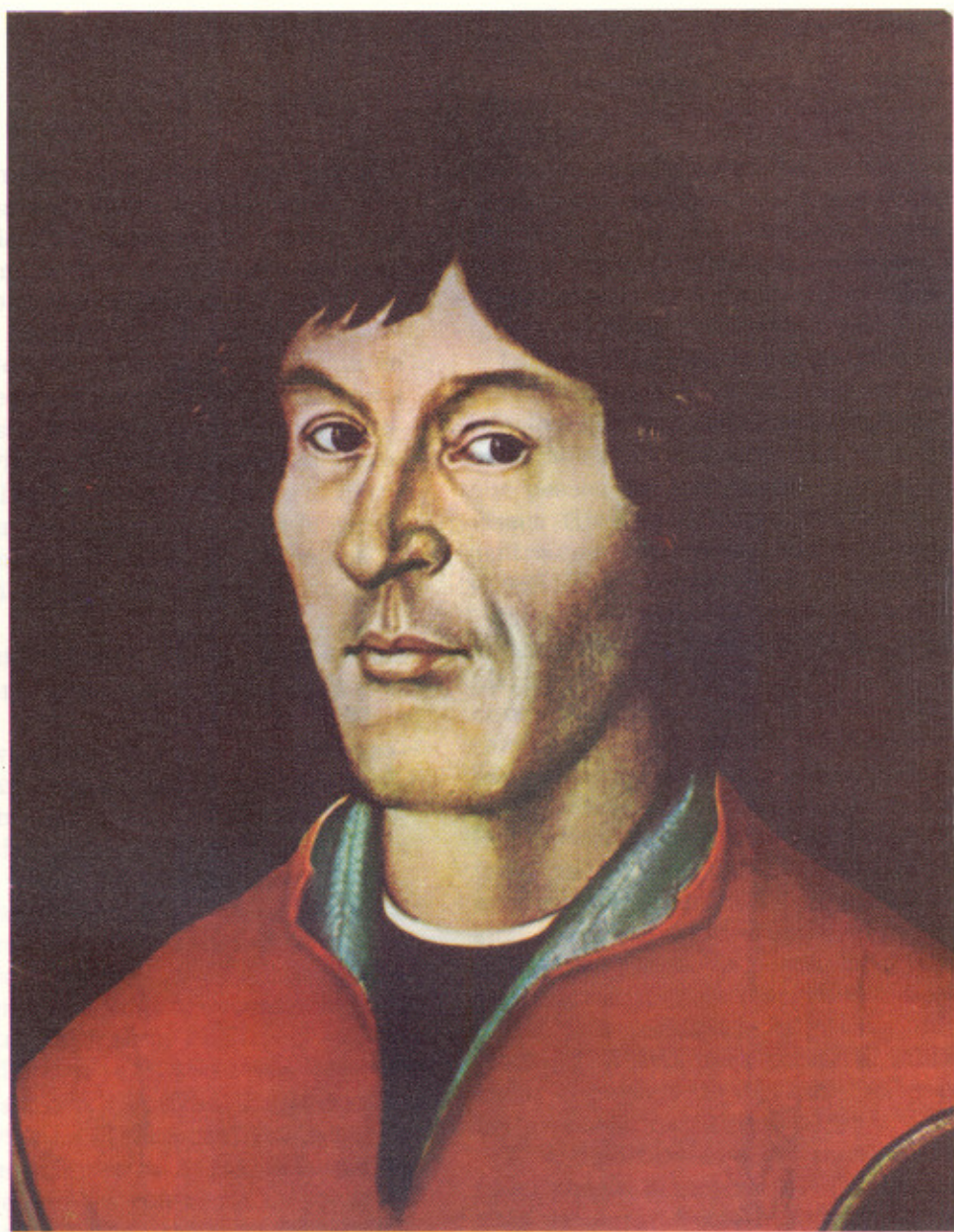


LA ASTRONOMIA DE COPERNICO

Por EUGENIO LÓPEZ



Nicolás Copérnico
1473 - 1543

En la historia de la astronomía el nombre de Copérnico ha quedado ligado a la revolución copernicana, que cambió radicalmente la concepción del universo. En esta época, cuando la astronomía estaba dominada por el geocentrismo, Copérnico propuso que el Sol era el centro del universo y que los planetas, incluida la Tierra, giraban a su alrededor. Esta teoría, que revolucionó la astronomía, fue aceptada por Galileo Galilei y Johannes Kepler, y sentó las bases para la astronomía moderna.

La revolución copernicana, que cambió radicalmente la concepción del universo, fue aceptada por Galileo Galilei y Johannes Kepler, y sentó las bases para la astronomía moderna.

La revolución copernicana, que cambió radicalmente la concepción del universo, fue aceptada por Galileo Galilei y Johannes Kepler, y sentó las bases para la astronomía moderna.

El descubrimiento de la Tierra en el espacio, que cambió radicalmente la concepción del universo, fue aceptado por Galileo Galilei y Johannes Kepler, y sentó las bases para la astronomía moderna.

LA ASTRONOMIA DE COPERNICO

Por EDUARDO BRIEVA B.

Director del Observatorio Astronómico Nacional
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia.

Se ha dicho en múltiples ocasiones que la Revolución Copernicana constituye un hito en la historia del desarrollo intelectual de la humanidad. La transformación de la vieja cosmología trajo consigo un cambio en las relaciones entre el hombre y el universo. La hipótesis de Copérnico, formulada con el objeto de resolver un problema en el marco de la teoría planetaria, implicaba una reforma de los postulados fundamentales de la astronomía; tal revisión tuvo consecuencias insospechadas, que desbordaron los límites de la disciplina, y provocó en parte la mutación de la escala de valores del hombre occidental, mutación que se halla en el origen de la transición a la sociedad moderna.

Semejante transformación de las ideas es solo comparable a la producida por la teoría de la evolución de Darwin o la obra de Marx, en el siglo pasado. La relatividad de Einstein y el psicoanálisis freudiano han causado modificaciones similares en el pensamiento contemporáneo. Esta interacción entre ciencia y sociedad, ilustrada de manera ejemplar por la Revolución Copernicana, es de vital importancia para nosotros, hombres del siglo XX, miembros de una sociedad en la que los conceptos científicos juegan un papel preponderante. Pero la comprensión de los mecanismos de una relación de tal naturaleza implica el conocimiento de los senderos, a veces tortuosos, que conducen a una nueva teoría científica. En el caso de Copérnico estas vías se desconocen; razón por la cual no intentaremos, en estas líneas, más que un somero análisis de su obra con el fin de poner de presente la novedad y las limitaciones del sistema copernicano.

Desde tiempos remotos el hombre ha observado los astros. Las civilizaciones primitivas han construido cosmologías y poblado el cielo de seres mitológicos que presiden las actividades comunes. En una noche estrellada, la imaginación poética es solicitada con mayor intensidad que la curiosidad científica. Sin embargo, el astrónomo está interesado en encontrar la respuesta a preguntas como ésta: ¿a qué distancia se encuentra Júpiter y cómo

es su movimiento? La solución de este problema exige la observación sistemática y cuantitativa de los planetas durante largos períodos de tiempo. Pero, ¿cuáles son los hechos observados? Hagamos una breve síntesis de ellos tratando de ignorar el bagaje cultural de más de veinte siglos.

Las estrellas aparecen a simple vista como puntos luminosos que los antiguos agruparon en constelaciones, cuyas posiciones relativas permanecen invariables; una observación cuidadosa mostrará que poseen un movimiento común, como si estuviesen fijadas en la superficie de una esfera, con centro en el observador, que gira lentamente hacia el occidente y completa una vuelta en 24 horas.

El sol sale cada día por el oriente y se pone por el occidente; los puntos de salida y puesta se desplazan, de sur a norte y viceversa, con el transcurso del tiempo; hacia el 22 de junio, en nuestro calendario, están en su máxima posición norte, mientras alcanzan su máxima posición sur hacia el 22 de diciembre. Por otra parte, el Sol se mueve lentamente hacia el este con respecto a las estrellas y vuelve a ocupar un mismo lugar entre ellas a intervalos de un año¹; la variación de su posición en el horizonte oriental corresponde al ciclo de las estaciones. La Luna, cuyo aspecto cambia continuamente y de manera cíclica, describe una trayectoria vecina a la eclíptica y emplea, en promedio, 27,3 días para volver al mismo punto del cielo; el período de una revolución puede diferir del promedio hasta en 7 horas².

El comportamiento de los planetas es similar; todos poseen el movimiento diurno, hacia el oeste, y se desplazan hacia el oriente, en las cercanías de la eclíptica, con velocidad variable, sobre el fondo de las estrellas "fijas". Para completar una revolución Mercurio emplea, en promedio, 88 días, Venus 225 días, Marte 687 días, Júpiter 12 años

¹ La eclíptica puede definirse, en primera aproximación, como la trayectoria aparente descrita por el Sol sobre la esfera celeste.

² El movimiento de la Luna es quizá el problema más complejo de Mecánica Celeste.

y Saturno 29 años³. Además, sus trayectorias presentan una curiosa característica: periódicamente el sentido del movimiento se invierte y el planeta dibuja una especie de bucle en el cielo. Esta retrogradación, que corresponde a un incremento del brillo aparente, ocurre, para los planetas llamados superiores, en las vecindades de la oposición, instante en que el astro se halla a una distancia angular de 180 grados del Sol.

Existe otro factor que permite dividirlos en dos grupos: su posición con respecto al Sol. Mercurio no se aleja nunca más de 28 grados; durante un cierto tiempo se mueve hacia el oriente, alcanza su máxima elongación, retrograda luego y se coloca al occidente de aquel, para repetir de nuevo el ciclo. Lo mismo puede decirse de Venus, cuya máxima elongación es de 45 grados⁴. Los demás planetas se hallan a veces muy próximos al Sol, o en conjunción con éste, otras veces están en oposición, o pueden ocupar posiciones intermedias.

En resumen, los movimientos celestes son, en cierto modo, cíclicos. ¿Cómo explicar su complejidad e irregularidades? ¿Por qué los planetas poseen la retrogradación mencionada? La breve descripción cualitativa intentada no basta para dar respuestas adecuadas desde el punto de vista del astrónomo, quien debe enfrentarse para encontrarlas, al problema cuantitativo representado en las interminables tablas en donde observadores cuidadosos han consignado, desde tiempos remotos, las posiciones planetarias.

La mayoría de los pueblos de la antigüedad veneraban al Sol como dios de las estaciones y guardián del calendario, e interpretaron en diversas formas los fenómenos observados. Así, para los egipcios Ra, dios principal, poseía dos embarcaciones: una para su viaje por los aires, durante el día, la otra para su travesía nocturna sobre las aguas. Según Anaximandro de Mileto, "el Sol es como una rueda de carro cuya dimensión es 28 veces la de la Tierra. Es como una rueda hueca llena de fuego que deja pasar las llamas en un punto, por un respiradero, como tubo de fuelle"⁵. Los eclipses se producen por el cierre de la abertura situada sobre la rueda. Ya en el siglo IV a.c., muchos filósofos y astrónomos griegos consideraban la Tierra como una esfera inmóvil situada en el centro de otra, mucho mayor, dotada de un movimiento de rotación, a la cual se hallaban fijas las estrellas. El Sol y los Planetas se desplazaban en el espacio comprendido entre las dos; más allá de la exterior no había ni espacio ni materia.

En este universo, la esfera interior era la sede de las cosas mutables y los cuatro elementos proporcionaban el marco explicativo de los fenómenos. En el cielo, separado de la Tierra y lugar de los dioses, la perfección debía existir. El movimiento circular uniforme era el apropiado a los cuerpos celestes, inmutables y por lo tanto compuestos únicamente de un quinto elemento propio de su naturaleza: la quinta esencia. Tal esquema conceptual, que daba una explicación del movimiento diurno, tuvo no obstante ilustres adversarios, entre los cuales merece citarse Aristarco de Samos, para quien el Sol ocupaba el centro de una inmensa esfera celeste y con respecto al cual la Tierra describía una órbita circular. ¿Pero siendo ésta el lugar de cambio, destrucción y muerte, podía ser asimilada a un cuerpo celeste, inmutable por naturaleza? No es difícil hallar la razón del abandono de este modelo heliocéntrico.

El primero en abordar el problema de los planetas y ofrecer una teoría coherente fue Eudoxio, discípulo de Platón. En su sistema de esferas homocéntricas, cada planeta se sitúa en la interior de un grupo de dos o más cuya rotación simultánea alrededor de ejes distintos, reproduce el comportamiento del astro. Este modelo, integrado por Aristóteles a la cosmología más completa e influyente del mundo antiguo, no podía explicar las diferencias de brillo observadas.

Todo el legado de la astronomía griega está condensado en la obra de Claudio Tolomeo, cuya *Sintaxis*, más conocida con el nombre de *Almagesto*, presenta el sistema astronómico que se mantuvo vigente por más de catorce siglos. Los postulados de Tolomeo están basados en la física aristotélica; los cielos son esféricos y poseen movimiento circular uniforme; la Tierra es aproximadamente esférica y se halla, en reposo, en el centro de aquellos; su tamaño es pequeño comparado con el de la esfera de las fijas.

A partir de estas proposiciones, el gran astrónomo desarrolló procedimientos que permitían predecir la posición de los planetas. Los elementos básicos de su teoría son los siguientes: la *excéntrica*, circunferencia cuyo radio se mueve con velocidad angular uniforme con respecto al centro geométrico; la Tierra está colocada fuera de dicho centro. Tal dispositivo explica la velocidad variable de los planetas en su órbita. El *emíciclo*, circunferencia sobre la cual se mueve uniformemente el planeta, y cuyo centro se mueve a su vez sobre otra circunferencia de tamaño mayor, el *diferencial*; la escogencia adecuada de los radios y las velocidades angulares permite reproducir la retrogradación planetaria y explicar las diferencias de brillo. Un tercer elemento, el *ecuate*, hace posible representar el movimiento en aquellos casos en que las construcciones ya citadas no son suficientes; consiste en una circunferencia tal que el movimiento uniforme se efectúa alrededor de un punto excéntrico, que a su vez ocupa una posición

³Los antiguos sólo conocían estos planetas, además del Sol y la Luna que eran considerados como tales. Urano fue descubierto por Herschel en 1781, Neptuno por Leverrier y Galle, en 1846, y Plutón por Lowell y Tombaugh, en 1930.

⁴Durante siglos Venus fue designado con nombres diferentes, según aparecía como estrella vespertina o matutina.

⁵Kuhn, T. S., *La Révolution Copernicienne*, traducción de Avram Hayli. Fayard. Paris, 1973. P. 30.

simétrica a la de la Tierra, con respecto al centro geométrico ⁶.

Utilizando una combinación de excéntricas, epiciclos y ecuantas, Tolomeo describió separadamente el movimiento de cada planeta. Hoy sabemos que la posición de un astro tal se representa por una cierta función cuasiperiódica del tiempo que puede ser aproximada uniformemente por un desarrollo en serie de Fourier, el cual equivale al conjunto de dispositivos geométricos utilizados por Tolomeo en cada caso ⁷. Es importante anotar que el movimiento circular uniforme se lleva a cabo con respecto a un cierto punto que no está ocupado necesariamente por la Tierra.

Esta teoría, sin embargo, contenía algunas contradicciones notorias; el mecanismo correspondiente a la Luna, por ejemplo, implicaba una variación del diámetro angular incompatible con la observación. Por otra parte, las tablas planetarias, calculadas con base en el sistema de Tolomeo, iban perdiendo precisión con el correr del tiempo.

No es necesario repetir aquí las reflexiones acostumbradas sobre el clima especial del Renacimiento, ni mencionar los avatares de la astronomía planetaria en el Medioevo. Bástenos con citar los nombres de algunos predecesores de Copérnico, representantes de la renovación de la disciplina en el siglo XV: Georg Peurbach, Johannes Müller, quienes hicieron revivir la tradición astronómica helenística, cuyo apogeo se había dado en la obra del gran astrónomo alejandrino.

El *De Revolutionibus Orbium Coelestium* se inicia con una dedicatoria a Pablo III. Allí, Copérnico expone los motivos por los cuales ha emprendido sus investigaciones: el desacuerdo entre los matemáticos, dice, la multiplicidad de los sistemas astronómicos, esferas homocéntricas, epiciclos, y el fracaso de todos ellos en explicar correctamente los movimientos celestes, lo han llevado a pensar en que algo esencial ha sido ignorado. El empleo de excéntricas y ecuantas, afirma, constituye una violación del principio del movimiento circular uniforme. Así pues, es necesario buscar otra solución. Enumera en seguida aquellos filósofos antiguos que pensaron en el movimiento de la Tierra, para terminar, en el prólogo, con una cita de Plutarco: "Hasta ahora el movimiento de los

astros ha vencido la inteligencia de los matemáticos" ⁸.

Copernico cree en un orden natural, lógica y estéticamente perfecto, que se pone de manifiesto en su dinámica: a la figura geométrica perfecta, la esfera, le corresponde el movimiento circular uniforme. Los astros tienen tal forma, luego obedecen a la misma ley de movimiento; la Tierra no constituye un mundo aparte: siendo esférica se mueve circular y uniformemente. El Sol, en reposo, ocupa el centro del universo y no desempeña papel dinámico alguno.

La rotación de la Tierra explica el movimiento diurno; su traslación alrededor del Sol permite comprender de inmediato, una vez fijado el orden de los planetas, la retrogradación y fluctuaciones en el brillo de éstos. Así, las "segundas desigualdades" encuentran la misma causa. La ausencia de paralaje en las estrellas fijas se debe al gran tamaño de la esfera celeste, comparada con la órbita de la Tierra ⁹. Copérnico describe además, por primera vez, la precesión de los equinoccios en términos de un movimiento del eje de rotación terrestre, pero su construcción cinemática es errada ¹⁰.

La simplicidad de este sistema se oscurece al abordar el problema de las "primeras desigualdades", es decir, la variación de las velocidades orbitales de los planetas. Habiendo rechazado el ecuante como una violación del movimiento natural, nuestro sabio recurre a las excéntricas y los epiciclos ¹¹. En algunos casos sus construcciones son más sencillas que las de Tolomeo, pues no necesita explicar mediante los mismos dispositivos la retrogradación planetaria; en otros, su trabajo está demasiado cerca del de su ilustre predecesor. La Tierra, aunque despojada de su posición central, no pierde por ello todos sus privilegios: el centro de su órbita sigue siendo el punto de referencia de los movimientos planetarios. Kepler mostraría más tarde la magnitud del error así cometido ¹².

⁶ *Las Revoluciones de las Esferas Celestes*, libro I, Introducción y notas de Alejandro Koyré. Traducción de Jorge Fernandez Chiti. Eudeba, Buenos Aires, 1965. P. 49.

⁷ La prueba de la gran distancia a que se halla Saturno de las estrellas fijas la encuentra Copérnico en el titular de éstas, fenómeno que establece, para él, la diferencia entre los cuerpos inmóviles y los que se hallan en movimiento.

¹⁰ En efecto, recordemos que las esferas celestes existen realmente para Copérnico; entonces el eje de rotación terrestre describiría un cono en un año y la posición del polo celeste con respecto a las estrellas se modificaría. En vista de que esto no se observa, se ve obligado a introducir un movimiento adicional del eje, para mantenerlo paralelo a sí mismo, con un período ligeramente menor que un año. Esta pequeña diferencia causa la precesión.

¹¹ Hoy día disminuimos la importancia de estos epiciclos y excéntricas, para destacar la hipótesis del movimiento de la Tierra. En tiempos de Copérnico, sin embargo, ocurrió lo contrario: tales mecanismos permitían la construcción de nuevas tablas planetarias, que podían utilizarse sin necesidad de aceptar los postulados.

¹² Dreyer, J. L. E., op. cit., pág. 344.

⁸ Para un estudio detallado de los sistemas de Eudoxio y Tolomeo, véase Dreyer, J. L. E., *A history of Astronomy from Thales to Kepler*. Ediciones Dover, 1953.

⁷ Cabe preguntarse sobre el desarrollo posterior de las ciencias físicas, si en lugar de orientar la investigación hacia las causas del movimiento de los cuerpos, búsqueda que habría de culminar con el descubrimiento del principio de inercia, los investigadores hubieran dedicado su atención a los aspectos algebraicos de una construcción geométrica como la de Tolomeo. Cualquier discrepancia con la observación pudiendo ser superada con la introducción de más y más epiciclos, o lo que es lo mismo, agregando términos en la serie de Fourier correspondiente, ¿no tendríamos hoy un universo de constantes, sin leyes físicas?

Las *Tabulae Prutenicae*, calculadas por Erasmus Reinhold con base en el modelo copernicano, seguían mostrando notorias discrepancias con la observación. Poco a poco se impuso la necesidad de renovar los instrumentos y técnicas observacionales, como primer paso hacia la construcción de una adecuada teoría planetaria. Esta tendencia habría de culminar en los trabajos de Tycho Brahe, que permitirían a Kepler sentar las bases de la

mecánica celeste, al descubrir las leyes que llevan su nombre.

Copérnico renovó la astronomía de su tiempo; no obstante, su cosmología está todavía prisionera de las antiguas concepciones. Al conmemorar el quinto centenario del nacimiento del sabio polonés, merece recordarse su nombre como un eslabón de la larga cadena de forjadores de la ciencia moderna.