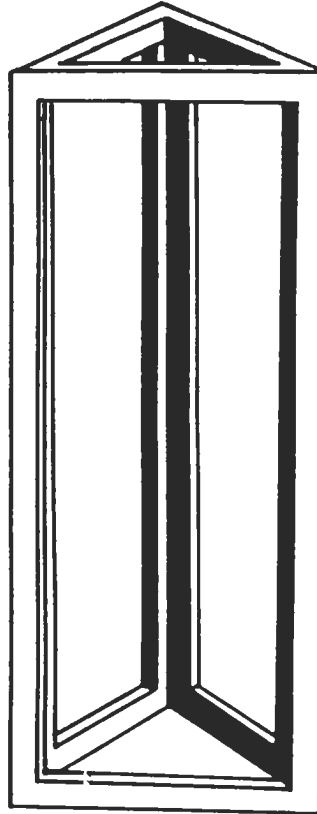


Eudoxo

de la ASTRONOMÍA GRIEGA

y los ORÍGENES



Eulalia Pérez Sedeño.
Prof. de Lógica y Filosofía de la Ciencia.
Universidad Complutense.

C on frecuencia se dice que la astronomía es la más antigua de las ciencias. Desde muy pronto los hombres miraron los cielos, quizás imbuidos de su belleza, de su misterio, de su presunta regularidad, o de alguna característica más práctica. Y pronto los hombres se dieron cuenta de que los fenómenos astronómicos formaban parte de su entorno y de su propia vida. Ninguna otra disciplina parece, por un lado, haber conseguido tan pronto rigor en el tratamiento de los datos, en su cuantificación y, por otro, haberle imprimido un carácter deductivo tan acentuado, alcanzando así un estatus de 'cientificidad' que muchas otras disciplinas pretendieron imitar.

El punto de partida de la indagación astronómica lo constituyen ciertos fenómenos referentes al Sol, la Luna y las estrellas. La periodicidad de la salida y puesta del Sol, los cambios lunares, tan notorios, la disposición y movimiento de las estrellas y sus fases, y el comportamiento de ese grupo de 'estrellas errantes'

o planetas constituyen algunos ejemplos de los fenómenos que llamaron la atención de los griegos. En un principio, los dioses habían sido responsables de todos los fenómenos naturales, pero poco a poco iban a dejarse de lado esos mitos en un intento de hallar explicaciones naturalistas. El objetivo era dar una 'explicación' de la naturaleza y funcionamiento del universo sin acudir a fuerzas sobrenaturales ajenas a la propia naturaleza.

Podemos decir, *grosso modo*, que para enfrentarse a ellos siguieron dos caminos. Por un lado, observaron esos fenómenos tratando de cuantificarlos de un modo tan preciso como les era posible, teniendo por todo punto de partida la mera vista, sin apenas ayuda instrumental. Por otro, intentaron dar una explicación de esos fenómenos, interrogándose sobre su naturaleza. Esos dos caminos, que en ocasiones parecen divergentes, en otras confluyen. En efecto, no tiene sentido medir esos fenómenos, si no se pueden relacionar unos con otros, es decir, a menos que se conciba el universo como un sistema, esto es, como un conjunto de objetos entre los cuales se dan unas ciertas relaciones. Podríamos decir que la que en otro lugar¹ he denominado 'corriente especulativa' intentó hallar esas relaciones preguntándose por la estructura física del universo y la naturaleza de los objetos que lo componen y que la 'corriente observacional' lo hizo intentando hallar relaciones numéricas entre los objetos del sistema.

Las primeras referencias a cuestiones astronómicas que aparecen en la literatura están estrechamente relacionadas con el establecimiento de un calendario que rija las tareas cotidianas. Así, por ejemplo, en *La Iliada* y en *La Odisea* se mencionan algunos fenómenos astronómicos - fundamentalmente ortos, ocasos y culminaciones estelares - y se vinculan con las estaciones.² La

[1] Pérez Sedeño [1986]

[2] En Pérez Sedeño [1986] aparece información de algunos de los cantos de estas obras donde aparecen descritos fenómenos astronómicos.

impresión que dan esas descripciones es que lo son de hechos 'de sobra conocidos', no de fenómenos nuevos por primera vez observados. Y en estas obras aparecen también descripciones cosmológicas, aunque primitivas y sin pretensión explicativa (¿la otra línea en que se desarrollará la astronomía?): en la orla del escudo de Aquiles - ¿redondo como el universo? - están representados la Tierra, el cielo, el mar, el Sol infatigable y la luna llena.³

Los trabajos y los días es una obra más sistemática en las descripciones de fenómenos celestes y su relación con determinadas épocas del año, así como las tareas a realizar en ellas. "Al surgir las Pléyades, descendiente de Atlas - dice Hesiodo - empieza la siega, y la labranza cuando se oculten. Desde ese momento están ocultas durante cuarenta noches y cuarenta días y, de nuevo, al completarse el año, empiezan a aparecer cuando se afilar la hoz"⁴, es decir, el poeta aconseja empezar la siega con el orto helíaco de las Pléyades, y la labranza con su ocaso y hace referencia a la recurrencia anual de las estrellas. En verano, hay que aventar el grano sagrado cuando se produce el orto helíaco de Orión y la vendimia cuando es el orto helíaco de Arturo y la culminación de Sirio y Orión (en el - VIII entre el cinco y el quince de septiembre). La labranza, de nuevo, ha de efectuarse con la puesta matutina de las Pléyades, las Híades y Orión (entre el cinco y el once de noviembre en esta época). Más adelante también habla del orto vespertino de Sirio y de su visibilidad por la noche en otoño, y de otros fenómenos más.⁵

Como vemos, en esta obra se aprecia perfectamente uno de los objetivos primordiales de la astronomía desde sus comienzos, y de una de las líneas de investigación fundamentales desarrolladas en Grecia: la instauración de unas "pautas regulares a lo largo del

[3] Iliada, XVIII, 483.

[4] Los trabajos y los días, 385-88.

[5] Pérez Sedeño [1986], págs. 18-20 ofrece más referencias de este tipo.

tiempo que sirvieran para establecer y preparar la época de labranza, siembra y recogida de la cosecha"⁶, es decir un calendario que por lo general iba unido a consideraciones meteorológicas y agrícolas: "Teniendo presente estos consejos, *distribuye en proporción los días y las noches hasta que se complete el año*, hasta que otra vez la Tierra, madre de todo, produzca sus variados frutos"⁷. Pero, como dijimos, no fue el único camino seguido.

1. Los filósofos de los siglos -VI y -V

Algunos historiadores de la astronomía consideran que las ideas cosmológicas sostenidas por los filósofos presocráticos constituyen el punto de partida y el germen de las teorías científicas que posteriormente se desarrollaron. Otros consideran que son tan sólo especulaciones filosóficas y no científicas⁸, olvidando, al parecer, lo difícil que resulta diferenciar entre ciencia y filosofía en esta época, a menos, claro, que se utilicen patrones actuales de 'cientificidad'. De cualquier modo, esas ideas, fragmentarias y toscas, constituyen los únicos segmentos disponibles del estado del corpus especulativo en la etapa inmediatamente anterior a la elaboración de lo que se podría denominar la primera teoría en astronomía, la de Eudoxo.

[6] Pérez Sedeño, [1986], pág. 19.

[7] Los trabajos y los días, 561-64; las cursivas son mías.

[8] Entre los primeros, véase, por ejemplo, G.E.R. Lloyd [1970], [1973], [1991]; entre los últimos, M. R. Cohen y I. E. Drabkin [1948] o O. Neugebauer [1975].

Ahora bien, la aproximación a estas ideas ha de hacerse con todo tipo de cautelas. Como es sabido⁹ la mayoría de los testimonios de que disponemos no son de los propios autores, ni coetáneos siquiera, sino que proceden de autores a los que en ocasiones les llegaron de segunda, tercera o cuarta mano. Así pues, las distorsiones y sesgos propios a los que ha de enfrentarse el historiador se ven magnificados o amplificadas en el caso de la astronomía antigua; en muchos casos ha habido una labor de rescrituración e interpretación que bien puede enmascarar las verdaderas ideas del filósofo reseñado¹⁰

La investigación de la naturaleza surge en Grecia de la mano de los filósofos jonios. Tradicionalmente se considera que fue Tales (-VI) el primer filósofo investigador de la naturaleza¹¹ y preocupado por cuestiones astronómicas. No es mucho lo que nuestras fuentes dicen sobre sus ideas, aunque algunas nos lo presentan como filósofo interesado por la observación de las estrellas¹², descubridor de la Osa Menor¹³, de la longitud del intervalo que hay entre los dos solsticios, de las estaciones del año y quien dividió el año en 365 días¹⁴. Pero, sin duda, lo más notorio de Tales es la atribución que se le hace de haber **predicho** un eclipse de sol. Tal predicción aparece en diversas fuentes¹⁵. Sin

[9] Véase, por ejemplo, un tratamiento más detallado de estas cuestiones en Dicks [1970] y Kirk y Raven [1960], Diels [1929], Diels- Kranz [1934-37], Heath [1913] y Cohen y Drabkin [1947] han examinado y puesto al alcance del lector las fuentes disponibles para el estudio de los pensadores presocráticos.

[10] Véase, por ejemplo, cómo Kirk y Raven [op. cit., págs. 123-126] examinan si Teofrasto puso argumentos e ideas atomistas en boca de Anaximandro.

[11] Aristóteles, *Metafísica*, A, 3 983 b 20-22.

[12] Así por ejemplo, la historia relatada por Platón (*Teeteto*, 174A) según la cual Tales tropezó y cayó en un pozo por ir mirando las estrellas.

[13] Diógenes Laercio, I, 23: "Calimaco sabe que él (Tales) fue el descubridor de la 'Osa Menor', pues dice en su *lambi* que "se dice que él marcó [midió] las estrellas del Carro, por las que navegan los fenicios". Este tipo de referencias nos puede dar una idea de la fiabilidad de los testimonios disponibles sobre Tales y algunos otros filósofos griegos.

[14] Diógenes Laercio, I, 24 y I 27.

[15] Herodoto I, 4; Clemente de Alejandría *Stromateis* I, 65 citando la *Historia de la astronomía* de Eudemo; Teón de Esmirna, p. 198, citando también a Eudemo y Plinio,

embargo, resulta dudoso que Tales tuviera los conocimientos necesarios para pronosticar un eclipse de sol¹⁶. Por lo que se refiere a sus ideas cosmológicas también es poco lo que sabemos: que el agua es el origen de todo y que la Tierra flota sobre el agua como un corcho¹⁷, por lo que no resulta difícil inferir que su forma debía ser o bien la de un disco plano o la de un cilindro.

Otro milesio, Anaxímenes (585-528 a..C.), pensaba que la Tierra era plana, al igual que el sol, y que todos los cuerpos celestes se sostenían en el aire¹⁸. Sin embargo, ni el sol ni las estrellas dan vueltas alrededor de la Tierra, sino que pasan lateralmente alrededor de ella, como si fuera un gorro que se agita sobre la cabeza¹⁹.

El tercer filósofo asociado a los anteriores, Anaximandro (611-546 a.C.), presenta algunas peculiaridades que le han hecho merecedor de mayores atenciones. Las ideas que sobre el universo tenían los filósofos de los siglos -VI y -V no permiten trazar una imagen completa del universo y menos aún dar una respuesta a las principales cuestiones astronómicas que hemos visto preocupaban a los griegos. La idea que tenía Anaximandro del universo, no difiere mucho de otras de su época, anteriores o posteriores y su 'teoría' sobre el Sol, la Luna y las estrellas contiene lagunas e inconsistencias. Sin embargo, en mi opinión, posee cierto interés por dos motivos: en primer lugar, Anaximandro intenta separar lo que podríamos denominar 'razones mágicas' de razones 'naturales', aunque, como hemos mencionado, esa no es una característica exclusiva de este filósofo. En los textos que nos han llegado sobre Anaximandro hay algo más: nuestras fuentes no nos lo presentan como a un individuo extraordinario, capaz de gestas

Historia natural, c. 12, # 53.

[16] Pérez Sedeño [1986], págs. 42-49.

[17] Aristóteles, *Metafísica*, A. 3, 983 b 20-22.

[18] Aristóteles, *De caelo*, B 13, 249b 13; *Aecio*, II.22.1; III, 10, 3.

[19] Hipólito, *op. cit.*, I, 7, *Aecio*, II, 14, 16, 23.

no habituales y poseedor de conocimientos fuera de lo común, como sucedía en el caso de Tales; no se le adscriben conocimientos de forma entusiasta, sino que se presentan como intentos de 'explicaciones' de ciertos hechos y problemas cotidianos. En segundo lugar, porque esa explicación es susceptible de tratamiento matemático, esto es, puede ser reconstruida según un modelo geométrico, aunque sea muy primitivo.²⁰

Según Anaximandro, la Tierra es un cilindro aplanado como un pilar de piedra, sobre una de cuyas superficies planas es sobre la que estamos situados; el diámetro de esta 'columna' es tres veces su altura y no reposa en nada en absoluto, sino que está en equilibrio y "está donde está porque equidista de todas las cosas"²¹. Alrededor de la Tierra hay unos anillos, esferas o ruedas que transportan las estrellas, la Luna y el Sol, en este orden²². Según unas fuentes, el anillo o círculo del Sol es veintisiete veces el diámetro del cilindro terrestre²³, y según otras²⁴ veintiocho. Puesto que Anaximandro sostenía que el Sol es igual que la Tierra²⁵, algunos autores²⁶ han considerado que esos tamaños se refieren a los círculos internos y externos del Sol respectivamente. El tamaño del círculo de la Luna es diecinueve veces el tamaño del diámetro terrestre, pero nuestras fuentes no dicen nada sobre el tamaño del anillo estelar. Tanto el anillo solar como el lunar son

[20] El conocimiento que tenemos del modelo de Anaximandro proviene de fuentes secundarias y terciarias, pues de su obra *Sobre la naturaleza* no nos ha llegado ni un fragmento. Pero autores como Teofrasto, Simplicio, Hipólito, Aecio, Eusebio o Diógenes Laercio ofrecen numerosos testimonios sobre ese autor. Por lo general, estos autores se refieren a la doctrina del primer principio, que según Anaximandro es το *απειρον*, pero pueden extraerse suficientes datos para reconstruir su 'teoría'.

[21] Pseudo-Plutarco *Stromateis*, 2; Hipólito, *Refutación de todas las herejías*, I, 6,3; Aristóteles, *De Caelo*, B 13, 295b 10.

[22] Aecio, II, 15, 16.

[23] Hipólito, *op. cit.* I, 6,5. Aecio, II, 21, 1.

[24] Aecio, II, 20 1.

[25] Aecio, II, 21,1.

[26] Heath, [1913], págs. 37-38.

oblicuos (se supone que con respecto al diámetro terrestre), aunque no se sabe muy bien a qué pueda referirse esa oblicuidad, ya que, según testimonio bastante fiable de Dercillides relatado por Teón de Esmirna, la oblicuidad de la eclíptica fue descubierta por Oinopides en el -450 aproximadamente y determinada por Eratóstenes.

Estos anillos son como una rueda en la que hay ciertas ventanas por las que se ven los astros; los eclipses se producen cuando esas aberturas se cierran y las fases lunares según el orificio se abra más o menos²⁷. No se menciona en absoluto la causa de los cierres o aberturas de los anillos.

Hay diversas interpretaciones sobre el modelo por el que se podrían representar las ideas de Anaximandro y la imagen del universo a que conducen. Según Heath²⁸ el modelo de Anaximandro sería el siguiente:

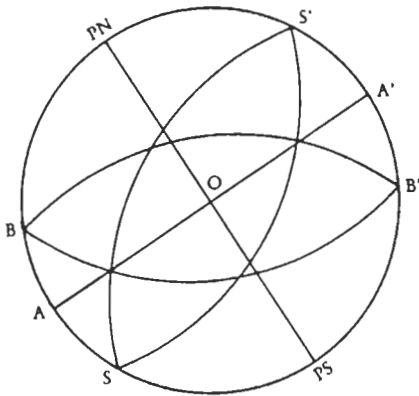


Fig.1

Los anillos son concéntricos a la Tierra. La Línea PN-PS es el eje celeste, siendo PN el polo norte celeste y PS el polo sur celeste. Según estos autores el anillo solar oscilaría de la posición SS' - en la que se produciría el solsticio de verano -a la BB', que es la que tendría en el solsticio de invierno. Sin embargo, y aunque Eusebio²⁹ afirma que Anaximandro construyó *gnomons* para distinguir los solsticios, equinoccios, estaciones y horas, en ninguna fuente se menciona en absoluto la oscilación de esos anillos.

[27] Hipólito. op. cit. I. 6.4.5. Aecio. II. 29. 1.

[28] [1913], quien sigue a Neuhäuser.

[29] Praeparatio Evangelica. X. 14. II.

Hay, sin embargo, una reconstrucción diferente³⁰ que se ha visto apoyada por recientes investigaciones³¹. Según ésta, el movimiento de los aros o anillos no sería exactamente concéntrico con respecto al cilindro terrestre, sino que sería un movimiento compuesto de tipo epicíclico: por una lado, el centro del anillo describiría un gran círculo alrededor de la Tierra en el plano del ecuador, pero, además, el propio anillo giraría alrededor de su eje, formando el plano medio del anillo un ángulo recto con el gran círculo.

Esta interpretación del 'modelo' de Anaximandro permite dar cuenta de determinados fenómenos celestes. Por ejemplo, la rueda que transporta al Sol (o a través de cuyas ventanas se ve) da una vuelta completa en un día (por ejemplo el círculo pequeño de centro x), y el gran círculo que describe el centro del anillo se completa en un año. Según la figura, AA' es el eje del círculo descrito por el centro del anillo solar que se va desplazando en el sentido inverso a las agujas del reloj: en el momento en que el Sol se hallara en la intersección entre los círculos mayor y menor, S_1 , se produciría el equinoccio de otoño; el desplazamiento continuaría hasta que el Sol estuviera en S_2 , el solsticio de invierno, luego hasta S_3 , el equinoccio de primavera y, finalmente, hasta S_4 , cuando se produciría el solsticio de verano. Este modelo daría cuenta, aunque con errores³², de la desigualdad de las estaciones, suponiendo que

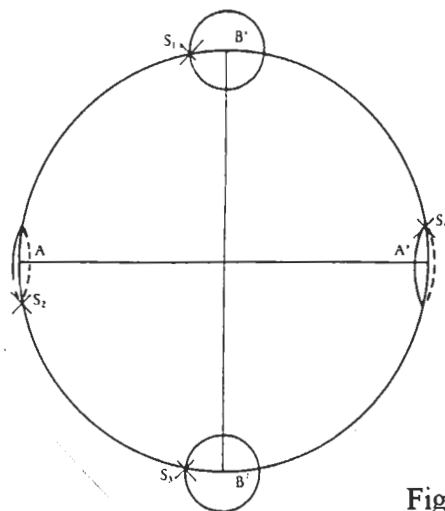


Fig.2

[30] M. Sartorius. Die Entwicklung der Astronomie bei den Griechen bis Anaxagoras und Empedokles, recogida en Heath[1913].

[31] Neugebauer[1972] y Van der Waerden [1974. 1982].

[32] Así, por ejemplo, según este modelo el invierno tendría menor duración que el otoño y que la primavera, aunque el verano sería de igual longitud que el otoño, cuando la duración real es de 92^d22^h para la primavera, 93^d14^h para el verano, 89^d17^h el otoño



el sol se mueva a velocidad constante y de su posición en el ecuador en los equinoccios, al norte del ecuador en el solsticio de invierno y al sur en el de verano.

Desde luego, según esta reconstrucción el modelo de Anaximandro es **demasiado perfecto**. En efecto, no hay duda alguna del primitivismo de las ideas de Anaximandro y la tosquedad y asistemática de sus observaciones. Sólo así, se entiende que no diferenciara las fijas de los planetas (en una época en que los babilonios ya disponían de un sistema para computar posiciones planetarias), que atribuyera a la Luna luz propia, al Sol igual tamaño que a la Tierra, por no hablar de los mencionados mecanismos de las fases y eclipses. Igualmente resulta dudoso que Anaximandro conociera la desigualdad de las estaciones, a pesar del testimonio antes mencionado de Eusebio.

Tampoco parece que los otros dos filósofos jonios del s. - VI, Jenófanes de Colofón (- 520) y Heráclito de Éfeso (nacido hacia - 544) efectuaran aportaciones interesantes a la astronomía. El primero consideraba que la Tierra era plana, y que su lado superior tocaba el aire, pero por debajo se extendía sin límite, siendo, por tanto, infinita sin que agua o aire la rodearan. Por lo que se refiere a las luminarias, Jenófanes pensaba que no había una sola Luna ni un único Sol: cuando el sol se pone, se acaba, y el que aparece al día siguiente es un nuevo Sol. "Hay tantos soles y lunas como regiones, secciones y zonas de la Tierra y en ciertos momentos el disco llega a algún lugar no habitado por nosotros y así, caminando sobre nada, se produce el fenómeno del eclipse"³³. El Sol camina hacia adelante sin fin, pero nos parece que da vueltas alrededor de la Tierra debido a lo lejos que se va. Para Jenófanes el Sol, la Luna y las estrellas eran nubes de fuego, por lo que consideraba que luz de la Luna era propia. Las ideas de Heráclito (*fl.* -500) eran muy semejantes: también hay un nuevo

y 89^dh el invierno (en el hemisferio norte).

[33] Aecio II. 24.9.

Sol cada día; tanto éste, como la Luna y las estrellas son cuencos que nos enseñan su cara hueca y en donde se reúnen las exhalaciones brillantes y forman llamas; los eclipses se producen cuando esos cuencos giran su parte cóncava y nos esconden las llamas, y las fases lunares, son fruto de los movimientos del cuenco lunar³⁴.

Con Pitágoras de Samos (-572) se inaugura una nueva tradición en filosofía, pero sus ideas astronómicas no difieren mucho de las de los filósofos anteriores. Como es sabido, resulta difícil distinguir entre las ideas del propio Pitágoras y de sus discípulos, debido a que éstos mismos tendían a atribuir cualesquiera conocimientos al maestro, pero como es usual, distinguiremos entre las ideas de podríamos pensar fueron del propio Pitágoras o discípulos coetáneos, y las de los pitagóricos del siglo -V, de las que hablaremos después. Diógenes afirma que fue Pitágoras el primero en llamar cielo al universo y que éste es una esfera, en decir que la Tierra es redonda y se halla en reposo y que la Estrella Matutina y la Vespertina son la misma, aunque otros se lo atribuían a Parménides. También Teón dice que fue Pitágoras el primero en establecer que los planetas tienen un movimiento propio e independiente y contrario al de la rotación diaria de las estrellas³⁵. De entre los discípulos contemporáneos de Pitágoras, Alcmeón de Crotona parece ser el

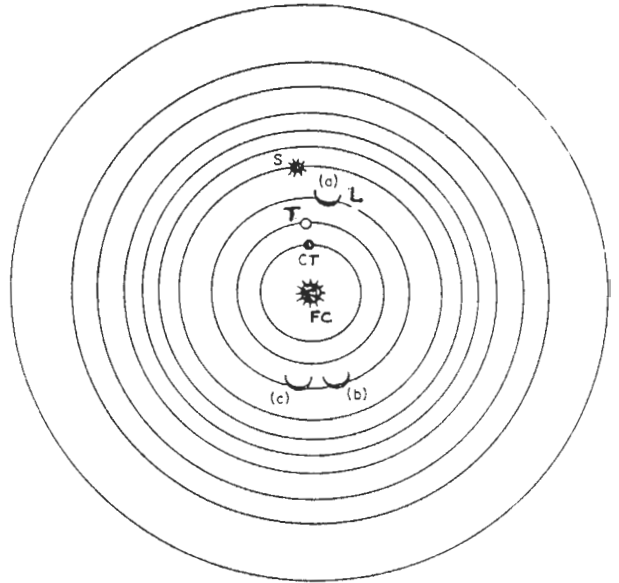


fig.3

[34] Diógenes Laercio, IX, 8-11; Aristóteles, Meteorología, B2, 355a13.

[35] Diógenes, VIII, 48 y IX, 23. Teón, p. 150, 12-18. Aecio, I, 21. Aristóteles, Física, D, 218 a 33.



único, además del expulsado Hipasos de Metaponto, del que se sabe algo; aunque sus intereses fundamentales eran médicos, Aecio afirma que sostenía que los planetas se mueven de oeste a este, con un movimiento opuesto al de las fijas. En el siglo -V Filolao, según unos, los pitagóricos en general, según otros, parecen haber planteado por primera vez la posibilidad de un sistema del mundo en el que la Tierra no estuviera en el centro. (Fig.3).

Aunque también este universo pitagórico es esférico, su punto central está ocupado por el fuego central, a cuyo alrededor orbita la Tierra, una estrella más, y cuya revolución produce la noche y el día. Los cuerpos que giran alrededor del fuego central son nueve, siendo el más cercano al fuego la contra-tierra - que no vemos porque el hemisferio en el que nos hallamos nunca mira hacia ella; luego la Tierra, la Luna, el Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno y, por último la esfera de las fijas. Algunos autores han considerado que la finalidad de postular esa contra-tierra era la de hacer que fueran nueve - número importante para los pitagóricos - los cuerpos que orbitan alrededor del fuego central. Pero Aristóteles sugiere que servía para explicar los eclipses de luna por interposición de ese cuerpo entre nuestro satélite y nosotros.³⁶

Algunos de los conocimientos atribuidos a Pitágoras se le asignan a Parménides de Elea³⁷, como por ejemplo la identidad de la Estrella Matutina y la Vespertina y la esfericidad de la Tierra. Pero, Parménides, no creía que la Tierra rotara diariamente sobre su eje, considerando esa apariencia una ilusión, aunque sí pensaba que se hallaba en el centro, en equilibrio, por estar equidistante de todos los puntos. La dificultad de su poema, y los confusos textos de Aecio en los que se comenta a Parménides no ayudan a entender su concepción del universo, pero muestran, de cualquier

[36] Aristóteles, De Caelo, B 13, 293 a 15-b 30. Aecio, II, 7, 4, 13; II, 11.

[37] Lo cual no resulta sorprendente dadas sus conexiones con el pitagorismo.

modo, que sus conocimientos astronómicos no eran demasiado notables. Las ideas de Empédocles (490-444) a este respecto tampoco eran extraordinarias. El cielo no es una esfera perfecta de cristal, sino una especie de huevo, en el que se hallan las estrellas fijas, aunque no sucede así con los planetas. En ese huevo de cristal hay dos hemisferios, uno lleno de fuego y luz, y otro una mezcla de aire y fuego, que es oscuro: la revolución de esos dos hemisferios explica la alternancia del día y la noche. El sol no es fuego, sino reflejo de éste y la luna es un disco plano.³⁸

Todas estas ideas sirven para mostrar, de forma paradigmática, el estado de la astronomía en los siglos -VI y -V. Es ésta una época marcada por un cierto interés por comprender el universo de una manera natural y no mítica. Una época en que la 'astronomía empírica' comienza a proveerse de datos que, a pesar de los rudimentarios procedimientos observacionales de la época, sirven para elaborar ciclos y *parapêgmata* bastante fiables, de los que nos ocuparemos a continuación.

2. Calendarios y ciclos lunisulares

El problema fundamental del que se ocupó esta tradición era el de compaginar año solar y mes lunar, estableciendo así un patrón temporal que tuviese en cuenta los fenómenos celestes más conspicuos - la alternancia del día y la noche y las fases lunares - y los más vitales - la sucesión de las diversas estaciones. Esos fenómenos astronómicos, en especial la alternancia del día y la noche y la de las estaciones³⁹, regulan la

[38] Aecio. II, 20.31, 13.

vida de los animales. Sin embargo, aunque la diversidad climática de las estaciones hace que el Sol imponga su período, las fases lunares constituyen un fenómeno más notorio y práctico, debido a su brevedad y mayor regularidad: mientras es posible que una estación, en sentido meteorológico, se alargue o se acorte en varios días, no sucede lo mismo con las fases de la Luna. Este hecho explica que, desde los albores de la astronomía, la mayoría de los empeños estuvieran encaminados a compaginar los períodos solar y lunar⁴⁰.

La consecución de ese objetivo se tenía que lograr estableciendo unos ciclos que no consistieran en el mero agrupamiento de años, meses, o cualquier otra unidad temporal, transcurridos los cuales se recomienza el cómputo⁴¹, sino poniendo en relación al menos dos unidades temporales, siendo su fundamento las tres unidades de tiempo que nos proporciona la naturaleza, el día solar, el mes lunar y el año solar. Desafortunadamente esas unidades no son conmensurables de un modo simple, por lo que el problema a resolver consiste en hallar unos enteros positivos x , y , z , tales que

$$x \text{ días} = y \text{ meses} = z \text{ años}$$

El establecimiento de dichas relaciones no es trivial en absoluto, pues conlleva la ejecución de observaciones precisas y argumentos complicados para establecer, por ejemplo, el exacto comienzo del creciente lunar, la luna llena, los solsticios⁴², etc. Es evidente lo difícil que resulta encajar un número entero de meses,

[39] No todos los pueblos y culturas han seguido estos patrones en apariencia tan evidentes. Por ejemplo, los antiguos mexicanos se guiaban por el período de Venus y los indios por el de Júpiter (Pannekoek [1961]).

[40] Véase, por ejemplo, Las Leyes [809 c-d; 817 a-818 a] donde Platón aboga por el estudio de la astronomía de manera que se pudiera organizar calendarios adecuados para regular la vida de las ciudades.

[41] Como sucedía en Egipto.

[42] Neugebauer [1975], págs. 613-18. Pérez Sedeño [1986], págs 21-22.

bien sinódicos, bien sidéreos, en un año (ya sea trópico o sidéreo). En un año solar, redondeado en $365 \frac{1}{4}$, hay 13,36 meses sidéreos y 12,36 meses sinódicos. En el sentido inverso, 13 meses sidéreos equivalen a $355 \frac{1}{3}$ días ($9 \frac{11}{12}$ días menos que el año solar) y 14 meses sidéreos equivalen a $382 \frac{2}{3}$ días, $17 \frac{5}{12}$ más que el año solar. Si intentamos acoplar x meses sinódicos en un año solar, los resultados son igualmente desalentadores: 12 meses sinódicos son 354 días, esto es, faltan $11 \frac{1}{4}$ días para completar un año, y a 13 meses sinódicos le sobran $18 \frac{1}{4}$ días con respecto al año solar, pues equivalen a $383 \frac{1}{2}$ días.

Podemos considerar que el primer paso en el establecimiento de un patrón temporal del tipo señalado lo constituyen los *parapêgmata*. Éstos eran listas de uso público para todo un año, grabadas en piedra o madera, en las que aparecían las fases de determinadas estrellas fijas y de la luna, así como solsticios y equinoccios asociados a determinados fenómenos meteorológicos⁴³. A la hora de estudiar los *parapêgmata* y ciclos utilizados en Grecia se presentan dos cuestiones. En primer lugar se plantea el problema de las fuentes. Sólo se conservan cuatro calendarios astronómicos de piedra o *parapêgmata*, cuyas fechas oscilan entre los siglos -II y -I. También podemos extraer información sobre los *parapêgma* de la *Isagogé* de Gémino (-50) y de las *Phaseis* de Ptolomeo (s.II). Al final de la obra de Gémino aparece un calendario astronómico que, aunque es de suponer incorpore conocimientos de la época, nos permite reconstruir un tipo de *parapêgma* que probablemente ya estaría en funcionamiento en tiempos de Metón y Euctemón y de Eudoxo⁴⁴.

[43] Aunque el *parapêgma* de Mileto más antiguo no dice nada de fenómenos meteorológicos.

[44] Sobre la datación del *parapêgma* que aparece en la *Isagogé* y la posibilidad de reconstruir, junto con el *Ars Eudoxi* el de Eudoxo, véase Dicks [1975], Neugebauer [1975], págs. 585-89 y Pérez Sedeño [1986], págs. 23-27.

El segundo problema lo constituye la finalidad u objetivo de esos calendarios y ciclos, con respecto a la cual hay tres posturas. En primer lugar, hay quienes mantienen que, dada la diversidad de calendarios civiles, era necesario elaborar un calendario preciso, es decir, un esquema de referencia fijo que sirviera para todas las ciudades y que, además, compaginara año solar y mes lunar. Otros autores consideran que lo que se pretendía lograr era un calendario astronómico, esto es, un esquema de referencia fijo para *fechar con precisión las observaciones astronómicas* (lo cual explicaría la coexistencia de éstos y los calendarios civiles). Otros, no les confieren pretensión alguna de universalidad: su objetivo era simplemente obtener *parapêgmata* fiables a la hora de predecir el tiempo o programar las actividades de rigor en las neomenias o en otros momentos⁴⁵.

El ciclo de intercalación más antiguo es, según Gémino el *octaétero*, que algunos atribuyen, dudosamente a Eudoxo⁴⁶. Este patrón intercalar pretende compaginar las diferencias entre período lunar y solar a lo largo de ocho años y apenas precisa de observaciones. Se basa en la diferencia existente entre el año lunar de 12 meses sinódicos y el solar⁴⁷, que es de 11 1/4 días y se denomina *epacta*. En ocho años habrá 8 de estos *epacta*, esto es, noventa días, es decir habrá que añadir tres meses de treinta días para que año lunar y solar estén a la par transcurridos los ocho años:

$$(a) 8^a = (8 \times 12 + 3) = 99^m$$

-
- [45] Sobre las objeciones a cada una de estas posturas. Pérez Sedeño [1986], págs. 24-26.
- [46] Censorino, en cambio lo atribuye, aunque sin mucho fundamento, a Cleostrato (- VI); lo que sí parece seguro es que desde el -528 hasta el -503 se usó con regularidad en Babilonia. Véase Van der Waerden [1974a], págs. 38-40.
- [47] Tomando como valor redondeado de este mes, 29 1/2 y del año solar de 365 1/4. Para una discusión de los distintos valores de los meses y años que presenta Gémino y el origen de su determinación véase Neugebauer [1975], págs. 384, 385, 483 y Pérez Sedeño [1986], págs. 30-33.

Esos tres meses se intercalarán en el tercer, sexto y octavo año. Es decir, ocho años solares suman 2922^d

$$(b) 8^a = 8 \times 365 \frac{1}{4} = 2922^d$$

y ocho años de 12 meses sinódicos más los ocho *epacta* suman el mismo número de días

$$(c) 8^a = 8 \times (29 \frac{1}{2} \times 12) = 2832 + 90 = 2922^d$$

Pero, como sabemos, el mes sinódico no dura $29 \frac{1}{2}$, por lo que no es de extrañar que, a la larga año solar y lunar se desacompararan. El propio Gémino da en la *Isagogé* un valor más preciso del mes sinódico, $29 \frac{35}{66}^d$, siguiendo el cual obtenemos las siguientes relaciones:

$$(d) 8^a = 99^m = (99 \times 29 \frac{35}{66}) = 2923 \frac{1}{2}^d$$

Entre (c) y (d) hay un día y medio de diferencia, es decir, en ocho años habrá ese tiempo de error acumulado que serán tres días cuando pase el siguiente octaétero. Además, si nos atenemos al valor redondeado de $29 \frac{1}{2}$ para el mes sinódico, en 99 meses no hay 2.922 días sino $2.920 \frac{1}{2}^d$

$$(e) 99 \times 29 \frac{1}{2} = 2920 \frac{1}{2}^d$$

con lo que obtenemos un nuevo desacuerdo.

Ahora bien, el calendario civil griego constaba de 12 meses; naturalmente dichos meses no podían contener fracciones de días, por lo que, siguiendo una práctica semejante a la actual, en el calendario había meses **vacíos** de veintinueve días y meses **llenos**, de treinta días. En ocho años había 48 meses llenos y 48 vacíos, más los tres meses intercalares que eran a su vez llenos. En efecto,

$$(f) 48^m \times 29^d = 1392^d$$

$$48^m \times 30^d = 1440^d$$

$$8^a = 1392^d + 1440^d + 90 = 2.832 + 90 = 2922^d$$

Pero aquí vuelve a haber una diferencia de día y medio con respecto a (d), por lo que, en un período de dieciséis años habrá que convertir tres meses vacíos en llenos:

$$(g) (48 \times 2)^m \times 30^d = 2880^d$$

$48^m \times 29^d = 1392^d$ (en los meses vacíos de un octaétero normal)

$45 \times 29 = 1.305^d$ (descontando los tres meses vacíos que hemos de convertir en llenos)

Así obtenemos

$2.880 + 1.392 + 1.305 = 5.577^d$ que hay en dos octaéteros. Pero a ellos hay que sumarles los 90 días de los tres meses vacíos que convertimos en llenos y los 180 días que suman los seis meses que hay que intercalar en ellos :

$$(h) 5.577 + 180 + 90 = 5.847^d,$$

que es el número de días que tienen dos, según (d),

$$(i) 2.923 \frac{1}{2} \times 2 = 5.847^d$$

pero no según (b) y (c)

$$(j) 2.922 \times 2 = 5.844^d$$

ni según (e)

$$(k) 2.920 \frac{1}{2} \times 2 = 5.841^d$$

Estos errores acumulados obligarían a suprimir uno de los meses intercalares al cabo de 160 años⁴⁸.

Como se puede ver establecer un ciclo intercalar no era tarea fácil y los griegos se empeñaron en hallar el más preciso.

[48] Hay que señalar, que según se adopte (b), (c), (d) o (e), la duración del año solar es distinta (Pérez Sedeño [1986], págs. 32-33).

Seguramente la discrepancia observada entre los cálculos realizados por medio del octaétero y los valores del mes y el año medidos de hecho llevaron a buscar un nuevo patrón intercalar que encajara mejor con las observaciones, el ciclo de diecinueve años. Aunque Gémino atribuye este ciclo a la escuela de Euctemón, Filipino y Calipo, lo cierto es que ha pasado a la historia como ciclo metónico⁴⁹. En diecinueve años hay 228 meses, más siete meses intercalares, lo cual suma un total de 6.940 días. Eso quiere decir, que este ciclo establece la armonía lunisolar de la siguiente manera:

$$(l) 19^a = 19 \times 12 = 228 + 7 = 235^m$$

De ese número de meses, 125 son llenos y 110 vacíos, aunque no se siguen alternativamente:

$$(m) (110 \times 29) + (125 \times 30) = 3.190 + 3.750 = 6.940^d$$

Los meses intercalares se introducían el segundo, quinto, octavo, décimo, decimotercero, decimosexto y decimooctavo del ciclo, de manera que el año comenzaba siempre tras el equinoccio de primavera⁵⁰. Pero este ciclo, que funcionaba estupendamente con respecto al número de meses y la distribución de los intercalares, planteaba problemas con relación a la duración del año solar, que ya se creía era de $365 \frac{5}{19}^d$, tras mediciones precisas:

$$(n) 6.940 : 19 = 365,26316 = 365 \frac{5}{19}^d$$

mientras que

$$(ñ) 19 \times 365 \frac{1}{4} = 6.939 \frac{3}{4}^d$$

$\frac{1}{4}$ de día menos de lo indicado en (c).

[49] En diversas fuentes se considera que Melón (-430) fue el primer astrónomo de la tradición parapegmata. Ptolomeo lo cita profusamente en el *Almagesto* junto con Euctemón, aunque Gémino lo ignora en la *Isagóge*. Pérez Sedeño [1986] págs 34-5.

[50] *Isagóge*, cap. 8, 50-55; Van der Waerden [1960] [1984].

Fue ese desacuerdo lo que condujo al establecimiento del **ciclo calípico**, o ciclo de setenta y seis años en el que se intercalan 28 meses. Según este ciclo, y adoptando el valor para el año de (n), tenemos que

(o) $76^a = 365 \frac{5}{19} \times 76 = 27.760$, mientras que se adoptó un ciclo

calípico de 27.760^d que viene dado por lo siguiente:

(p) $76^a = 365 \frac{1}{4} \times 76 = 27.559$

¿Por qué? Seguramente porque este valor del año solar se aproxima más al real y porque de él se deriva un valor más preciso para el mes sinódico.

La sistematización y precisión de las observaciones llevaron a Hiparco a establecer otro ciclo de 304 años, con un total de 3.760 meses, de los cuales 112 eran intercalares. Pero, por lo que sabemos, estos no fueron los únicos intentos. Tenemos noticias del ciclo de Filolao, de 59 años, con un total de 729^{51} meses, de los cuales 21 eran intercalares. También se le atribuye un ciclo semejante, de 59 años, pero con 22 meses intercalares a Oinopides; otro de 82 años, con 28 intercalaciones a Demócrito y un ciclo de 2.484 años, o período cósmico, a Aristarco, transcurrido el cual todos los planetas volverían a la misma posición.

Las observaciones realizadas para establecer estos ciclos y calendarios abarcan desde los comienzos mismos de la astronomía hasta el propio Ptolomeo y fueron acompañadas de descubrimientos y cuantificaciones de otros fenómenos: la oblicuidad de la eclíptica, la desigualdad de las estaciones, la precesión de los equinoccios, etc. siendo notoria la ausencia casi

[51] Neugebauer [1975], pág. 619, ha señalado del carácter numerológico asociado al valor redondeado del mes sinódico de este ciclo: el número 729 está asociado al Sol, es el cuadrado de 27, el número de la Luna, y el cubo de 9, el número de la Tierra.

total de cuestiones relacionadas con los planetas durante los siglos -VI y -V⁵². A la vez, los filósofos griegos desarrollaron una cosmología especulativa en la que las preguntas sobre la estructura y naturaleza del universo apelaban a causas naturales y no míticas. Pero faltaba alguien que fuera capaz de unir observación astronómica y cosmología especulativa, quien fuera capaz de elaborar una teoría a partir de esos hechos y datos observacionales que estaban prestos a ser organizados, sistematizados y explicados. El modelo teórico capaz de hacerlo no iba a tardar en darse de la mano de Eudoxo.

3. El sistema de Eudoxo de Cnido

Constituye un lugar común de la historia de la astronomía tanto el atribuir a Platón la responsabilidad de formular la pregunta que dio lugar a la investigación astronómica de los veinte siglos posteriores, a saber, cuales son los movimientos ordenados y uniformes que dan cuenta de los movimientos aparentes de los planetas⁵³, como el afirmar que fue Eudoxo quien dio la primera respuesta o la más ingeniosa.

Es poca la noticia biográfica que tenemos de Eudoxo. Las fuentes nos hablan de su fama como geómetra - se le atribuye la teoría de las proporciones del libro V de *Los Elementos* de

[52] Lo que escandalizó a Platón, quien consideraba que ese carácter práctico de la astronomía no dignificaba la disciplina.

[53] Por ejemplo, P. Duhem, *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, S. Toulmin & J. Goodfield, *La trama de los cielos*, Heath [1913], Lloyd, [1970], Kuhn [1957], etc. Sin embargo, recientemente se ha puesto en cuestión esa idea (véase Pérez Sedeño [1986], págs. 58-61, especialmente n.7).



Euclides - geógrafo, legislador y filósofo; de sus viajes a Egipto y de las supuestas discusiones con Platón que habrían contribuido a que Aristóteles rechazara algunas de las doctrinas del director de la Academia. Sabemos que escribió dos obras de carácter astronómico-cosmológico, *Los fenómenos* y *El espejo*, pero que fue en *Sobre las velocidades* donde expuso su teoría homocéntrica. Sin embargo, lo que nos quedan son unos cuantos fragmentos sobre Eudoxo (Lasserre [1966]), indicaciones en el *Comentario al Poema de Arato* y *Los fenómenos de Eudoxo*, de Hiparco, la *Didascalia celeste* de Leptino, también denominado *Papiro de Eudoxo* o *Ars Eudoxi* y, sobre todo, las descripciones del modelo de las esferas que hiciera Aristóteles en su *Metafísica* y Simplicio en su *Comentario al 'De Caelo'*.

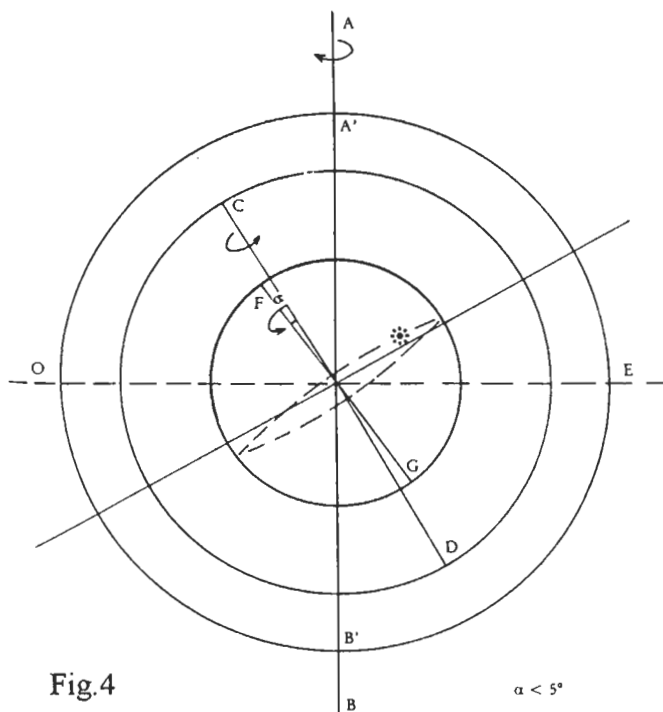
A la hora de intentar ofrecer un enfoque coherente y comprensivo de la teoría de las esferas homocéntricas de Eudoxo (veintisiete en total) es conveniente tener siempre en cuenta dos cuestiones: a) el tipo de problemas o hechos de que pretendía dar cuenta, y b) los principios fundamentales en los que se basaba. Los primeros son esas cuestiones que hemos ido mencionando a lo largo de esta exposición. Los segundos son principios extraastronómicos y consisten en lo siguiente: en primer lugar, los movimientos de **todos** los astros han de explicarse mediante construcciones que utilicen el mismo tipo de movimientos, a saber, el circular y uniforme; en segundo, esas construcciones han de ser lo más simple posible.

Los fenómenos estelares quedan perfectamente explicados acudiendo a la esfericidad y rotación circular de los cielos y la posición central e inmóvil de la Tierra, también esférica, dentro de los cielos: por ejemplo, si los polos se movieran hacia arriba o hacia abajo, las Osas desaparecería, y si lo hicieran hacia el este o hacia el oeste, las estrellas no aparecerían por los mismos puntos de la Tierra⁵⁴. Si la Tierra está en el centro de ese universo

[54] *Ars Eudoxi*, #21.

esférico, nada mejor que hacerla también centro de los movimientos de los otros astros. Pero éstos tienen unos movimientos más complejos, por lo que Eudoxo tuvo que idear un artilugio más complejo que diera cuenta de ellos.

El modelo ideado para la Luna está dentro de la esfera de las fijas y concéntrico a la Tierra. Consta de tres esferas, cada una dentro de la otra que giran sobre sus ejes. Estas rotaciones, su velocidad y sentido son las que permiten explicar los movimientos lunares. La esfera externa se mueve alrededor de su eje AB, el mismo que el de la esfera de las fijas, de este a oeste, explicando así el movimiento diurno de la luna. La segunda esfera, tiene un eje, CD, perpendicular al plano de la eclíptica (en la figura XY) y gira de oeste a este, tardando en completar una revolución un mes. La tercera esfera, interna a las anteriores, se mueve en el mismo sentido que la de las fijas sobre su eje FG, inclinado con respecto al eje de la esfera media 5° y en su ecuador transporta la Luna. Esa desviación de 5° da cuenta de la oscilación latitudinal y explica que la Luna "no siempre alcanza sus posiciones extremas al norte y al sur de la eclíptica en los mismos puntos del zodiaco, sino que esos puntos se desplazan continuamente en dirección contraria a la progresión de los signos... ya que la retrogradación ... es muy pequeña, se supone que el movimiento de esta esfera hacia el oeste es lento"⁵⁵.



[55] Simplicio, op. cit., H495. Sobre las diversas interpretaciones de los movimientos de

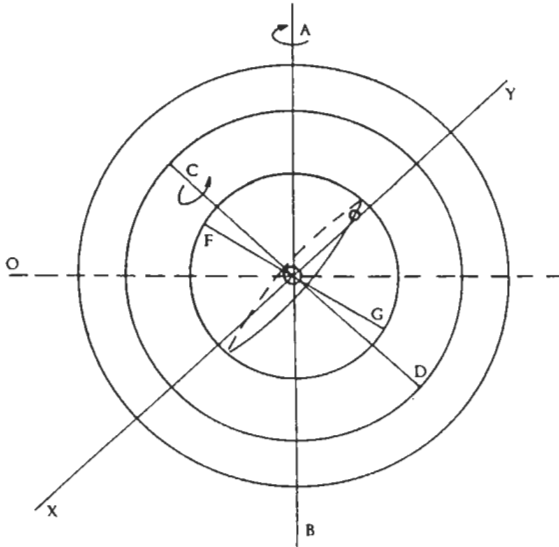


fig.5

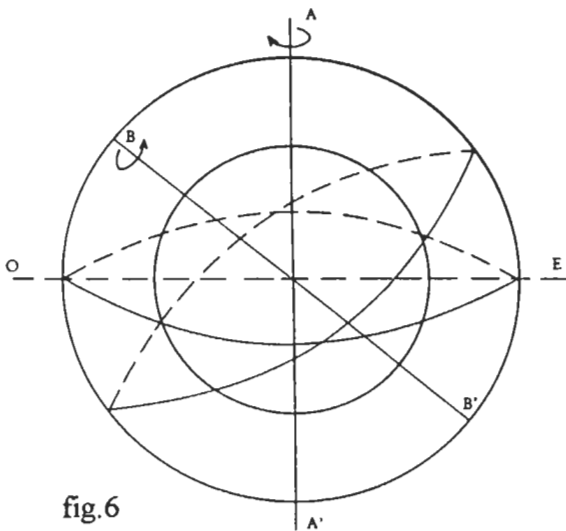


fig.6

Eudoxo también postulaba tres esferas para explicar los movimientos del Sol. La más externa también tiene el mismo eje que la de las fijas, AB, y rota en la misma dirección; explica el movimiento solar diario. La segunda esfera gira alrededor de su eje CD en sentido oeste-este en un año, lo que explica que el Sol se retrase un grado diario con respecto a las fijas; dicho eje está inclinado 24° con respecto al eje de la externa, lo que explica el movimiento del Sol en el zodiaco. La tercera esfera, la interna, se mueve en el mismo sentido que la esfera media, alrededor de su eje, FG, ligeramente inclinado con respecto al eje de la anterior, y como el Sol es transportado en el ecuador de esa esfera, eso daría como resultado que el astro se encontrara unas veces al norte y otras al sur de la eclíptica.

El problema que debía enfrentar Eudoxo a la hora de dar cuenta de los movimientos de los planetas era mayor y la solución necesitó de mayor ingenio. Aunque es de suponer que las observaciones de dichos movimientos eran menores y menos sistemáticas que las del Sol y la Luna (de hecho lo eran también en tiempos de Ptolomeo), los movimientos retrógrados y puntos etacionarios suponían una enorme

estas esferas, véase Pérez Sedeño [1986], págs. 76-84

variación con respecto a las luminarias y las fijas que había que intentar explicar. Para ello, Eudoxo ideó cuatro esferas. La primera y más externa, rota en un día, de este a oeste, alrededor de un eje, AA', que es el mismo que el de la esfera de las fijas; dicha esfera es responsable de los ortos y ocasos diarios de los planetas. La segunda esfera, se mueve alrededor de un eje, BB', perpendicular a la eclíptica y su rotación equivale al período sidéreo de cada planeta (un año para Mercurio y Venus, dos para Marte, doce Júpiter y treinta Saturno⁵⁶ Mercurio = 2^m 8^d; Venus = 7^m 3^d; Marte = 22^m 5^d; Júpiter = 11^a 10^m; Saturno = 29^a 5^m). La velocidad de esta esfera, responsable del camino zodiacal del planeta, es regular. Pero falta explicar los movimientos latitudinales, puntos estacionarios y movimientos retrógrados. Para ello, Eudoxo recurre a otras dos esferas. (Fig. 7). La tercera esfera se mueve alrededor de un eje, CC', fijo a la eclíptica (esto es, el ecuador de BB'); el período de revolución, en sentido este oeste, es diferente para cada planeta, pues equivale al tiempo que hay entre dos oposiciones o conjunciones, esto es su período sinódico. La cuarta esfera tiene el eje, DD', ligeramente desviado con respecto al eje de la anterior y esa desviación, diferente para cada planeta, da cuenta de la desviación latitudinal con respecto a la eclíptica, de cada planeta; tarda el mismo tiempo en completar una

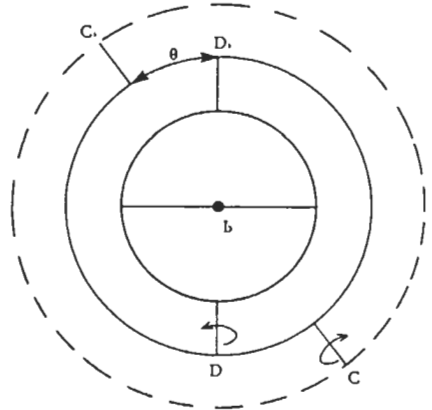


Fig.7

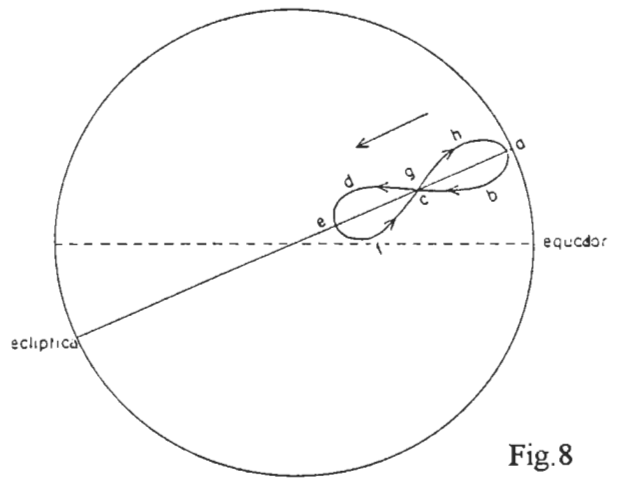


Fig.8

[56] Simplicio. Los valores reales aproximados son: Mercurio = 2^m 8^d; Venus = 7^m 3^d; Marte = 22^m 5^d; Júpiter = 11^a 10^m; Saturno = 29^a 5^m



revolución que la tercera esfera, pero su movimiento es contrario al de la anterior y en su ecuador transporta el planeta. La figura resultante de los movimientos combinados de la tercera y cuarta esferas es la famosa *hipopede o lemniscata esférica*, cuyo eje longitudinal discurre a lo largo de la eclíptica.⁵⁷ (Fig. 8).

Los modelos de los planetas planteaban serios problemas. En primer lugar, y aunque se puede combinar un movimiento de traslación del centro de la *hipopede a lo largo de la eclíptica* con el movimiento del planeta *en la hipopede* que se produce en la cuarta esfera, de manera que se asemeje al camino seguido por el planeta, hay una seria discrepancia con los movimientos observados. Pues según la construcción de Eudoxo, los rizados o figuras dibujadas por los planetas a lo largo de la eclíptica, se repetirán periódicamente, los arcos retrógrados serán idénticos para cada planeta y se producirán siempre en los mismos puntos en cada ciclo. Pero, y ese es otro problema adicional que afecta al fundamento mismo del modelo de Eudoxo, no se puede explicar la variedad de brillo de los planetas ni el cambio de diámetro aparente de la Luna. Y dejaba sin resolver otras cuestiones como, por ejemplo, la desigualdad de las estaciones o la anomalía latitudinal lunar.

Nadie puede negar la importancia de Eudoxo en la historia de la astronomía. Es cierto, que su teoría no constituye un modelo global de funcionamiento del universo, pues sus sistemas se presentan por separado, sin conectarlos unos con otros. Aún así, pretender explicar los movimientos **irregulares** de cada cuerpo mediante las rotaciones **regulares** de tres o cuatro esferas no deja de ser un admirable e ingenioso ejercicio geométrico. Además, por vez primera se formula una teoría susceptible de explicar de forma sencilla los fenómenos lunares y solares que habían sido objeto de observaciones cuidadosas con vistas a la elaboración de

[57] Para más detalles sobre estos modelos de Eudoxo, véase Dicks [1970], págs. 180-88, Neugebauer [1975], págs. 675-80 y Pérez Sedeño [1986], págs. 93-114.

calendarios y que antes se presentaban de forma inconexa. Bien es cierto que Eudoxo no ofrecía soluciones cuantitativas, sino cualitativas o plausibles. Aunque sus resultados no fueran perfectos, efectuó una síntesis del corpus observacional práctico y las especulaciones filosófico-cosmológicas. Fue el primero en presentar una astronomía en la que la matemática era usada como soporte y estructura, como espina dorsal: en ella se intentaba establecer, por vez primera, una relación entre los hechos observados y una parte de la matemática, se pretendía mostrar cómo debía ser la estructura geométrica del universo. Que los resultados obtenidos no fueran perfectos, carece de importancia, porque las teorías que no tienen éxito también forman parte de la historia de la ciencia y contribuyen positivamente a ella.

Resulta casi tan difícil averiguar el camino seguido por la astronomía tras Eudoxo, como el anterior. La elaboración y difusión del *Almagesto*, obra cumbre de la astronomía griega, tuvo un efecto sumamente pernicioso para los historiadores de la ciencia antigua. Con la excepción de Aristóteles, poco sabemos de Heráclides, Aristarco, o Hiparco. Sin embargo, el tratado de Ptolomeo también tuvo una consecuencia provechosa; en efecto, la *Sintaxis* es un tratado tan completo y abarcador que permite aprender mucho del estado de la astronomía en su época; si a eso le unimos las referencias históricas que aparecen en el *Almagesto*, más las que disponemos de otras fuentes, podremos esbozar una breve historia de la astronomía de ese período.

Lo primero que hay que reseñar son los cambios realizados al modelo de Eudoxo. Desde el principio había recibido críticas que se basaban en su ineficacia para dar cuenta de ciertos hechos. Así, Polemarco de Cízico, discípulo de Eudoxo observó las variaciones del diámetro aparente del Sol y la Luna. Autólico (hacia -310), autor de dos tratados, *Sobre las esferas que rotan y Sobre los ortos y ocasos*, objetaba la incapacidad del modelo de las esferas homocéntricas para dar cuenta de las variaciones del brillo de los planetas.

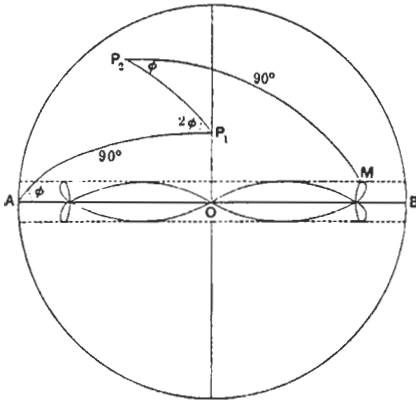


Fig.9

Pero ya antes, Calipo (-370 al -300), discípulo de Polemarco, había intentado mejorar el modelo de las esferas homocéntricas. Para ello, aumentó el número de esferas necesarias para cada uno de los cuerpos celestes. Según él eran necesarias dos más para la Luna y el Sol, lo que seguramente permitía explicar el movimiento latitudinal de la Luna y su anomalía y la desigualdad de las estaciones que probablemente había observado. En el *Ars Eudoxi*, par. 55, se dice que Calipo sostenía que el verano duraba 92 días, 89 el otoño, 90 el invierno y 94 la primavera; Gémino, en cambio, afirma que la duración

estimada por Calipo era de 92, 89, 89 y 95 respectivamente. Estas duraciones difieren de las estimadas por Metón y Euctemón, lo que sugiere que, probablemente, fueron esas observaciones las que le obligaron a modificar el modelo solar. La reforma de Calipo también afectaba a Mercurio, Venus y Marte, añadiendo una esfera a cada uno de los sistemas, obteniéndose una *hipopede* algo más complicada. El número total de esferas postulado por Calipo era de treinta y tres, más la de las fijas.

A los intentos de Calipo hay que añadir los de Aristóteles. El sistema aristotélico posee dos características que lo hacen muy especial: si en los sistemas de Eudoxo y Calipo los modelos de cada planeta son independientes entre sí, Aristóteles ofrece **por vez primera en la historia de la ciencia occidental** un único sistema, global, para todo el universo. Pero, además, las esferas geométricas ya no son construcciones matemáticas sin más, sino que Aristóteles les confiere entidad física: son esferas de éter que llenan el dominio supralunar, es decir, el espacio celeste que va desde la esfera más cercana al mundo sublunar de corrupción y generación, hasta la más lejana de las fijas:

Es necesario, si todas las esferas combinadas han de explicar los hechos observados que para cada uno de los planetas haya otras esferas... que contrarresten aquellas ya mencionadas y

devuelvan a la misma posición la esfera exterior de la estrella que en cada caso esté situada por debajo de la estrella en cuestión, pues sólo así pueden todas las fuerzas en funcionamiento producir el movimiento observado de los planetas. Ya que, entonces, las esferas implicadas en el movimiento de los propios planetas son ocho para Saturno y Júpiter y veinticinco para los demás⁵⁸, y de éstas sólo las esferas implicadas en el movimiento del planeta situado más abajo⁵⁹ no necesitan ser contrarrestadas; las esferas que contrarresten las de los dos primeros astros serán seis, y dieciséis las que contrarresten las de los otros cuatro planetas; por ello el número de esferas - contando las de movimiento directo y las de movimiento inverso - será de cincuenta y cinco.⁶⁰

No hay vacío, y las esferas están en contacto unas con otras. Cada esfera tiene un diámetro diferente, de tal modo que la primera esfera del sistema de Saturno está en contacto con la de las fijas y la cuarta, con la primera esfera del sistema de Júpiter y así sucesivamente. La esfera de las fijas, al moverse diariamente, mueve la esfera externa del sistema de Saturno; y como cada conjunto de esferas apoya sus ejes en el conjunto anterior, cada planeta tendrá añadidos a los movimientos propios de sus esferas, los de las precedentes. Para evitar esos movimientos indeseados Aristóteles postula las contra-esferas, en un número de $n-1$ (siendo n el número de esferas calípicas) y sin que el sistema de esferas de la luna necesite contraesferas, pues no tiene ningún conjunto de

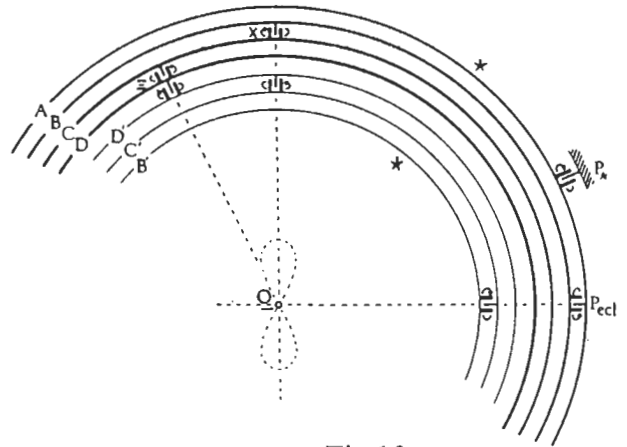


Fig.10

[58] Sigue, pues, el modelo reformado de Calipo.

[59] Es decir, la Luna

[60] Metafísica. . 1074a. 1-12.



esferas bajo ella. Así, el número total de esferas en el sistema aristotélico será de 55 más la esfera de las fijas.

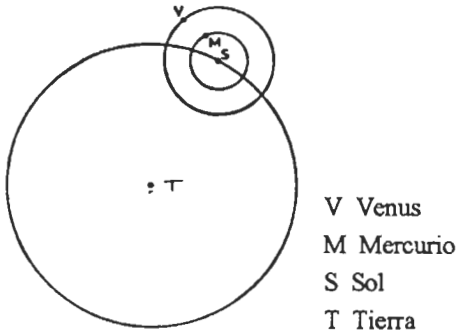


Fig.11

La reelaboración aristotélica tampoco tuvo éxito. Y otro discípulo de Platón intentó una concepción absolutamente nueva y original del universo. Heráclides de Ponto (-388 al -315), sostenía que la aparente rotación diaria de los cuerpos celestes se debe a la rotación de la Tierra sobre su propio eje y que Venus y Mercurio giran alrededor del Sol⁶¹. Sin embargo, el esquema general de la concepción aristotélica del universo ejerció un gran influjo y se mantuvo dominante durante muchos siglos. Además, sus ideas

generales sobre la ciencia impregnaron el quehacer de los astrónomos: si sólo se llega a la ciencia a través de los sentidos, para conseguir una buena teoría astronómica habría que hacer más y mejores observaciones de todos los fenómenos celestes. Así, los astrónomos se emplearon en idear o perfeccionar los instrumentos astronómicos para poder efectuar observaciones y mediciones sumamente cuidadosas, preparando así, el camino para elaborar la gran geometría de los cielos, que reinaría en occidente durante catorce siglos, la teoría ptolemaica.

Bibliografía

Cohen M. R. y Drabkin I. E. [1948]: *A Source Book in Greek Science*. Harvard University Press (5ª reimp. 1975)

Diels-Kranz: *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 3 vol., Berlín, Weidmann, 1934-7.

[61] Simplicio. II. 7. 289b; II. 13.293b; Aecio. III. 13.3; Vitrubio. De architectura. IX. I (4). 6;etc.

Dicks, [1970]: *Early Grek Astronomy to Aristotle*, Londres, Thames & Hudson.

Gémino, *Isagogé*, ed. K. Manitius *Elementa astronomiae*, Leipzig, Teubner, 1898. Existe una edición francesa por G. Aujac, París Le Belle Letre y una traducción parcial en Heath [1932].

Hanson, N.R. [1973]: *Constelaciones y conjeturas*. Madrid, Alianza, 1978.

Heath, T. [1913]: *Aristarchus of Samos, The Ancient Copernicus*, Oxford, Clarendon Press. Nueva York, Dover Pub., 1981.

[1932] *Greek Astronomy*, Londres. Nueva York, AMS, 1969.

Kirk, G. S. & Raven, J.E. [1960]: *The Pre-Socratic Philosophers*, Cambridge Univ. Press.

Kuhn, T. [1957]: *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel.

Lasserre, F. [1966]: *Die Fragmente des Eudoxos von Knido*, Berlín, De Gruyter.

Lloyd, G.E.R. [1970]: *Early Greek Science: Thales to Aristotle*. Londres, Chatto & Windus.

[1973]: *Greek Science after Aristotle*. Londres, Chatto & Windus.

[1979]: *Magic, Reason and Experience. Studies in the origins and development of Greek Science*, Cambridge Univ. Press. Reimp. en 1984.

Neugebauer, O. [1972] : "Planetary Motions in Papyrus Michigan 149", *Bulletin of American Society of Papyrologists*, 9, págs. 19-22.

[1975]: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 vols., Berlín-Nueva York, Springer-Verlag. [1983] *Astronomy and History. Selected Essays*. Nueva York-Berlín, Springer-Verlag.

Pedersen, O. [1974] *A Survey of the Almagest*, Odense Univ. Press.

Pedersen, O. & Phil, M. [1974]: *Early Physics and Astronomy*, MacDohal & Janes/ Nueva York, American Elsevier.

Pérez Sedeño, E.: [1985]: "Las observaciones de Hiparco referentes a los calendarios en *El Almagesto*", *Contextos*, III/6, págs. 151-62.

[1986] *El rumor de las estrellas*, Madrid, Siglo XXI.

[1986a] "Las observaciones calendáricas de Claudio Ptolomeo", *Arbor*, CXXIV, nº 486, págs. 79-88.

[1987] "Introducción" a *Las hipótesis de los planetas* de Ptolomeo.

Ptolomeo: *Claudii Ptolemaei opera quae extant omnia*, 4 vol. Leipzig, Teubner.

Ptolemy's Almagest, versión en inglés realizada por G.J. Toomer. Londres, Duckworth, 1984.

Las hipótesis de los planetas. Trad. del Libro I, parte I, del griego por J. García Blanco y del Libro I, parte II y Libro II, en árabe, por Aurora Cano Ledesma. Introducción y notas E. Pérez Sedeño. Alianza Universidad, 1987.

Van der Waerden, B.L. [1974]: "The earliest form of epicycle theory", *Journal for the History of Astronomy*, 5, págs. 175-85.

[1974a]: *Science Awakening. II The birth of astronomy*, Noordhoff International Pub./Oxford University Press.

[1982]: "The motions of Venus, Mercury and the Sun in Early Greek Astronomy", *Archives for the History of Exact Sciences*, vol. 26, págs. 99-113.

[1984]: "Greek astronomical calendars" *Archives for the History of astronomy*, vol. 28, págs. 101-130.