

La imagen del mundo en la Antigüedad

La evolución de las ideas sobre la forma de la Tierra, de Tales de Mileto a Ptolomeo*

AUGUSTO SALINAS

M.A. Ph.D. (e) en Historia de la Ciencia, Universidad de Wisconsin. Doctor en Historia, Universidad Católica de Chile. Profesor Investigador de la Universidad Finis Terrae

RESUMEN

Durante 20 siglos, el paradigma de una Tierra redonda e inmóvil, asentada al centro de un Universo esférico, constituyó el modelo del mundo predominante en la cultura griega y europea. Esta "ymago mundi" fue capaz de otorgar respuestas a muchos problemas teóricos y prácticos y de explicar a satisfacción fenómenos celestiales y otros hechos relacionados con la rotación terrestre. En el período clásico de la civilización griega, sus filósofos formularon hipótesis y teorías cosmológicas que plasmaron la visión de un Universo limitado por una esfera de estrellas fijas, más allá de la cual nada existía. Ptolomeo, el gran astrónomo del siglo II d.C.; elaboró la síntesis de las observaciones astronómicas y formulaciones teóricas de la Antigüedad. El sistema ptolomaico, estructurado en un Universo de esferas concéntricas con centro en la Tierra, constituyó uno de los grandes legados de la Antigüedad a la civilización occidental.

ABSTRACT

From the fifth century B.C. to the Renaissance, the idea of an Earth round and motionless, located at the very center of a spheric Universe, was the dominant model within the Greek and European cultures. This "Ymago Mundi" provided good answers to certain theoretical and practical problems and explained well celestial phenomena and other facts related to terrestrial rotation. During the Classical Age of Greek civilization, its philosophers drew up cosmological hypothesis and theories, which structured the vision of a closed world, limited by the sphere of fixed stars. Beyond that sphere nothing existed. Ptolemy, the great astronomer of the second century, synthesized the astronomical observations and the theoretical propositions of the Ancients. The Ptolemaic system, based in a World of concentric spheres centered in Earth, was one of the great legacies of the ancient world to West civilization.

INTRODUCCION

En 1543 la publicación de *Las Revoluciones de los Cuerpos Celestiales*, de Nicolás Copérnico, marcó el principio del fin de uno de los paradigmas de mayor importancia y duración en la historia de la ciencia y de la humanidad: la visión de un universo esférico y geocéntrico, que hasta ese momento había probado ser una teoría exitosa y de gran capacidad de explicación, proporcionando satisfactorias respuestas a la humanidad durante más de veinte siglos.

Este esquema se debió a la capacidad griega para formular modelos y teorías sobre el mundo y el hombre. En el período clásico de la civilización griega, sus filósofos formularon hipótesis cosmológicas que plasmaron la visión de un universo limitado por una esfera de estrellas fijas, más allá de la cual nada existía. Dentro de este mundo se agruparon una sobre otra una serie de esferas, cuya función era transportar a los planetas en sus revoluciones en torno a la Tierra o a un punto imaginario situado en sus cercanías. Este

cosmos, donde el único elemento era un éter transparente y sin peso, correspondía con el microcosmos subplanetario, formado por los elementos tierra, agua, aire y fuego.

¿Por qué la Antigüedad escogió este modelo y no otro? En gran parte, porque la razón predominó sobre el mito, dando cabida a proposiciones cosmológicas corroboradas por testimonios y observaciones empíricas. En segundo lugar, por razones estéticas, puesto que sólo la esfera podía satisfacer el orden y la belleza del universo. En tercer lugar, por el sentido común y la experiencia cotidiana, que comprobaban día a día las elucubraciones teóricas de astrónomos y filósofos. Este modelo teórico permitió la solución de problemas de orden práctico, ya que con él se pudo calcular las posiciones de los cuerpos celestes y se formuló un calendario civil y religioso.

Claudio Ptolomeo, el gran astrónomo del siglo II d.C., fue quien elaboró la síntesis de las observaciones astronómicas y formulaciones teóricas de la Antigüedad. El sistema ptolomaico, estructurado en un universo de esferas concéntricas con

* Este trabajo forma parte del Proyecto FONDECYT N° 1940160, "La Ciencia Europea a Fines del Siglo XV: Fundamentos Científicos del Proyecto Colombino, 1485-1525".

centro en la Tierra, constituyó uno de los grandes legados de la Antigüedad a la civilización occidental.

1. El aporte de egipcios y babilonios

Gracias a sus conocimientos de los fenómenos celestiales y luego a su capacidad de razonar acerca de estos hechos, los antiguos pueblos del Mediterráneo llevaron a cabo tareas tales como:

- Predecir la aparición de los cuerpos celestes, sus salidas, ocasos, eclipses, aceleraciones, retardos y puntos estacionarios. Especular acerca de la naturaleza física de los acontecimientos celestiales.
- Elaborar un modelo plausible del sistema planetario.

En astronomía, las tareas de observación y la elaboración de teorías se originaron en lugares diferentes y hasta cierto grado se desarrollaron independientemente¹. Los egipcios y babilonios se preocuparon de observar y registrar los movimientos de los cuerpos celestiales, en tanto que los griegos formularon especulaciones sobre el Cosmos, pero tuvieron en cuenta los registros de los pueblos anteriormente mencionados.

Los egipcios observaron las constelaciones y las estrellas que las componían y favorecieron un calendario solar con un año de doce meses. Pronto se dieron cuenta que el año astronómico, que comenzaba con el ascenso de Sothis, tenía una diferencia de un cuarto de día (seis horas) con el año civil; al fin, el calendario Sothico o Juliano, adoptado por Roma (Julio César) el 45 a.e., con la ayuda técnica del egipcio Sosígenes, tuvo una duración de 365 días $\frac{1}{4}$, y rigió en Europa hasta fines del siglo XVI.

Fueron los babilonios quienes iniciaron el arte de las observaciones astronómicas regulares del cielo, esto es, la práctica de una astronomía de posición. Los pueblos de la Mesopotamia lograron mantener un registro continuo y fechado de los sucesos astronómicos por lo menos desde el 747 a.e. y de desarrollar técnicas matemáticas que sólo han sido superadas después de muchas centurias. Su sistema sexagesimal - un sistema numérico de base 60- fue uno de sus grandes aportes, que todavía sigue vigente en nuestros sistemas de medición de tiempo y en geometría y trigonometría. También introdujeron el concepto de posición en numeración, la extensión de la esca la numérica de múltiplos y submúltiplos y el uso de la misma base para números y medidas.

Los babilonios sabían que los planetas no se mueven a través de las estrellas fijas en trayecto-

rias rectas y a velocidades constantes. Al registrar los movimientos del sol notaron que tiene un doble desplazamiento, porque no sólo se mueve a lo largo de la eclíptica, sino que comparte también el movimiento diario y anual de las estrellas, atraviesa el cielo cada día y cambia su elevación con las estaciones. Así fueron conociendo mejor los movimientos de los cuerpos celestes, pero no se preguntaron por la causa de estos fenómenos y menos aún se interesaron en explicarlos. Su interés era conocer la posición de astros y planetas y la regulación del calendario, puesto que para las actividades civiles y religiosas se requería de un calendario uniforme y seguro.

Las observaciones astronómicas de egipcios y babilonios fueron anotadas en papiros y tabletas de arcilla, con lo que se comenzó a estructurar un registro de capital importancia para la correcta comprensión de los fenómenos celestiales. Aprendieron a conocer los ciclos astronómicos por razones prácticas y religiosas, pero tendieron a ignorar los problemas especulativos. Esta tarea les estaba reservada a los griegos².

2. El legado de Grecia: (1) De Tales a Pitágoras

La formulación de una teoría científica requiere saber qué fenómenos deberá explicar y luego identificar y analizar las regularidades que aparecen. El primer paso es establecer que en cierto ámbito de la realidad o que en cierto período de tiempo se producen fenómenos de un tipo determinado, y luego formular alguna teoría que permita comprender las regularidades observadas. Esto fue precisamente lo que llevaron a cabo los filósofos griegos de la época clásica y luego los astrónomos del período helenístico.

Tales de Mileto (ca. 624-548-5 a.e.) fue el primero de los grandes pensadores griegos. Según Heródoto, predijo el eclipse del 28 de mayo de 585 a.e. que detuvo el combate entre persas y lidios, pero existen dudas razonables sobre este hecho. Tales concebía la Tierra como un disco o círculo bidimensional que flotaba sobre un océano infinito. También fue el primero en preguntarse de qué estaba hecho el mundo y la naturaleza de esta materia (physis) concluyendo que este elemento primordial era el agua.

Un gran paso en el proceso de formulación de un modelo del sistema planetario fue el dado por

¹ Stephen Toulmin y June Goodfield. *La Trama de los Cielos*. (Buenos Aires: EUDEBA, 1963), p. 22.

² Para una descripción más completa de la astronomía de los pueblos del Oriente Medio, véase el texto ya citado de Toulmin y Goodfield y especialmente la monumental obra de George Sarton, *A History of Science*. 10 ed. de Science Editions (New York: John Wiley & Sons, 1964), Tomo 1, Ancient Science Through the Golden Age of Greece. Parte 1, 2. Egipto, esp. pp. 28-30; 3. Mesopotamia, esp. pp. 74-78.

Pitágoras (ca. 582 † ca. 497 a.Ci) y sus seguidores. Hasta donde sabemos, Pitágoras fue el primero en concebir la Tierra como una esfera, puesto que la esfera es el cuerpo geométrico más perfecto. Desde luego, el de Pitágoras fue más un acto de fe que una conclusión científica, pero así son, en mayor o menor grado, todas las hipótesis científicas.

La Escuela Pitagórica fue instrumental en el desarrollo de la cosmología durante el siglo V a.c. Los pitagóricos fueron los primeros en llamar Cosmos al mundo, esto es, un sistema ordenado y armónico. Para los seguidores de Pitágoras el universo es un sistema bien ordenado, estructurado en cierto número de esferas cuyo centro es la Tierra. Los planetas ("vagabundos") no son cuerpos errantes sino que poseen movimientos regulares; estos movimientos son uniformes. También afirmaron el carácter divino de estrellas y planetas y el dualismo de un mundo superlunar y sublunar. La Escuela Pitagórica fue la cuna de la astronomía matemática, pero también la cuna de la astrología.

Un contemporáneo de Pitágoras fue Parménides de Elea. Fue el primero en afirmar que la tierra esférica se dividía en cinco zonas (climas). Probablemente, y casi al mismo tiempo que Pitágoras, llegó a concebir la idea de una Tierra esférica como una concepción a priori, pero que luego fue confirmada por la observación de las estrellas. En efecto, el mundo conocido por los griegos se extendía al menos entre la latitud 45° N (Mar Negro) y el trópico de Cáncer; en cinturón de 20° a 25° de ancho. Esto era más que suficiente para observar los grandes cambios que se producían en el cielo al subir o bajar de altitud. En este sentido, las especulaciones de carácter teórico estaban siendo confirmadas por la experiencia.

Durante el siglo V, atenienses y jonios complementaron las audaces hipótesis teóricas con observaciones diseñadas para su eventual comprobación. Oinopides de Quios fue el primero en descubrir la oblicuidad de la eclíptica, una idea que ya *había* sido expresada por Anaximandro. Las observaciones realizadas permitieron calcular la distancia angular entre el plano del Ecuador y la órbita solar (suponiendo que era el sol el que se *movía*) en 24°, valor que no dista demasiado del real, igual a 23° 27'. A su vez, Metan y Euctemon hicieron las primeras observaciones exactas de los solsticios en Atenas en 432. Esto les permitió determinar la duración del año, igual a 365 5/19 días. El día resultó ser 30 min 10 s demasiado largo, pero más exacto que cualquier otro cálculo anterior³.

3. El legado de Grecia: (11) La época de Aristóteles

Luego de los grandes cambios políticos, sociales y culturales acaecidos en Grecia y particularmente en Atenas después de la Guerra del Peloponeso, los filósofos siguieron a Platón o Aristóteles en sus peculiares enfoques sobre el mundo y la teoría del conocimiento. Platón (ca. 427-t ca. 347 a.C.). fundador de la Academia, se basa en su teoría de las formas para la formulación de sus ideas cosmológicas, lo que lleva a cabo principalmente en su diálogo el *Timeo*. En esta obra, Platón se ocupa de la cosmología, entendida como el estudio del universo en su totalidad y en la admiración de su orden y belleza. El propósito del *Timeo* es relacionar la *República* (tal y como la concibe Platón en su obra del mismo nombre) con la organización del Universo: La República es tan sólo el aspecto político del Universo y el *Timeo* es la justificación cosmológica de la República; la moral humana viene a ser un reflejo de la inteligencia cósmica.

Para Platón, el Universo es un organismo dotado de alma, cuya racionalidad se evidencia a través de la regularidad de los movimientos astrales. El alma del hombre y el alma del universo son divinas e inmortales. Las estrellas y los planetas son la representación más sublime de las ideas y deberían ser llamados dioses⁴. Por otra parte, el universo de Platón es esférico, teniendo como punto central una Tierra redonda y sin movimiento.

Eudoxo (ca. 408-t335 a.C.), discípulo de Platón en la Academia, aprendió astronomía con los pitagóricos. También formuló la hipótesis de las esferas homocéntricas, cuyo propósito fue proporcionar una base matemática de las posiciones de los cuerpos celestiales en un momento determinado. El objetivo que se fijó Eudoxo fue el de "explicar o dar cuenta del fenómeno" (σφζειν τα φαινόμενα) de la manera más plausible. Esto no era difícil tratándose de las estrellas, pero no acontecía lo mismo con los planetas, cuyas trayectorias son extremadamente problemáticas y difíciles. A veces parecen detenerse, o retroceden, o trazan complicadas curvas. Para "salvar el fenómeno" planetario Eudoxo imaginó un sistema de esferas que permitía explicar los movimientos planetarios como una combinación de dos rotaciones realizadas a dos velocidades uniformes diferentes. Su solución fue muy inteligente y elegante y "salvó el fenómeno" con la sufi-

³ Ibid., Esp. Caps. 7, 8, 10, 11. J.L.E. Dreyer proporciona un excelente análisis de los filósofos y astrónomos grie-

gos de los siglos VI y V a.e. en su obra *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. 2ª ed. (New York: Dover Pubs., 1953), esp. los capítulos 1 y 2.

⁴ G. San en, *A History of Science*. T. 1, cap. 16, pp. 420-21.

ciente aproximación, aun cuando fue inevitablemente imperfecta⁵.

Las opiniones astronómicas de Aristóteles (384-t322 a.C.) son de gran importancia, puesto que el gran filósofo griego fue la autoridad inquestionada en materias cosmológicas en la Cristiandad europea a partir del s. XII, principalmente a través de los comentarios de Averroes. Sus ideas están principalmente contenidas en sus obras *Física*, *De Caelo* y el *Comentario* de Simplicio y es fácil discernir en ellas la aplicación irrestricta de su teoría del conocimiento, contraria a la de Platón. Aristóteles no creía que los fenómenos y procesos naturales se pudieran reducir a términos matemáticos, porque consideraba que el ámbito de esta disciplina era limitado. Había muchas propiedades de las cosas que no podían comprenderse en términos geométricos o numéricos. Su análisis del movimiento natural de los astros y planetas en comparación con el movimiento en la Tierra (esfera sublunar) le hacía creer en un contraste absoluto entre un cielo divino y una tierra mortal, una concepción que, como se ha mencionado, ya había anticipado Pitágoras,

Aristóteles, discípulo de Platón al igual que Eudoxo, no estaba satisfecho con la hipótesis de las esferas homocéntricas de este último. El estimó necesario transformar un sistema meramente geométrico en uno material y mecánico, con esferas materiales, una dentro de la otra e interactuando la una sobre la otra. ¿Creyó verdaderamente Aristóteles en la existencia material de sus esferas? No lo sabemos.

Es necesario conocer siquiera superficialmente las ideas aristotélicas sobre la dinámica celestial. Aristóteles postula la existencia de tres clases de movimiento en el espacio: rectilíneo, circular y mixto. Los cuerpos del mundo sublunar tienden a moverse de modo rectilíneo y caen hacia el centro de la Tierra. Los cuerpos celestiales, en cambio, están hechos de éter, un elemento divino, transparente y sin peso, cuyo movimiento es circular, inmutable y eterno. El universo es esférico y finito. Es esférico porque la esfera es la forma geométrica más perfecta; es finito porque posee un centro, el centro de la Tierra, y un cuerpo infinito no posee ningún centro. Existe sólo un universo y ese universo es completo; nada puede existir fuera de él. En *De Caelo*, Aristóteles afirma que la esfera de las estrellas fijas es el primer móvil, lo que la convertía en el dios más poderoso.

En cuanto a la forma y tamaño de la Tierra, Aristóteles pensó que nuestro planeta tenía que ser esférico por razones de simetría y equilibrio. Además, durante los eclipses de Luna la sombra reflejada en nuestro satélite es circular. Pero pro-

porciona aún otras pruebas adicionales: toda la materia terrestre tiende a converger en un centro común. Por esto, si la Tierra se formó por la congregación de materia que la compone, el resultado debe ser una esfera. Además, en todos los puntos de la Tierra los graves caen formando un ángulo recto con el nivel de superficie y no oblicuamente o a lo largo de trayectorias paralelas. Esto sólo es inteligible si la Tierra es una esfera.

También recogió testimonios de viajeros que le permitieron agregar otras pruebas de la esfericidad y tamaño relativo de la Tierra:

Quando nos movemos al norte o al sur, las estrellas que podemos ver sobre nuestras cabezas van siendo diferentes. Hay algunas estrellas que pueden ser vistas en Egipto y cerca de Chipre que no son visibles más al norte... Esto demuestra que la Tierra tiene forma circular y que no debe poseer gran tamaño (comparado con el de las estrellas), porque si así no fuera un cambio de lugar (del observador) tan pequeño no tendría un efecto tan rápido y tan aparente⁶.

4. El período helenístico: De Aristarco a Ptolomeo

Para los fines de este trabajo, Aristarco de Samos (ca. 320-tca. 250 a.e.) es uno de los filósofos y cosmólogos más interesantes del período, puesto que es el primero en postular una Tierra en movimiento alrededor del sol. Arquírnides, joven contemporáneo de Aristarco, proporciona la siguiente información sobre Aristarco, cuando escribe a Gelón II, rey de Siracusa, en su obra *El Calculador de Arena*, escrita hacia el 216 a.Ci:

Tú sabes que el universo (cosmos) es el nombre dado por la mayoría de los astrónomos a la esfera cuyo centro es el centro de la Tierra, y cuyo radio es igual a la distancia entre el centro del Sol y el centro de la Tierra. Eso es lo que tú habrás oído de los astrónomos. Pero Aristarco de Samos publicó un libro consistente en algunas hipótesis en donde parece, como consecuencia de las presunciones hechas, que el universo real es muchas veces más grande que el ya mencionado. Sus hipótesis dicen que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la Tierra gira alrededor del Sol en la circunferencia de un círculo, que el Sol yace en la mitad de la órbita y que la esfera de las estrellas fijas, situada casi en el mismo centro que la del

⁵ Ibid., pp. 447-49.

⁶ *De Caelo*. de acuerdo al texto de J.L. Stokes, *Aristotle* (Oxford: 1922). Citado en G. Sarton. *A History of Science*, T.I., p. 10. Para un completo análisis de la física y la cosmología aristotélica, consúltese, de John Herman Randall Jr., *Aristotle*, 5' ed. (New York: Columbia University Press, 1967). Véase esp. los caps. 7 (The Heavens); 8 (The Understanding of Natural Processes) y 9 (The Analysis of Motion), pp. 145-206.

Sol, es tan grande que el círculo en el cual él supone que la Tierra gira, soporta la misma proporción a las estrellas fijas que la que tiene el centro de la esfera a su superficie⁷.

Según parece, Aristarco habría formulado semejante hipótesis -que luego repetiría Copérnico dieciocho siglos más tarde- en un trabajo de juventud que infortunadamente se ha perdido. Para Aristarco el centro del universo es el Sol y presume que la Tierra gira alrededor de su eje en un día y alrededor del Sol en un año. Todos los planetas giran alrededor del Sol, excepto la Luna que lo hace alrededor de la Tierra. Las estrellas están fijas y su rotación diaria es una ilusión a causa de la rotación diaria de la Tierra alrededor de su eje y en dirección opuesta. La esfera de las estrellas fijas es tan inmensa que la órbita que traza la Tierra en su recorrido es tan sólo un punto en comparación. Esta última hipótesis es la más sorprendente y atrevida, porque implica una casi inconcebible expansión del universo. Habiendo colocado al Sol en el centro del universo, era necesario expandir éste, para explicar la ausencia de paralaje en las estrellas a pesar del tamaño inmenso de la órbita terrestre. Debido a estas opiniones, Aristarco debió soportar acusaciones de impiedad de su contemporáneo Cleantes de Assos, que dijo que Aristarco debería ser acusado "por mover el corazón del universo y tratar de explicar el fenómeno por la suposición que el cielo está quieto, pero que la Tierra se mueve en una órbita oblicua, mientras que gira sobre su propio eje"⁸.

Eratóstenes (ca. 276-tca. 196 a.e.) merece ocupar un lugar destacado en esta historia. Fue director de la gran Biblioteca de Alejandría, geógrafo, historiador y astrónomo. En esta última calidad, llevó a cabo dos soberbios proyectos: la medición de la oblicuidad de la eclíptica, esto es, el cálculo de la distancia angular entre el eje de la Tierra y el plano del movimiento (aparente) del Sol y, por otra parte, el cálculo del tamaño de la Tierra, trabajo por el cual es más conocido y que realizó hacia el 240 a. C.

Eratóstenes sabía que en Syene (actual Asuán) un gnomon no daba sombra el día del solsticio de verano cuando el Sol pasaba por su meridiano. Entonces procedió a medir el ángulo formado por los rayos del Sol y un gnomon a las 12 del mismo día en Alejandría -ciudad a la que suponía localizada en el mismo meridiano que Syene-, encon-

trando que este ángulo era igual a $7^{\circ} 14'$, es decir, un $\frac{1}{50}$ de la circunferencia de 360° . Por otra parte, Eratóstenes conocía que la distancia entre ambas ciudades era de 5.000 estadios. Por lo tanto, la circunferencia de la Tierra debía ser igual a 250.000 estadios, valor que luego fue cambiado por 252.000 estadios para dar a cada grado 700 estadios. Este valor fue adoptado por Estrabón y Plinio. De acuerdo a los valores que se ha convenido en dar al estadio, el valor de la circunferencia terrestre de Eratóstenes es de 28.700 millas o 7.175 leguas⁹. Desde luego, Eratóstenes aceptó e hizo suyo el modelo de un universo y una Tierra esférica para llevar a cabo su trabajo.

El más célebre de los grandes astrónomos del período y de toda la Antigüedad fue el griego Hiparco, nacido en Nicea ca. 190 a. e. Aunque de él quedan muy pocos escritos, conocemos suficientemente de su vida y obra a través del *Almagesto* de Ptolomeo y de la *Naturalis Historia* de Plinio. Se le considera el fundador de la trigonometría, disciplina que debió desarrollar para medir la distancia de la Tierra a la Luna.

Debemos a Hiparco el primer mapa celestial, en el cual las estrellas están localizadas de acuerdo a su latitud y longitud. También fue el primero en clasificar las estrellas en diferentes magnitudes, según su brillo. Su programa de localización y clasificación de estrellas le llevó a realizar uno de sus más notables descubrimientos: la precesión de los equinoccios. Al comparar las observaciones de sus antecesores con las que él mismo llevaba a cabo, se dio cuenta de un cambio o traslado uniforme de las estrellas en dirección oeste a este, explicando este fenómeno por medio de la suposición de que el polo norte celestial se movía trazando un pequeño círculo en el cielo, completando el ciclo en 27.700 años. En la práctica, esto significaba que el equinoccio se adelantaba algo todos los años, y por ello se llamó a este fenómeno "precesión de los equinoccios". En realidad, el cambio de posición es casi imperceptible -30' cada 100 años- y el polo norte terrestre, que es el que en realidad rota, recorre un círculo de $23^{\circ} 27'$ (igual al ángulo de la eclíptica) en 26.000 años. En el siglo XVI Copérnico pudo explicar este hecho como un pequeño balanceo cónico de la Tierra sobre su eje, pero solamente Newton señaló sus causas precisas, al indicar que se originaba en la atracción gravitacional lunar sobre la zona del Ecuador terrestre.

Otro de los logros de Hiparco fue la invención de un ingenioso método para medir las distancias de la Tierra a la Luna y al Sol, en relación al

7 G. Sanen. *A History of Science*, T. II, Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B.C., cap. 4, pp. 56-57.

8 *Ibid.*, pp. 53-58. Véase también J.L.E. Dreyer, *A History of Astronomy*, cap. 4.

9 Véase, por ejemplo, la obra de Daniel Boorstin, *The Discoverers*. (New York: Random House, 1985), p. 96. Boorstin asigna 607 pies al estadio.

radio de la Tierra. Sin embargo, la obra más ambiciosa de Hiparco es de carácter cosmológico, al intentar reemplazar el universo de esferas homocéntricas de Eudoxo por un nuevo esquema. Tanto Eudoxo como Aristóteles, en su afán de explicar los movimientos planetarios, habían repletado el universo con un sinnúmero de esferas, lo que indudablemente no contribuía a su mejor comprensión. La tarea de Hiparco fue devolver a los cielos su prístina sencillez¹⁰.

Para ello redujo el número de esferas a tan sólo siete, una por cada planeta conocido. Los planetas, sin embargo, no eran parte de las esferas, sino que cada uno de ellos correspondía a una esfera más pequeña, cuyo centro coincidía con la esfera principal. Por tanto, los planetas poseían dos movimientos: se movían en círculo alrededor del centro de la esfera pequeña (epiciclo), pero además seguían a la esfera principal (deferente), en su rotación alrededor de un punto imaginario (excéntrica), situado cerca de la Tierra y que se movía alrededor de ella. Semejante combinación de movimientos permitía explicar mucho mejor el extraño movimiento de los planetas. El nuevo modelo continuaba manteniéndose fiel a los postulados de Platón y Aristóteles, en cuanto a que la Tierra permanecía al centro del universo y que los planetas se movían en combinaciones circulares¹¹. En adición a esto, el modelo de Hiparco probó ser de gran utilidad para calcular la posición cambiante de los planetas y de este modo predecir sus posiciones en el futuro.

Uno de los hombres de ciencia más notables del siglo II d.C. fue Ptolomeo, nacido ca. 75 d.C. Se conoce muy poco acerca de su vida, pero afortunadamente su gran síntesis pudo sobrevivir en sus obras, profusamente leídas en el Medio Oriente y los países del Islam y conocidas en Europa a partir del siglo XII, principalmente a través de sus comentaristas. Ptolomeo no sólo estudió muy bien los trabajos de su gran predecesor Hiparco, sino que fue él quien lo dio a conocer a través del Imperio, puesto que prácticamente ningún escrito de Hiparco ha llegado hasta nosotros. En realidad, lo que se conoce como sistema ptolemaico es una adaptación y una magistral síntesis de la astronomía y cosmología griega y principalmente del modelo de Hiparco. Sus textos más conocidos, el *Almagesto* y la *Geografía*, fueron los libros más estudiados durante los siguientes catorce siglos.

En el sistema cosmológico de Ptolomeo, la Tierra es el centro del universo y el resto de los planetas revoluciona a su alrededor. Para explicar lo más fielmente posible el movimiento de estos cuerpos celestiales se utilizan los epiciclos, deferentes y excéntricas de Hiparco. El sistema podía ser utilizado para predecir las posiciones de los planetas en el futuro, con notable exactitud. No fue sino hasta Tycho Brahe, a fines del siglo XVI, que las nuevas y más perfectas observaciones astronómicas exigieron un modelo más exacto que el ptolemaico.

La obra cumbre de Ptolomeo es el *Almagesto*. El título original griego es *He mathematike SYntaxis* (Sintaxis matemática). Este texto fue más conocido en la Antigüedad como *Megisti syntaxis* (la Grandísima Colección). Luego, los árabes le nombraron *Al Megisti*, con lo que derivó fácilmente al *Almagesto* que hoy conocemos. Es un texto de astronomía compuesto por trece libros.

En su primera parte, el *Almagesto* proporciona los conocimientos matemáticos y astronómicos básicos para la comprensión del texto. Ptolomeo demuestra que la Tierra y los cielos son esféricos y que la primera permanece inmóvil en el centro del universo. Por medio de la trigonometría estudia y determina de nuevo la oblicuidad de la eclíptica. El *Catálogo de Estrellas*, el más antiguo de que se dispone, contiene 1.028 estrellas y proporciona la latitud, longitud y magnitud de cada una, siguiendo a Hiparco. Los Libros IX a XIII tratan de los movimientos de los planetas, haciendo gran uso de epiciclos y deferentes.

El *Almagesto* fue conocido y estudiado por los astrónomos árabes. Otros geógrafos árabes, como Al-Fárgani (más conocido como Alfargano) y Al-Battáni, ambos del s. IX, escribieron tratados astronómicos completamente basados en el sistema ptolemaico. El *Almagesto* fue traducido del griego al latín por Gerardo de Cremona, en Toledo, en 1175. Esto permite asegurar que durante la Edad Media el sistema ptolemaico fue ampliamente conocido y comentado por cristianos, árabes y judíos. La primera impresión del *Almagesto* se debe a Regiomontano y es de 1496. Probablemente quien más contribuyó al conocimiento del sistema ptolemaico fue Johannes Sacroboscus, autor de la *Sphaera Mundi* (s. XIII), que se limita a copiar las ideas y textos de Ptolomeo y Alfargano, pero que se constituyó en el texto básico de astronomía más popular en la época medieval. Como expresa Sarton, "la historia de la astronomía medieval es la historia de las ideas ptolemaicas y de la creciente disconformidad con ellas"¹².

10 Shahan Hacyan . *El Descubrimiento del Universo* (México DF: Fondo de Cultura Económica, 1986), p. 29.

11 Sobre Hiparco, consúltese G. Sarton, *A History of Science*, T. II, pp. 296ss. También J.L.E. Dreyer, *A History of Astronomy*, cap. VII, The Theory of Epicycles, pp. 149ss.

12 George Sarton, *Ciencia Antigua y Civilización Moderna* (México DF: Fondo de Cultura Económica, 1960), p. 82. La información sobre Ptolomeo se ha obtenido primor-

El otro texto clave de Ptolomeo fue su *Geografía* o *Cosmografía*. Durante catorce siglos este texto fue la obra clásica en su género, tal como el *Almagesto* lo fue para la astronomía. Según parece, fue escrita después del *Almagesto*, hacia el año 150 d.C. En sus ocho Libros incluye toda la geografía matemática y la metodología para el trazado de mapas. En cuanto a los datos propiamente geográficos, proceden de Eratóstenes, Hiparco, Estrabón y Marino de Tiro. El mundo descrito en la *Geografía (ecumene)* se extendía desde las islas Canarias hasta unos 180° al este, y entre el 63° N Y 16° N de norte a sur. El texto incluía mapas basados en una red de paralelos y meridianos, en los que unas ocho mil ciudades estaban localizadas con su latitud y longitud. Por desgracia, si bien la teoría era buena, las observaciones geográficas eran erróneas en su mayoría.

Con respecto a las dimensiones de la Tierra, Ptolomeo calculó su circunferencia en 180.000 estadios, con lo que el grado se iguala a 500 estadios. Como Ptolomeo utilizó el estadio oficial egipcio igual a 0,143 de milla romana, la circunferencia terrestre viene a ser igual a 25.740 millas romanas, es decir, sensiblemente menor que la circunferencia calculada por Eratóstenes. Por otra parte, su estimación de la longitud del continente euroasiático fue muy exagerada: 180° en lugar de 130°¹³. La *Geografía* fue introducida en Europa a través de las traducciones de Manuel Chrysoloras y Jacopo Angiolo (1410), cuya primera edición fue impresa en Venecia en 1475¹⁴.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la astronomía presenta dos fases o etapas bien relacionadas. La primera de ellas corresponde a un período de observaciones y acumulación de información sobre los cielos que llevan a cabo principalmente los egipcios y los babilonios. Estos pueblos del Oriente Medio dejaron registrado un considerable número de

anotaciones sobre los cuerpos celestes y las constelaciones. Sin embargo, no consideraron necesario o no fueron capaces de idear un modelo del universo capaz de explicar satisfactoriamente los fenómenos celestiales y de facilitar los cálculos astronómicos.

La civilización griega, en cambio, muy pronto se basó en la premisa de la inteligibilidad del mundo y de la sociedad humana y en la creencia en la existencia de leyes naturales que regían el comportamiento de los cuerpos sidéreos y los organismos vivos para estructurar un modelo del universo, constantemente perfeccionado por sus filósofos y astrónomos.

A partir de Pitágoras, jonios y atenienses coincidieron en visualizar el universo dividido en un Cosmos y un Microcosmos. Un mundo esférico, encerrado dentro de la esfera de las estrellas y compuesto por una serie de esferas portadoras de los planetas, tenía su centro geométrico en una Tierra redonda y compuesta de cuatro elementos. Estos fueron los principios básicos de su cosmología. Nadie se opuso a este modelo del universo, aun cuando hubo discrepancias de segundo orden en cuanto a la explicación de los movimientos planetarios. Con toda probabilidad, Aristarco de Samos, con su concepción de un mundo heliocéntrico, fue la principal opinión en contrario, aunque aceptó la esfericidad de la bóveda celeste y de la Tierra.

Debemos a Ptolomeo la gran síntesis sobre la astronomía de la Antigüedad. Lo que hoy se denomina el sistema ptolemaico se basa en los datos observacionales y principios y conceptos teóricos que durante siglos acopiaron egipcios, babilonios y griegos. El modelo geocéntrico del mundo, concretado en la cosmología aristotélica y las concepciones geométricas de Hiparco y Ptolomeo, con sus esferas, epiciclos, deferentes y excéntricas, fue el fundamento teórico de que se sirvieron los sabios europeos para su propia concepción del universo, modificada desde luego por la influencia de la tradición bíblica y los puntos de vista de la Iglesia.

dialmente del capítulo "Ptolomeo y su Tiempo", de este texto, pp. 48-90. Véase además J.L.E. Dreyer, *A History of Astronomy*; cap. IX, The Ptolemaic System, pp. 91-206.

¹³ G. Sarton, *Ciencia Antigua*, pp. 62-68. Con el tiempo, ambas estimaciones debían sustentar las esperanzas de Cristóbal Colón sobre la viabilidad de cruzar el Atlántico en dirección este-oeste, puesto que, de acuerdo a Ptolomeo, la distancia entre Europa y Cipango (Japón) a la altura del paralelo 45° sería de unas 1.750 leguas, que podían recorrerse en unas diez semanas de navegación con buen viento.

¹⁴ W.G.L. Randles, *De la Tierra Plana al Globo Terrestre* (México DF: Fondo de Cultura Económica, 1990), pp. 31-40.