes de los movimientos de los planetas alrededor del Sol.

Las observaciones de Tycho, mucho más exactas que las de sus predecesores, demostraron á Keplero la insuficiencia de esta teoría para representar los verdaderos movimientos de los planetas en torno del Sol; el cuerpo más favorable para esta investigación era Marte, por estar muy cerca de la Tierra, presentando al propio tiempo una órbita de gran excentricidad. El único medio de que podía valerse Keplero para sus investigaciones consistía en formular varias hipótesis respecto de la órbita en que se movía el planeta, y por estas hipótesis calcular sus posiciones y movimientos, según se viera desde la Tierra, tratando de comparar las posiciones calculadas con las observadas, para averiguar si con-