

## Geocentrismo y heliocentrismo en la antigua Grecia

**Summary:** *In the IVth century B. C., we find in Greece, for the first time, an astronomy conception leaning toward a definite scientific status. We will see, in the following paper, how, within the framework of that conspicuous scientific elaboration, the most fertile astronomic models for the history of science take shape, that is, the geocentric-geostatic model and the heliocentric model.*

**Resumen:** *En la Grecia del siglo IV A. C. se formula por vez primera una concepción de la astronomía tendiente a adquirir un status científico definido. Veremos, en el siguiente artículo, cómo, en el marco de esa esclarecida elaboración científica se generan los modelos astronómicos más fértiles para la historia de las ideas científicas, a saber, el modelo geocéntrico-geostático y el modelo heliocéntrico.*

### 1. La Grecia clásica

Los orígenes de la astronomía se remontan a tiempos muy antiguos. Se considera que las primeras relaciones del hombre con los astros son de carácter idolátrico, ritual, mágico, propiciatorio; dando lugar a la invención de una riquísima mitología que acompaña a muchos pueblos importantes desde la antigüedad más remota. En el neolítico, con la invención de la agricultura, el hombre va a establecer vínculos más estrechos con los fenómenos astronómicos. Es en este momento cuando abandona su precaria posición parasitaria y oportunista, en tanto recolector y cazador, para iniciar un proceso que le exigirá planificar y pronosticar; todo lo cual requería de una mayor y más precisa racionalización del tiempo. Y esto no

hubiera sido posible sin que la astronomía experimentara un cierto avance, especialmente en cuanto a la observación de los movimientos de la Luna y el Sol se refiere.

Varias son las civilizaciones que inician una actividad astronómica sistemática, cuyos resultados empíricos se han conservado hasta nuestros días. Está bien documentada la labor astronómica de las culturas maya, china, hindú, egipcia y mesopotámica. De especial importancia para el presente estudio son los desarrollos que en esta materia lograron los griegos.

Mesopotamia es, con seguridad, el pueblo que desarrolla más tempranamente una actividad astronómica; especialmente Babilonia. La astronomía mesopotámica estaba ligada a la astrología. La religión babilónica tenía un carácter fundamentalmente astral. Así se puede deducir de obras tales como la serie titulada *Enuma Anu Enlil*, la cual, en sus 70 tablillas contenía unos siete mil presagios astrológicos<sup>1</sup>.

Esto es importante contrastarlo con el rumbo que tomará la astronomía en Grecia. Mientras que para los mesopotámicos la astronomía estaba en función de la astrología y la agricultura - lo que la hacía esotérica y pragmática -, para los griegos se convertirá en una ciencia, con una base empírica bien definida y con la invención de modelos cosmográficos de singular importancia. Esto no quiere decir que en Grecia no hubiera astrología. Sabemos por muchas fuentes que sí la hubo<sup>2</sup>. Lo peculiar del desarrollo de la astronomía griega es que logra diferenciarse de la astrología, por un lado, e independizarse de las exigencias de la agricultura, por el otro, para adquirir así su propia identidad. En *La República*, Platón (-428, -347), define la astronomía en los siguientes términos: "... practicaremos la astronomía del

mismo modo que la geometría, valiéndonos de problemas, y dejaremos las cosas del cielo, si es que queremos tornarle de inútil en útil, por medio de un verdadero trato con la astronomía, aquello que de inteligente hay por naturaleza en el alma ..."<sup>3</sup>.

También es importante destacar su creciente desapego de los problemas cosmogónicos, y su subordinación metodológica y sistemática, más bien, a la fecunda cosmología griega. En efecto, cuando la astronomía está en función de las explicaciones cosmogónicas más antiguas, su contenido es predominantemente mítico. Mientras que, como sucede en Grecia, cuando se supedita a una ciencia superior, a saber la cosmología, la astronomía se conforma de acuerdo con exigencias formales y empíricas de carácter científico.

Veamos en detalle los pormenores del proceso por el cual la astronomía adquiere un definido rango científico en el singular desarrollo filológico-cosmológico griego.

### 1.1 Fundamentos astronómicos y cosmológicos

Los hallazgos empíricos de los astrónomos griegos constituyen la base sobre la cual se desarrollarán los más importantes modelos y teorías astronómicas, desde la antigüedad clásica hasta el Renacimiento europeo.

La base empírica de la ciencia astronómica griega presenta un carácter sistemático bien definido, circunscribiendo la especulación astronómica en torno a los siguientes hechos fundamentales:

Hecho N° 1. Movimiento diario de los cielos de este a oeste. Este movimiento se establece a partir del registro del movimiento del Sol en el cielo diurno y del movimiento de las estrellas, la Luna y los planetas en el cielo nocturno. Las estrellas se mueven como conjunto, como una esfera estrellada, manteniendo entre ellas distancias invariables, por lo cual al conjunto se le denominó esfera de las estrellas fijas.

Hecho N° 2. Movimiento anual de los astros mayores. Los griegos se percataron de que el Sol y los planetas tenían un segundo movimiento, a saber, un movimiento de oeste a este, a lo largo de una franja en los cielos, a la cual denominaron zodíaco (del griego ζωδιακός: figuras zoomorfas de las constelaciones). Este movimiento se completaba durante un cierto período de tiempo (por

ejemplo, el Sol en un año y Júpiter en doce) y era de carácter cíclico. La trayectoria en mención, técnicamente denominada eclíptica, se podía reconocer debido a que el fondo estrellado, es decir, las constelaciones zodiacales iban cambiando a lo largo del año, dándoles un telón de fondo diferente a los astros principales. Cabe destacar el hecho de que este fenómeno presenta un movimiento contrario al anterior. Ahí tiene su origen el nombre de planetas, ya que en griego πλανητής significa errante o vagabundo.

Hecho N° 3. Movimiento retrógrado de los planetas. Los astrónomos griegos habían advertido que las órbitas de los planetas no conservaban la misma dirección, ya que en ciertos períodos del año estos cuerpos se detenían, retrocedían y luego volvían a tomar su rumbo, formando una especie de bucles o lazos en sus órbitas contra el fondo estrellado.

Hecho N° 4. Cambio de brillo y tamaño de los astros. Los observadores griegos habían notado que los astros, especialmente los planetas Venus y Marte, presentaban variaciones importantes en su brillo y tamaño. (Ver Figura N° 1)

Hecho N° 5. Agrupación de Venus, Mercurio y el Sol. Otra de las observaciones cruciales de la astronomía griega, consistió en establecer que estos tres astros formaban una agrupación cercana entre ellos, ya que siempre se les observaba juntos, tanto en los ortos como en los ocasos heliacales.

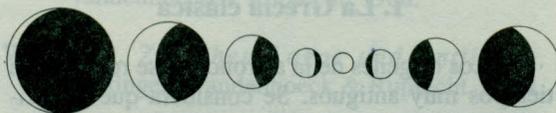


Figura N° 1. Variaciones de tamaño del planeta Venus. Se indican además las fases que presenta: al centro Venus lleno, hacia los lados los cuartos, hasta llegar a Venus nuevo. Debe destacarse que este tipo de observaciones sólo fueron posibles a partir del uso del telescopio por parte de Galileo en el siglo XVII. Lo que vieron los astrónomos griegos eran cambios de brillo y tamaño.

La definición de esta base empírica es el producto de la acumulación de conocimientos y observaciones astronómicas realizada durante varios siglos, no sólo por parte de los griegos, sino también por otras civilizaciones.

En el siglo -IV la astronomía griega va a adoptar algunos principios de carácter axiomático, que conformarán el paradigma teórico de toda la

especulación astronómica posterior. Este paradigma se regirá por dos axiomas fundamentales, a saber:

Axioma N<sup>o</sup> 1. Principio de regularidad, también conocido como la regla del movimiento absoluto, el cual postula que el movimiento circular y uniforme en torno a un centro invariable, es la clave para entender el mecanismo del movimiento de los astros. En otras palabras, que las rectas concebidas como radios del giro de los planetas o de los círculos que sostienen a los planetas, cubren, en todos los casos y sin excepción, ángulos iguales en tiempos iguales respecto del centro de cada uno de los movimientos circulares.

Axioma N<sup>o</sup> 2. Heterogeneidad del cosmos. El cosmos está dividido en dos regiones cualitativamente diferentes, a saber, el mundo sublunar y el mundo supralunar.

El primer axioma tiene un carácter astronómico-geométrico, y expresa el especial significado estético que tenía para los griegos la figura circular y esférica. Asimismo denota el papel que desempeñaban la armonía, la proporcionalidad y la regularidad de los movimientos celestes para entender la diferente naturaleza del empíreo. De forma tal que el orden y el ritmo del cosmos responderán a una especie de euritmia cinemática y estructural. El movimiento circular es la forma perfecta del movimiento y a la vez es el movimiento natural de los astros. Tiene sus origen este axioma en la formulación que plantea Platón, en la mejor tradición pitagórica, cuando - según Sosígenes, citado por Eudemo de Rodas - pregunta: "¿Qué movimientos regulares y ordenados hay que suponer para salvar las apariencias observadas en el movimiento de los planetas?"<sup>4</sup> En otras palabras, frente a la irregularidad que presentan los planetas en su errar por los cielos, qué modelo que utilice convenientemente movimientos regulares y ordenados, es decir circulares, será capaz de dar cuenta de esas apariencias. Se convierte este principio, entonces, en una exigencia sistemática a la cual deberá ceñirse todo astrónomo que pretenda dar una explicación de la cinemática de los astros o, al menos, forjar un modelo racional de los caprichosos movimientos que aparecían en los cielos.

El segundo axioma pertenece a una ciencia más amplia y de mayor jerarquía en la tradición griega: la cosmología. En efecto, la cosmología griega empieza su lenta formación con los filósofos jónicos, que ya presentan la distinción entre el

caos y el cosmos, en tanto polaridades que explican la génesis del mundo. Esta dualidad cosmogónica alcanzará su expresión cosmológica en la dualidad del mundo sublunar y el mundo supralunar. Ciertamente, la cosmología aristotélica, la más acabada y comprensiva expresión del pensamiento griego, postula la existencia de un cosmos que es finito y cerrado, rígidamente estructurado con arreglo a una jerarquía de estratos de materias elementales, distinguiendo esas dos regiones principales mencionadas, el mundo sublunar y el mundo supralunar, no sólo en función de su posición estructural en el cosmos, sino, más aún, por su diferente naturaleza. Aristóteles (-384,-322) incorpora esta idea, cuyo origen se remonta a las especulaciones cosmológicas de los itálicos. Filolao (siglo V), particularmente, es quien sugiere esa concepción<sup>5</sup>.

Debe también a los pitagóricos la cosmología griega, el concepto de que la Tierra, los astros y el cosmos tienen forma esférica y que los astros son transportados por esferas que giran en torno a un centro. Este centro no lo ocupa la Tierra, tal como lo sostendrán Platón y Aristóteles, sino un fuego central, denominado Hestia<sup>6</sup>.

La región sublunar es el reino de la necesidad, de la generación y la corrupción. Está compuesta por los cuatro elementos sistematizados por Filolao y Empédocles (-490, -435)<sup>7</sup>, y ocupan su lugar natural en razón de su gravedad o ligereza, de forma tal que la tierra ocupa el centro por ser la más grave, la sigue el agua que también es grave pero en menor medida; y ocupan las capas externas el aire y el fuego ya que son los elementos ligeros y volátiles. La región sublunar es, pues, donde reina la imperfección, lo cual significa que las cosas propias de esa zona tienen comienzo y fin, que son perecederas, y que los elementos se combinan, a raíz de los movimientos violentos, para formar así todas las cosas. La Tierra ocupa el centro estático del cosmos, ya que a su alrededor giran todos los demás astros, a saber: la Luna, el Sol, Venus, Mercurio, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de las estrellas fijas, que constituye la esfera exterior del cosmos. Además Aristóteles hace coincidir el centro de la Tierra con el centro del cosmos.

La región supralunar, en cambio, es la región del cosmos en donde impera la perfección; esta perfección crece en forma escalonada a partir de la esfera de la Luna, de manera tal que la esfera estrellada es la más perfecta, ya que recibe su

movimiento directamente del motor inmóvil, artificio metafísico que Aristóteles empleó en el libro A de La Metafísica para satisfacer su exigencia conceptual de que nada puede moverse por sí mismo<sup>8</sup>. Esta región está constituida por un quinto elemento denominado éter<sup>9</sup>, cuya sutil naturaleza consiste en trasladarse de forma circular eternamente. El giro circular y eterno es el movimiento natural de los astros ya que es el movimiento idéntico a sí mismo. Esta región es inmutable; ningún cambio cualitativo o sustancial es posible allí, siendo inconcebible la generación y corrupción de elemento alguno. Los astros, perfectos y pulidísimos, debido a que están compuestos por la mencionada quintaesencia, son transportados por las esferas cristalinas que giran en torno a la Tierra, cuyo centro coincide con el centro geométrico del cosmos, como ya hemos mencionado anteriormente.

## 1.2 Modelo geocéntrico-geostático

A partir del siglo -IV se definen en Grecia dos líneas de desarrollo: una de ellas llevará al geocentrismo-geostatismo de Hiparco de Nicea (-161, -127) y Ptolomeo (100, 168); la otra, al heliocentrismo de Aristarco de Samos (-310, -230), pasando también por la formulación de un modelo mixto atribuido a Heráclides de Ponto (-388, -312), al cual nos referiremos más adelante.

La cosmología aristotélica, la cual ya hemos expuesto en sus rasgos principales, se ligará sistemáticamente a la astronomía ptolemaica y ejercerá una profunda influencia durante la Edad Media y el Renacimiento europeo, luego de ser introducida al continente por parte de los traductores y polígrafos de las obras griegas conservadas por la ciencia árabe. En efecto, la revolución astronómica que culmina en el siglo XVII tuvo que vérselas seriamente con una concepción del mundo cuyos cimientos descansaban en la cosmología aristotélica y la astronomía ptolemaica.

A continuación expondremos los hitos fundamentales en el proceso de desarrollo del modelo geocéntrico-geostático, cuyo máximo exponente será el astrónomo alejandrino Claudio Ptolomeo.

La línea que conduce al modelo astronómico ptolemaico cuenta entre sus más destacados exponentes a Platón, Eudoxo, Calipo y

Aristóteles, durante una primera etapa en la Grecia clásica; luego, en el período helenístico, sobresalen especialmente Hiparco y Ptolomeo.

Los presocráticos esbozaron una serie de ideas astronómicas que pretendían explicar el orden y cinemática de los cielos. No llegaron a establecer modelos astronómicos definidos, sino algunas intuiciones, la mayoría de ellas expuestas en forma de fragmentos o de poemas mítico-cosmológicos, que luego fueron retomadas y desarrolladas por pensadores más sistemáticos y comprensivos.

Los cosmólogos jónicos pusieron de relieve el hecho N° 1 de los cielos, o sea el de la rotación diaria de los astros y de la esfera estrellada, plasmando la idea de que giraban en torno a una Tierra plana<sup>10</sup>. Parménides de Elea (siglo -V)<sup>11</sup> parece ser el primero en pensar en un modelo de esferas concéntricas que transportan a los astros en torno a la Tierra, la cual "permanece en reposo porque su tendencia a caer en una dirección no es más fuerte que su tendencia a caer en otra"<sup>12</sup>.

Empédocles concibe un universo finito y esférico. La esfera estrellada es sólida y cristalina, y gira en torno a la Tierra. Sin embargo, lo más llamativo de su discurso es que da cuenta del hecho N° 3, el cual se empieza a convertir en un elemento crecientemente problemático<sup>13</sup>. En verdad, el movimiento anór  $\curvearrowright$  de los planetas (hecho N° 3) perturba notoriamente la apacible armonía del movimiento diario del Sol y la esfera estrellada (hecho N° 1).

Posiblemente, si no se hubiera descubierto este fenómeno, los modelos astronómicos se habrían estancado en un nivel muy rudimentario, considerando solamente el notorio hecho N° 1. Según Norwood Russel Hanson, con la percatación de este hecho empieza verdaderamente la historia de la teoría planetaria, es decir, el astrónomo debe intentar conciliar los hechos N° 1, 2 y 3 e inscribirlos en el marco teórico del axioma N° 1 (el Principio de regularidad)<sup>14</sup>.

Platón en el libro X de La República, por medio de una narración mítica, el conocido mito de Er el Armenio, expone su modelo de los cielos<sup>15</sup>. En su interpretación del orden y mecánica del cosmos asume una posición ortodoxa en relación con la exigencia planteada por el axioma N° 1. En consecuencia, Platón presenta un cosmos esférico que rota uniformemente sobre su eje en dirección este-oeste (hecho N° 1). Los siete planetas que conforman el cosmos rotan lentamente con direc-

ción oeste-este (hecho N<sup>o</sup> 2). Los planetas giran alrededor de la Tierra transportados por esferas concéntricas y encajadas en el eje cósmico. Su decidida interpretación ortodoxa del axioma N<sup>o</sup> 1 impide que explique los fenómenos registrados por el hecho N<sup>o</sup> 3 (el movimiento retrógrado de los planetas). Platón conoce los movimientos caprichosos de los planetas, sin embargo en su modelo están subordinados a los hechos N<sup>o</sup> 1 y N<sup>o</sup> 2<sup>16</sup>.

Eudoxo de Cnido (-406, -355), además de su brillante labor como matemático, contribuye con el primer modelo astronómico que toma en cuenta a cabalidad los hechos N<sup>o</sup> 1, 2 y 3. Inaugura también la tradición instrumentalista que, a diferencia de la posición ortodoxa profesada por Platón, considera que el movimiento planetario aparente se debe explicar mediante la combinación de movimientos circulares y uniformes, y no como lo describe el axioma N<sup>o</sup> 1, a saber, que esos movimientos planetarios son simple y llanamente circulares y uniformes, descartando cualquier construcción ulterior. En consecuencia, el instrumentalismo presenta una exigencia ontológica menor, ya que abre la posibilidad de que se acepten una pluralidad de construcciones teóricas, siempre y cuando satisfagan el movimiento aparente de los planetas, es decir, "salven las apariencias". Eudoxo, por tanto, construye un artificio astronómico conocido como el de las esferas homocéntricas, el cual consiste en las diversas combinaciones de esferas en movimiento, hasta en un número de cuatro por planeta, para simular el movimiento anómalo planetario junto con el movimiento diario (hechos N<sup>o</sup> 1, 2 y 3). Sin embargo, el esquema eudoxiano se muestra incapaz de dar cuenta del hecho N<sup>o</sup> 4; o sea, no puede explicar el que algunos planetas, especialmente Venus y Marte, presenten importantes variaciones en su brillo y tamaño aparente. Lo mismo respecto de la Luna: el que unas veces sucedieran eclipses totales y otras eclipses anulares, hacía sospechar que los astros no se encontraban a una distancia igual de la Tierra. Por ello este esquema, que como hemos dicho plantea un modelo de esferas geocéntricas y equidistantes respecto de la Tierra, no disponía de artificio alguno para explicar ese fenómeno. Otra de las limitaciones principales es que el modelo eudoxiano no es sistemático, es decir, trata los movimientos planetarios separadamente de los demás, sin posibilidad de establecer representación cine-

mática del cosmos en tanto totalidad, en tanto sistema. En términos empíricos, también encontraba otras limitaciones; por ejemplo, respecto de la representación de los movimientos de Saturno, Júpiter y Mercurio, el esquema de Eudoxo podía dar razón de ellos solamente en longitud. Venus le era más problemático y definitivamente Marte escapaba al intento de explicar su intrincada órbita<sup>17</sup>.

Los aportes de Calipo se limitan a una ampliación y complicación del esquema eudoxiano; aumenta el número de esferas para algunos planetas a fin de mejorar la correspondencia entre el fenómeno observado y el modelo de explicación geométrico.

Aristóteles, en consonancia con la sistematización que realiza de la cosmología griega, asume el modelo eudoxiano de las esferas homocéntricas y lo adapta a las siguientes exigencias teóricas: (a) el modelo astronómico debe convertirse en un sistema que explique el orden y cinemática del cosmos en tanto totalidad, superando la fragmentación de la versión original; (b) tal modelo astronómico dejará de ser simplemente un expediente de cálculo, un artificio geométrico para "salvar las apariencias" de los movimientos planetarios, y deberá convertirse en un mecanismo real, con una clara connotación ontológica; en consecuencia, Aristóteles afirmará la existencia material de las esferas cristalinas que transportan a los astros alrededor de la Tierra; también establecerá que el cosmos debe responder al fundamento dinámico de que todo móvil tiene un motor, de que nada puede ser automovido, ni siquiera la esfera de las estrellas fijas, por lo cual postula la existencia del motor inmóvil, situado más allá de la esfera estrellada, es decir, fuera del cosmos, y que como veíamos anteriormente, no es más que un artilugio metafísico para fundamentar su física no inercial. Se sigue, de esta concepción, la exigencia de que el movimiento deberá ser directo y constante, ya que el cosmos aristotélico, en tanto plenum, no admite la acción a distancia.

De esta forma, Aristóteles realiza una reinterpretación del modelo eudoxiano desde su perspectiva de físico, lo cual para él significaba despojarlo de su estatus matemático, o sea, abstracto, ideal, y darle una connotación realista.

La solución que da Aristóteles consiste en añadir más esferas al modelo original, del forma tal que de 26, que poseía la versión eudoxiana, y 33 en la de Calipo, pasa a tener 55 con Aristóteles<sup>18</sup>.

De todo esto podemos colegir que el trabajo de Aristóteles en este campo específico, al igual que en buena parte de su obra, consiste en una gran síntesis y en una reformulación de las ideas de sus antecesores, en el nuevo marco de su filosofía natural. No obstante la cuidadosa reconstrucción del modelo homocéntrico, e independientemente de algunos errores conceptuales<sup>19</sup>, el modelo aristotélico arrastrará por lo menos una de las limitaciones básicas de la formulación eudoxiana, a saber, Aristóteles tampoco puede dar cuenta del Hecho N° 4: su modelo concéntrico impide conocer la variación del brillo y tamaño de los astros. Más aún, este fenómeno es virtualmente descartado ya que previamente su cosmología ha postulado la inmutabilidad de los cielos (axioma N° 2). Este es, entonces, uno de los fenómenos que seguirá ocupando a los astrónomos griegos y que impulsará a un nuevo estadio de desarrollo a la teoría planetaria en su formulación geocéntrica-geostática.

Dos fenómenos más estimularán a los astrónomos a la consecución de los artificios geométrico-matemáticos que caracterizan a esta fase, a saber:

Hecho N° 6. Precesión de los equinoccios. Se le atribuye a Hiparco el descubrimiento de este fenómeno, el cual en términos simples se puede describir de este modo: La órbita solar (desde el punto de vista geocéntrico) interseca al plano del ecuador celeste en dos puntos conocidos como Equinoccio de Primavera (EP) y Equinoccio de Otoño (EO), a partir de los cuales dan inicio las correspondientes estaciones. Por medio de la observación directa se pudo establecer que el tiempo empleado por el Sol para recorrer los 180 grados comprendidos entre EP y EO es menor que el tiempo en que cubre los otros 180 grados, o sea la distancia orbital entre EO y EP. (Ver figura N° 2)

Hecho N° 7. Anomalías de la órbita de la Luna. En tiempos de Ptolomeo ya se registraban diversas anomalías de la órbita lunar, producto de una observación más detallada de sus intrincadas variaciones<sup>20</sup>.

Estos dos nuevos fenómenos, conjuntamente con el hecho N° 4, o sea el de la variación en el brillo y tamaño de los astros<sup>21</sup>, podrían haber puesto en crisis el axioma N° 1. Sin embargo, la generación de astrónomos alejandrinos seguía dominada por la premisa de que el movimiento de los astros debía ser de carácter circular y uniforme. El descubrimiento de estos hechos, ciertamente, debió ser

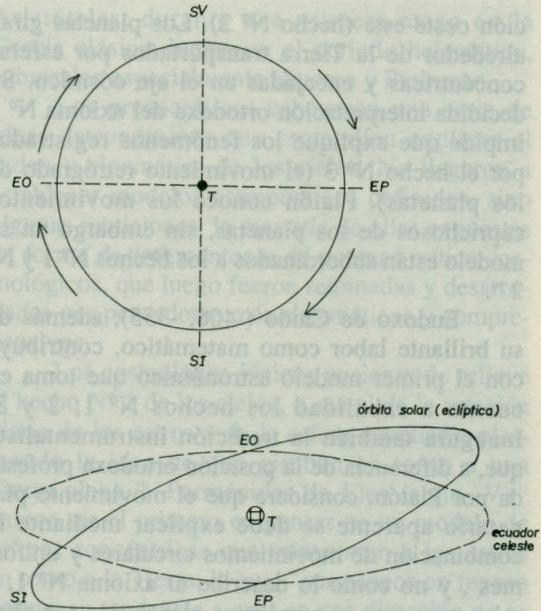


Figura N° 2. Los puntos de intersección entre la órbita solar y el ecuador celeste son los Equinoccios de Primavera (EP) y de Otoño (EO). Los puntos de máxima separación son los solsticios de Verano (SV) y de Invierno (SI). La Tierra ocupa el punto central.

sumamente problemático para la astronomía de la época. Y esto en razón de que, o bien (a) el movimiento de las órbitas no era circular; o (b) el tiempo de recorrido de las órbitas no era uniforme. No obstante, a este razonamiento no fue al que llegaron los astrónomos alejandrinos. Por el contrario, el cuestionamiento básico fue: ¿qué clase de combinación de movimientos circulares y uniformes puede dar cuenta de los fenómenos aparentes de los astros?

La respuesta a esta interrogante fue la teoría de los epiciclos, deferentes y excéntricas. El eminente matemático griego, Apolonio (siglo -III, aprox. -250, -200), además de su famoso tratado sobre las curvas cónicas, conoció los llamados epiciclos mayores y las excéntricas con centro móvil (Ver figura N° 3)<sup>22</sup>.

Hiparco adoptó los aportes geométricos de Apolonio y además ideó nuevos diseños y combinaciones, tales como los epiciclos menores y las excéntricas de centro fijo (Ver figura N° 4). Todo lo cual empleó, demostrando así su extraordinaria genialidad, para construir una teoría geométrico-

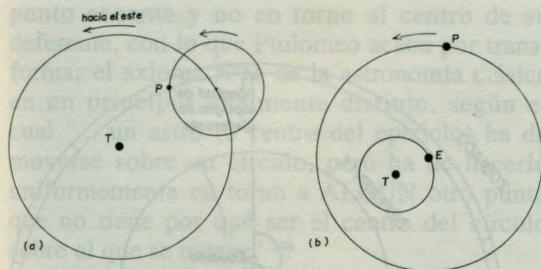


Figura N<sup>o</sup> 3. (a) Epiciclo mayor: el punto P gira sobre el círculo menor denominado epiciclo, cuyo centro está ubicado en un punto de la circunferencia mayor, conocida como deferente, cuyo centro es la T (la Tierra). (b) Excéntrica móvil: consiste en una excéntrica, sobre la cual gira P, cuyo centro está en una deferente E, la cual gira alrededor de T (la Tierra).

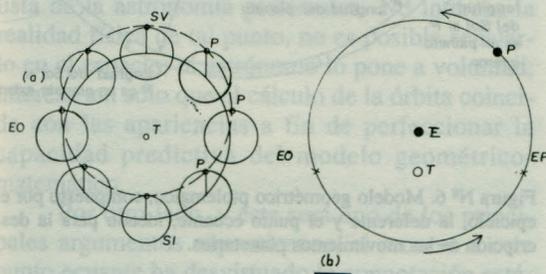


Figura N<sup>o</sup> 4. (a) Epiciclos menores. Transporta al punto P alrededor de T, en una órbita excéntrica, haciendo que desde T se vea que P emplea más tiempo para recorrer el arco EP-EO, que para volver de EO a EP. (b) Excéntrica de centro fijo. Consiste en un círculo desplazado, o bien cuyo centro no es T. Y de la distancia T-E dependerá el cálculo de la trayectoria de P. Empleando diversos valores para la distancia T-E junto a un sistema compuesto por uno o varios epiciclos, quedarán explicadas otras irregularidades de los planetas<sup>23</sup>.

matemática capaz de dar cuenta con éxito de los fenómenos celestes.

Examinemos brevemente la forma en que el mecanismo geométrico compuesto por epiciclos y excéntricas puede dar cuenta de los hechos astronómicos más relevantes (hechos N<sup>o</sup> 3, 4, 6 y 7).

El fenómeno del cambio de brillo y tamaño de los planetas podía representarse por medio del movimiento del planeta P (ver Figura N<sup>o</sup> 5), girando en el epiciclo E, el cual a su vez gira en el deferente D, conservando la Tierra T su posición central y estática. El tipo de curva que se genera con este mecanismo geométrico, la epicicloide, representa los sucesivos acercamientos y alejamientos del planeta, así como los caprichosos bucles que se describen en la retrogradación planetaria (hecho N<sup>o</sup> 3).

La precesión de los equinoccios, hecho N<sup>o</sup> 6, la explica Hiparco con los dos esquemas reproducidos en la figura N<sup>o</sup> 3, los cuales son considerados equivalentes, siguiendo la mejor tradición instrumentalista. Sin embargo, se debe mencionar que Hiparco prefería el esquema (a), el del epiciclo menor, debido a que era el que guardaba más fidelidad con el principio de regularidad (axioma N<sup>o</sup> 1).

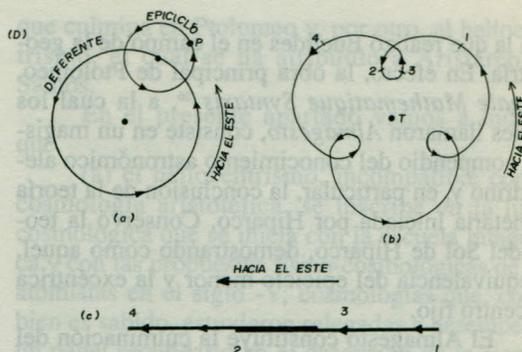


Figura N<sup>o</sup> 5. (a) Este es el esquema básico del epiciclo deferente. (b) Esta es la curva denominada epicicloide, resultante del giro del planeta P en el esquema anterior. (c) Representa una retrogradación planetaria típica vista desde la Tierra; para su cabal comprensión confróntese con el diagrama (b), 1, 2, 3, 4 se corresponden.

Es importante destacar que Hiparco fue un destacado matemático, por lo que se inscribe dentro de la línea trazada por Eudoxo y no por Aristóteles. Esto es más evidente cuando reparamos en que su modelo es una especie de mecanismo geométrico matemático cuya preocupación central es la de dar cuenta de los fenómenos aparentes de los astros, y por medio de una extrapolación matemática, lograr predicciones eficaces de los asuntos astronómicos de mayor relevancia, en función de las fechas religiosas, el ajuste del calendario, la agricultura y la navegación<sup>24</sup>. No le interesa a Hiparco, por tanto, afirmar la existencia física de los epiciclos, deferentes y excéntricas, tal y como lo hubiera hecho Aristóteles; sino que, y al tenor de toda su generación<sup>25</sup>, busca la formalización de ese modelo geométrico-matemático, en un afán eminentemente descriptivo y predictivo. En otras palabras, Hiparco, y más adelante Ptolomeo, coronarán la tradición instrumentalista de esta etapa del desarrollo astronómico, iniciada, como ya hemos señalado, por el célebre Eudoxo.

A Ptolomeo lo separan de Hiparco 260 años aproximadamente. Su labor ha sido comparada

con la que realizó Euclides en el campo de la geometría. En efecto, la obra principal de Ptolomeo, *Megale Mathematicae Syntaxis*<sup>26</sup>, a la cual los árabes llamaron *Almagesto*, consiste en un magistral compendio del conocimiento astronómico alejandrino y, en particular, la conclusión de la teoría planetaria iniciada por Hiparco. Conservó la teoría del Sol de Hiparco, demostrando como aquel, la equivalencia del epiciclo menor y la excéntrica de centro fijo.

El *Almagesto* constituye la culminación del proceso de consolidación del modelo astronómico geocéntrico-geostático. Citemos a continuación los fundamentos cosmológicos que Ptolomeo establece al principio de esta obra:

1. Que el cielo tiene forma esférica y se mueve como una esfera.
2. Que la Tierra, por su figura tomada en la totalidad de sus partes, es sensiblemente un esferoide.
3. Que está en medio de todo el cielo, como un centro.
4. Que por su tamaño y distancia a la esfera de las estrellas fijas, sólo es un punto.
5. Que no tiene rotación ni traslación<sup>27</sup>.

Es interesante destacar que de estos cinco principios sólo uno se refiere al cosmos, el resto versan sobre la Tierra, y no hay ninguno que recoja el planteamiento tradicional acerca del orden de los astros en esferas concéntricas, con la Tierra en el centro. Tampoco se menciona que esos astros deberán moverse con movimiento uniforme. No obstante, los esfuerzos de Ptolomeo, al igual que Hiparco, estarán encaminados a salvar este último punto, pese a lo problemático que se torna en su modelo. Lo escueto de este planteamiento cosmológico se explica en razón de que Ptolomeo no está ocupado en fundar una cosmología, debido a que ya dispone de la cosmología aristotélica, la cual adopta, sin reparar en las diferencias que pueda tener con su propia concepción astronómica. Ahora bien, es necesario indicar que, en los párrafos que anteceden a los cinco principios señalados, Ptolomeo realiza diversas consideraciones cosmológicas que, sin embargo, siguen inscritas dentro de la concepción aristotélica.

Lo que se propone Ptolomeo es exponer los diferentes hechos astronómicos, fundamentalmente la relación de la Tierra y los astros, el movi-

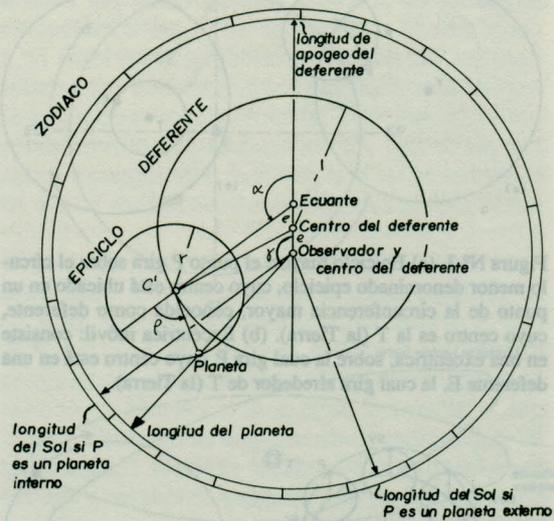


Figura N° 6. Modelo geométrico ptolemaico, compuesto por el epiciclo, la deferente y el punto ecuarante, ideado para la descripción de los movimientos planetarios.

miento del Sol y la Luna, de las estrellas y los planetas. O sea que encontramos el mismo afán pragmático que privaba en Hiparco.

El aporte sustancial que hace Ptolomeo a la astronomía consiste en la invención del *punctum aequans* (punto ecuarante). Ptolomeo concibe este punto para intentar salvar la uniformidad del movimiento planetario y perfeccionar el mecanismo predictivo. De acuerdo con Hanson, el punto ecuarante se empieza a usar a partir de la necesidad de racionalizar el hecho N° 7, o sea el que registra las anomalías orbitales de la Luna<sup>28</sup>. Sin embargo este mecanismo es absolutamente artificioso e infundado y, paradójicamente, su formulación viola el mismo principio que se proponía restablecer, convirtiéndose en el talón de aquiles del modelo ptolemaico. El punto ecuarante permite que el planeta se mueva en su epiciclo a velocidades no uniformes y salva arbitrariamente la uniformidad del movimiento a partir del ángulo constante que genera la traslación del epiciclo cuando se observa desde el punto ecuarante. (Ver figura N° 6)

En otras palabras, el centro del epiciclo de la Luna se mueve regularmente en torno al

punto ecuante y no en torno al centro de su deferente, con lo que Ptolomeo acaba por transformar el axioma N<sup>o</sup> 1 de la astronomía clásica en un principio totalmente distinto, según el cual "... un astro (o centro del epiciclo) ha de moverse sobre un círculo, pero ha de hacerlo uniformemente en torno a ALGUN otro punto que no tiene por qué ser el centro del círculo sobre el que se mueve" <sup>29</sup>.

Debe tomarse en cuenta el siguiente detalle técnico: el punto ecuante no es un punto fijo, sino que el astrónomo calculista lo determina a conveniencia, de forma tal que, desde el punto elegido, el movimiento del epiciclo que transporta al planeta resulte regular y uniforme.

Con lo cual queda claro el carácter ficcionista de la astronomía ptolemaica. No interesa la realidad física de tal punto, no es posible señalarlo en el espacio; el astrónomo lo pone a voluntad; interesa tan sólo que el cálculo de la órbita coincida con las apariencias a fin de perfeccionar la capacidad predictiva del modelo geométrico-matemático.

Por otro lado, y éste será uno de los principales argumentos copernicanos, el recurso a este punto ecuante ha desvirtuado la connotación estética que tenía el principio de regularidad (axioma N<sup>o</sup> 1) en su forma inicial, trastornando la simplicidad y elegancia del postulado con un afán meramente pragmático: el de salvar las apariencias. Sin embargo, es a todas luces evidente que Ptolomeo estaba dispuesto a pagar este precio, ya que la herramienta geométrica que poseía era capaz de describir y calcular las órbitas más intrincadas <sup>30</sup>, lo cual permitió lidiar con la Luna, cuya órbita aun en nuestros días se resiste a una completa descripción, y con la mayoría de los planetas, obteniendo cálculos de considerable precisión para la época.

Todo esto, pese a la heterodoxia en materia doctrinal, llevó a la consagración de Ptolomeo como el gran astrónomo de la antigüedad, y con él, al modelo geocéntrico-geostático, cuya vigencia se extendió por toda Europa, después de haber pasado por Arabia, hasta finales del renacimiento cuando fue finalmente destronado por el heliocentrismo.

### 1.3 Modelo heliocéntrico

Señalábamos al inicio de la sección anterior que, a partir del siglo -IV se bifurca la astronomía griega, dando origen, por un lado al geocentrismo

que culmina en Ptolomeo y, por otro, al heliocentrismo, el cual se ha atribuido a Aristarco de Samos.

En el presente apartado vamos a indicar que,

(a) el heliocentrismo, incompatible con la cosmología aristotélica, se inscribe en la línea cosmológica que se inicia con la escuela pitagórica y con las propuestas físico-cosmológicas de los atomistas en el siglo -V; cosmologías que, como bien es sabido, estuvieron relegadas a desempeñar un papel secundario en el desarrollo de la ciencia griega.

(b) El heliocentrismo en Grecia, en consecuencia, fue un planteamiento marginal y no ejerció influencia directa en el desarrollo de la investigación astronómica.

Paralelamente al sólido desarrollo de la cosmología aristotélica, en Grecia se gestaron concepciones cosmológicas divergentes e incluso incompatibles, que no ejercieron la poderosa influencia del Estagirita, pese a haber contenido ingeniosas intuiciones, muchas de ellas de gran similitud con la cosmología contemporánea. La causa de esta marginalidad la podemos encontrar, fundamentalmente, en el divorcio de sus principales conceptos respecto del sentido común, cuyo peso era determinante en una época que no había podido extender la penetración de los sentidos del hombre ni en el microcosmos ni en el macrocosmos, por lo que terminaban imponiéndose las intuiciones más razonables de acuerdo con las óptimas observaciones al alcance de la época.

Con la aparición de los pitagóricos y de los atomistas en el siglo -V, se empieza a conformar una tradición físico-cosmológica a la cual, desde el punto de vista sistemático, se le puede adscribir la imagen heliocéntrica del universo.

En este sentido es bien conocida la posición geodinamista y pirocéntrica adoptada por Filolao. Según el testimonio de Simplicio, Filolao, pitagórico connotado de mediados del siglo -V, concebiría a

"La Tierra, *moviéndose* como uno de los astros en torno al centro, (la cual) produce el día y la noche, *según la posición que se halla respecto al Sol* ... Y dicen que el fuego central (Hestia - altar de Zeus), es la potencia demiúrgica, que desde el centro, vivifica toda la Tierra y calienta su frigidez ... Efectivamente, la parte dirigida al Sol, produce el día; la noche en cambio, es engendrada por la parte dirigida hacia el cono de su sombra" <sup>31</sup>.

Aristóteles agrega el motivo que guía a esta reordenación del cosmos:

"También a muchos otros (los pitagóricos) les parecía que no es necesario atribuir a la Tierra la posición central, *conjeturando esta creencia no de los fenómenos, sino más bien de los razonamientos*. Pues creen que le corresponde al cuerpo más excelente ocupar el lugar más excelente; y que el fuego es más excelente que la tierra ..."<sup>32</sup> (el subrayado es nuestro)

De todo esto nos interesa destacar que Filolao,

(a) convierte a la Tierra en un astro más, con movimiento de traslación en torno al fuego central y de rotación sobre su propio eje, desplazándola de su posición de centro inmóvil del universo.

(b) Ante la objeción que se le formulaba al movimiento de traslación terrestre, sugiere la incommensurabilidad del universo: si las estrellas no presentaban una paralaje apreciable, ello se debía no a la inmovilidad de la Tierra, sino a que la esfera estrellada se encuentra a una distancia incommensurable, al grado que la órbita de la Tierra resulta insignificante respecto de la distancia inmensa de las estrellas<sup>33</sup>.

(c) La idea de un fuego central pudo haberse constituido en una persuasiva sugerencia para que pensadores de una mentalidad más astronómica y menos mística asumieran el modelo heliocéntrico del cosmos.

Por su parte, los atomistas Leucipo y Demócrito coadyuvaron a la conformación de esta imagen cosmológica con la formulación de los siguientes conceptos,

(a) el concepto de espacio en tanto vacío e infinito adquiere un carácter isotrópico, es decir, carente de espacios cualitativamente privilegiados, jerárquicamente definidos, como en el caso del cosmos aristotélico.

(b) La infinita multiplicidad de mundos, formados aleatoriamente por los átomos que se mueven libremente en el vacío, posibilita concebir a la Tierra como un astro más entre tantos otros. Sabemos que los atomistas postularon un modelo geocéntrico del cosmos, pero nos parece que tal imagen no es coherente con estos planteamientos físicos. Por el contrario, es de esperar que de una concepción de un espacio isotrópico e infinito se derive un modelo en el cual la Tierra no ocupa un lugar privilegiado del cosmos, y se mueva libremente en el espacio al igual que los otros astros<sup>34</sup>.

Este es, a nuestro entender, el marco cosmológico en que se puede inscribir, desde una perspectiva sistemática, la concepción semihe-

liocéntrica de Heráclides y la heliocéntrica de Aristarco, con lo cual no queremos decir que los pitagóricos y atomistas postularan un modelo astronómico de tipo heliocéntrico. Nuestro interés es el de ubicar las fuentes filosóficas hipotéticas que pudieran conformar el marco cosmológico en el cual es sistemáticamente posible interpretar el fundamento de la concepción heliocéntrica del cosmos.

Revisemos a continuación algunos detalles respecto de las particularidades de ambas intuiciones astronómicas.

El antecesor inmediato de Aristarco fue Heráclides de Ponto (-388, -315 aprox.). Heráclides perteneció a la Academia platónica y escribió sobre astronomía y geometría, aunque muy poco de ello se conserva. Tiene el mérito de haber sido el primer astrónomo, después de Filolao y posiblemente bajo su influencia, en sugerir un orden diferente del cosmos y una tesis a favor del movimiento terrestre. En particular, da una explicación alternativa al hecho N° 1 de los cielos y es tal vez el primero en considerar con seriedad el hecho N° 5.

Con respecto del hecho N° 1, Heráclides puntualizó que se observaría el mismo fenómeno, o sea la rotación de la esfera estrellada cada 24 horas, si la Tierra girara sobre su eje de oeste a este una vez al día. Además, se le atribuye la formulación de un sistema mixto, precursor del heliocentrismo. Es así como, tomando en cuenta el hecho N° 5, a saber, que Venus y Mercurio acompañan al Sol y que no se alejan de él más de 47 grados y 27 grados respectivamente en las máximas elongaciones, presenta, entonces, un modelo astronómico en el cual estos planetas giran alrededor del Sol, y el Sol junto con el resto de los planetas exteriores gira alrededor de la Tierra, la cual ocupa el centro del cosmos. Estamos, en consecuencia, ante un sistema híbrido, del cual se ha dicho que fue el prototipo que adoptó Tycho Brahe en el siglo XVI.

En resumen, Heráclides presenta,

(a) un sistema que combina geocentrismo con heliocentrismo; o sea un sistema de transición al heliocentrismo clásico;

(b) la Tierra posee un movimiento rotacional, pero no traslacional, ya que ocupa el centro del cosmos.

Aristarco de Samos (-320, -250), del cual se dice que fue discípulo de Estratón de Lampsacos (fl. -220) y contemporáneo de Arquímedes (-287,

-212), que tuvo una orientación pitagórica<sup>35</sup>, y que fue brillante matemático y geómetra, fue además el primer astrónomo en plantear un modelo de tipo heliocéntrico. Esta reordenación del cosmos la describió en su obra desaparecida, *Hipótesis Gráficas*. Sin embargo se conservan algunos testimonios que nos dan la seguridad de que Aristarco es el autor de esta teoría. Destacan entre ellos las aseveraciones de Arquímedes. En su obra *El arario*, nos dice,

"Aristarco de Samos publicó ciertas hipótesis de cuyos fundamentos resulta que el Universo sería mucho mayor porque supone que las estrellas fijas y el Sol están inmóviles, que la Tierra gira alrededor de éste como centro y que la magnitud de la esfera de aquellas es tal que la circunferencia del círculo que supone descrito por la Tierra es a la distancia a las estrellas fijas como el centro de la esfera es a la superficie ..." <sup>36</sup>

Es común acuerdo entre los historiadores de la ciencia <sup>37</sup> señalar que, tanto el sistema mixto de Heráclides como el heliocéntrico de Aristarco, desempeñaron un papel insignificante dentro del contexto de la ciencia griega. Prácticamente nadie se hizo eco de estos modelos astronómicos, con la heroica excepción de Seleuco (siglo -II), astrónomo caldeo, el cual, según Plutarco (48, 122), asumió esta doctrina no como mera hipótesis sino que la afirmó como verdad <sup>38</sup>. Esto es un elemento llamativo, ya que pareciera sugerir que Aristarco planteaba su sistema desde el punto de vista puramente instrumentalista, en tanto hipótesis de cálculo, lo que no nos es posible determinar con certeza, debido a la ausencia de los textos originales del autor. Esta posibilidad podría verse favorecida por el hecho señalado de que esta época tiene, como rasgo distintivo, una especial predilección por el instrumentalismo, como lo hacíamos ver en la sección anterior. Sin embargo, creemos que la propuesta de Aristarco es de un rango superior: posee consecuencias cosmológicas que la hacen traspasar el estrecho umbral del mero expediente calculístico. No pareciera sensato trastocar por completo el orden del cosmos para efectos de mejorar la predicción de los fenómenos celestes, más aún cuando no encontramos un testimonio que indique una matematización del heliocentrismo de Aristarco.

Mencionemos las razones que justifican el rechazo y marginalidad del heliocentrismo en la antigua Grecia:

(a) incompatibilidad manifiesta con la cosmología aristotélica, que a la sazón era la dominante;

(b) ausencia de una paralaje estelar visible, consecuencia necesaria que se desprende si se afirma el movimiento de traslación celeste, como ya mencionamos anteriormente;

(c) para responder a la objeción (b), se argumentaba que el universo era tan grande en relación con la órbita de la Tierra, que una tal paralaje no se podía registrar. Este argumento concebía, entonces, un universo de un tamaño descomunal, para la imagen que se tenía en aquellos tiempos;

(d) el geodinamismo chocaba irremediablemente con el sentido común, ya que si la Tierra estuviese en movimiento, todas las cosas que reposan apaciblemente sobre su superficie serían despedidas violentamente hacia el espacio exterior. O tal movimiento generaría una agitación constante en el aire capaz de arrastrar a todos los objetos sobre la Tierra. Cosa ajena a la experiencia. Todo lo contrario, la experiencia diaria producía la sensación de que la Tierra yacía quieta, estacionaria en el centro de la bóveda celeste;

(e) si el modelo de Aristarco proponía la traslación de la Tierra sobre una órbita circular alrededor del Sol, se veía en la imposibilidad de explicar el hecho N<sup>o</sup> 6. Sin embargo, no nos es posible fundamentar esto último debido a la ya señalada ausencia de sus obras astronómicas;

(f) parece que Aristarco no se empeñó en desarrollar el contenido matemático que pudiese haber convertido su modelo en una herramienta con poder predictivo. Por lo menos, no se conserva ningún testimonio que indique lo contrario <sup>39</sup>.

De tal manera que un sistema con todos los inconvenientes y limitaciones señaladas se veía seriamente imposibilitado de alcanzar la aceptación de un sector importante de los astrónomos griegos. Condiciones objetivas insoslayables propiciaron que el primer capítulo de heliocentrismo en la Grecia antigua, ocupara una posición efímera y marginal. Debieron pasar muchos siglos para que Copérnico, tomando el heliocentrismo donde lo dejó Aristarco, desarrollara su contenido matemático-geométrico, otorgándole así un estatus científico radicalmente diferente del que cumplió en la temprana formulación del connotado astrónomo de Samos.

## Notas

1. Mosterín, Jesús. *Historia de la Filosofía*. Vol. 1. Alianza Editorial. Madrid, 1983, p. 130.

2. Benjamín Farrington, citando a Martin P. Nilsson, sostiene que la "astrología que consiste en la preparación de horóscopos y que liga la suerte de los individuos a los astros ... parece haber sido un producto de la ciencia alejandrina, y haber sido desconocida en Egipto antes de que los griegos macedonios gobernarán el país". Véase Farrington, Benjamín. *Ciencia Griega*. Icaria Editorial. Barcelona, 1979, p. 12. Además, el tratado doctrinal más famoso de astrología, el "Tetrabilia", se le atribuye a Ptolomeo.

3. Platón. *La República*. Traductores: José Manuel Pabón y Manuel Fernández Galeano. Vol. 3, Libro VII. Clásicos Políticos. Centro de Estudios Constitucionales. Madrid, 1981, p. 30.

4. Consultar: Coronado, Luis Guillermo. *En torno a la Revolución Astronómica. Comentario al Commentarius de Copernico*. Rev. de Filosofía de la Universidad de Costa Rica, XXIX (69), 23-33, 1991.

Tatón, René. *Historia General de las Ciencias*. Traductor: Manuel Sacristán. Vol. 1. Ediciones Destino. Barcelona, 1971, p. 265.

Hanson, Norwood Russel. *Constelaciones y Conjeturas*. Traductor: Carlos Solís. Alianza Universidad. Madrid, 1978.

Kuhn, Thomas. *La revolución copernicana*. Traductor: Doménec Bergadá. Ariel. Barcelona, 1985, p. 89.

5. Tatón, René. *Op. cit.*, p. 243.

6. *Ibid.*

También en Mondolfo, Rodolfo. *El pensamiento antiguo*. Traductor: Segundo A. Tri. Vol. 1. Editorial Losada. Buenos Aires, 1974, pp. 68-69.

7. En los fragmentos *Sobre la Naturaleza*, de Filolao, leemos:

1.2. Cinco son los cuerpos de la Esfera: los que se encuentran dentro de la esfera son Fuego, Agua, Tierra, Aire; el quinto es el remolque de la esfera.

En el poema de Empédocles se dice: "... de todas las cosas cuatro son las raíces: Fuego, Agua, Tierra y la altura inmensa del éter ..."

Véase *Los Presocráticos*. Traducción y notas de Juan David García Bacca. Fondo de Cultura Económica de México. 1984, pp. 67 y 302.

8. Aristóteles expuso, a lo largo de su obra, tres teorías al respecto. En una primera etapa, y muy influenciado por *E I Timeo*, de Platón, planteó que las esferas celestes son animales divinos vivos, dotados de voluntad e inteligencia, y que se mueven eternamente a sí mismos. En un segundo momento, expuso la teoría del motor inmóvil, la cual hemos citado en el texto principal. Y en su tercera fase, es decir la que corresponde a la obra *Del Cielo*, propone una tesis de carácter mecanicista, a saber, que los eternos movimientos circulares de las esferas celestes son naturales y dependen del material, el éter, que por naturaleza adopta el movimiento circular. Entonces ya no hace falta ni la teoría de los animales divinos, ni la del motor inmóvil. Véase Mosterín, *Op. cit.* Vol 4, p.p. 237-238. Es importante agregar que, no obstante esta aclaración sobre la evolución del pensamiento aristotélico, el concepto que perdurará y el de mayor influencia en la escolástica será el del motor inmóvil.

9. αἰθρ, es decir aerodinámico. Los primeros en acuñar este término fueron Filolao y Empédocles. Véase García

Bacca, Juan David. *Op. cit.*, pp. 67 y 103. Fragmento N° 12 de Filolao. Poema I.1 de Empédocles.

10. Mondolfo, Rodolfo. *Op. cit.*, p. 34.

11. Los fragmentos 10.1, 10.5, 11.1, 12.1 del poema de Parménides sugieren una imagen del cosmos en la que los astros están inscritos en anillos o esferas. Ver Parménides. *Sobre la Naturaleza*. Traducción, Introducción y Paráfrasis de Constantino Láscaris. Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica. Vol. XIII. Núm. 36, pp. 30, 31, 32.

12. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 34.

13. Ver Poema de Empédocles en García Bacca, *Op. cit.* Fragmentos I.17, I.18, I.26, I.27, I.28. Y Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 37.

14. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 36.

15. Platón, *Op. cit.*, p. 170 y ss.

16. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 51.

17. Ver: Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 55 ss. Kuhn, Th. *Op. cit.*, p. 93. Tatón, R. *Op. cit.*, p. 265 ss.

18. Para una exposición detallada de los pormenores de la astronomía aristotélica ver Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 77 ss. y Kuhn, Th. *Op. cit.*, p. 116 ss.

19. Hanson, N. R. *Op. cit.*, pp. 92-93.

20. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 147 ss.

21. Ver Figura N° 1.

22. Kuhn, Th. *Op. cit.*, p. 108.

23. *Ibid.*, p. 106.

24. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 113.

25. Es importante destacar que en la época de Hiparco la ciencia alejandrina estaba dominada por figuras muy relevantes en el campo empírico de la astronomía. Científicos de la talla de Eratóstenes, Posidonio y Arquímedes, realizaron importantes estimaciones de las distancias y tamaños planetarios, de la dimensión del globo terrestre, tablas estelares, etc., empleando ingeniosos métodos de cálculo geométrico-matemático. Ello va a caracterizar a esta época como predominantemente empirista y pragmática, frente a las grandes elaboraciones metafísicas y cosmológicas de la Grecia clásica.

26. Originalmente, la obra de Ptolomeo fue titulada *Mathematike Syntaxis*; posteriormente, y en razón de la influencia que ejerció entre los astrónomos de su tiempo, se le agregó el término *Megale*.

Más adelante la *Syntaxis Mathematica* se difundió entre los astrónomos árabes y ejerció perdurable influencia en la historia de la astronomía. Cuando la obra se introdujo al continente, durante la edad media, se popularizó con el nombre árabe "*Almagesto*", que significa "el más grande".

27. Ptolomeo. *El Almagesto*. I. II. En Vera, Francisco. *Científicos Griegos*. Traductor: Antonio Ranz Romanillos. Vol. 2. Aguilar. Madrid, 1970.

28. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 148 ss.

29. *Ibid.*, p. 155.

30. *Ibid.*, p. 117 ss.

31. Mondolfo, Rodolfo. *Op. cit.*, p. 68. Lo agregado entre paréntesis y el subrayado es nuestro.

32. *Ibid.*, p. 69.

33. Ver Kuhn, Thomas. *Op. cit.*, p. 72.

34. Rodolfo Mondolfo menciona que uno de los aportes de importancia de Filolao fue el de establecer el concepto de infinitud del universo "... frente a la objeción que se le puso: que suponiendo que la tierra cumpliera una revolución en torno al fuego central debía resultar un aspecto bien distinto del cielo estrellado al contemplarlo desde puntos diametralmente opuestos de la órbita celeste." A esta objeción como aparece en Aristóteles, *De Coelo*, 293, respondían los pitagóri-

cos que "al no estar la tierra en el centro, sino distante de todo un hemisferio, no puede impedirse que los fenómenos se presenten como se nos presentarían a nosotros, que no estamos en el centro de la tierra, aunque la tierra estuviese en el centro del cosmos, pues ni aun en tal caso produce un efecto evidente el medio diámetro del que distamos del centro ..." Mondolfo, Rodolfo. *Op. cit.*, pp. 69-70.

Es necesario destacar que Mondolfo usa aquí el término infinito por el de inconmensurable, lo cual no nos parece apropiado ya que si la distancia a las estrellas no es mensurable eso no significa que sea infinita.

35. *Ibid.*, *Loc. cit.*

36. Arquímedes. *El arenario*. En Vera, Francisco. *Op. cit.*, p. 205.

37. Ver:

Abetti, Giorgio. *Historia de la Astronomía*. Traductor: Alejandro Rossi. Fondo de Cultura Económica. México, 1983, p. 62.

Crombie, A. C. *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo*. Traductor: José Bernia. Vol. I. Alianza Universidad. Madrid. 1974, p.p. 86-87. Farrington, B. *Op. cit.*, p. 203. Hanson, N. R. *Op. cit.*, p. 107 ss.

Koyré, Alexandre. *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*. Traductor: Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos. Siglo XXI Editores. México, 1984.

Mosterín, Jesús. *Op. cit.* Vol. 5, p. 153 ss.

38. Koyré, Alexandre. *Op. cit.*, p. 79.

39. Fred Hoyle, haciendo uso de los números complejos, demuestra la equivalencia cinemática de que la Tierra sea la que esté fija y los cielos en movimiento, o viceversa. Demuestra además, el camino racional que pudo haber seguido hipotéticamente Aristarco para llegar a la formulación del sistema heliocéntrico. Con la misma rigurosidad hace ver la superioridad aplastante del modelo ptolemaico en el campo del cálculo matemático, frente a la debilidad del sistema de Aristarco. Véase Hoyle, Fred. *De Stonehenge a la Cosmología Contemporánea. Nicolás Copérnico*. Traductor: Luis González. Alianza Editorial. Madrid, 1986, p. 125 ss.

Jorge Jiménez

Escuela de Filosofía

Universidad de Costa Rica

2060 Ciudad Universitaria

Rodrigo Facio

Costa Rica

## I. El proyecto arqueológico

Según Michel Foucault, la arqueología es una descripción positiva, una especie de positivismo, que como proyecto pretende ser una descriptiva; es decir una descripción pura de los acontecimientos discursivos, cuyo objeto es el discurso como acontecimiento histórico. El autor es un historiador de las ideas "que ha querido reanudar de arriba abajo su disciplina"; en la que la misma historia de las ideas se le presenta como un tipo de análisis de opiniones, una doctrina, un sistema epistemológico definido. Ante este estado de la cuestión proyecta su arqueología como una historia distinta de "lo dicho"; la cual desde un

punto de vista metodológico debe operarse como a la mera hermenéutica como a la que se trata de desmenujar los discursos en sus prácticas que obedecen a una lógica intuitiva ni alegórica". En suma, se afirma que se considera al discurso que obedece a una regla.

Planteadas la arqueología como el estudio de un discurso objeto, el autor se propone trazar las líneas generales de dicho discurso que se desarrolla sobre cuatro ejes fundamentales, dentro de las exigencias epistemológicas del estructuralismo.

El primer eje gira en torno al tema de la asignación de novedad. Tema para el cual exige no apelar al sujeto creador como instancia de sentido del discurso. Para establecer "lo nuevo" se debe recurrir a determinar el conjunto de condiciones en que se ejerce la palabra enunciada, la función enunciativa, función que asegura y define el modo de existencia del enunciado mismo y que se determina como conjunto de regularidades o reglas de enunciación. ¿Cómo es posible saber estas regularidades? Se parte de la afirmación de que existen campos de reglas, o sea conjuntos de isotopías discursivas que dotan de homogeneidad al campo de enunciados efectivos. Reglas que no pertenecen ni al campo de la lingüística ni al de la lógica; puesto que son propias del campo discursivo. Este conjunto de reglas se ordena según el modelo de "derivación arborescente". "Se puede así describir un árbol de derivación enunciativa; en su base, los enunciados que utilizan las reglas de formación en su extensión más amplia; en la cima y después de cierto número de ramificaciones, los enunciados que emplean la misma regularidad,