

Anaximandro: Astronomía

Sonsoles Alonso Bernal

Universidad de Salamanca

Reception date / Fecha de recepción: 27-05-2009

Acceptation date / Fecha de aceptación: 22-06-2009

Abstract. *Anaximander: Astronomy.*

Anaximander successfully speculated about the origin of the cosmos: an initial explosion which condensed fragments form the stars. He also worked as an empirical astronomer who observed with a helioscope the Sun's gaseous surface and its protuberances. He observed Solar and Lunar spectrums of light, probably working with certain set of pinhole cameras that he could optimize with fitted mirrors.

Key words: Anaximander, astronomy, origin, cosmos, stars.

Resumen

Anaximandro especuló acertadamente sobre el origen del cosmos: describe una explosión inicial cuyos fragmentos se condensaron formando los astros; además, observó la atmósfera gaseosa del Sol y las protuberancias solares, para lo cual, debió servirse de proyecciones de la luz del Sol y la Luna mediante una cámara oscura que pudo perfeccionar mediante acoplamiento de espejos.

Palabras clave: Anaximandro, astronomía, origen, cosmos, estrellas.

Ilimitados cosmos

Anaximandro dice que el principio básico(Arkhé) no es ni agua ni ningún otro de los llamados elementos(Stoikheion), sino otra naturaleza infinita(Physin Apeiron), de la que todos los cielos (Ouranós) proceden, y los infinitos cosmos(Kosmous Apeironas) que hay en ellos.”
Simplicio, *Fis.* 24.168(DK12A9).

Los presocráticos posteriores a Anaximandro hipotizaron frecuentemente acerca de la existencia de otros mundos, incluso habitados; (Cornford , 1934, p.11). Pensar en otros universos se convierte en una convención del género “Physiká” inaugurado por Anaximandro: *fue el primero de los griegos que conocemos que se atrevió a publicar un tratado en prosa sobre la naturaleza*” Temistio, *Orat.* 36 p. 317(DK12A7).

Pues los que supusieron que los mundos eran infinitos en número,- como los seguidores de Anaximandro, Leucipo y Demócrito y, después de ellos, los de Epicuro-, supusieron que nacían y perecían durante un tiempo infinito, naciendo siempre unos y pereciendo otros; y afirmaban que el movimiento era eterno.

Simplicio, *Fis.* 1121, 5(DK12A17)

Este Cosmos

Anaximandro afirma que, en el origen de este cosmos, de lo eterno(*Aídion*) se diferenció(*Apokrinomai*) algo(*Ti*) susceptible de generar(*Gonimon*) frío y calor; y que un globo(*Sphaira*) ígneo envolvió el espacio gaseoso(*Aér*) que rodea la Tierra como la corteza al árbol. Al explotar(*Aporrégnymi*) y aglomerarse(*Apokleinomai*) en una especie(*Ti*) de círculos(*Kyklos*), se preformaron(*Yphistemi*) el Sol, la Luna y las estrellas.

Ps. Plutarco, *Strom*, 2 (DK12A10)

Su descripción del origen de este cosmos ofrece un desarrollo paralelo al ofrecido por la cosmología actual: A partir de un continuo temporal, una escisión que ocasiona una desorganización térmica; la explosión de un globo a gran temperatura en torno a la Tierra, y la formación de los cuerpos celestes por aglomeración de los restos de la explosión.

Algunos dicen que el mar es un resto de la humedad primitiva(*Hygrón proton*). Como es húmedo el espacio(*Topos*) que rodea la Tierra, y en un momento posterior, parte de la humedad se evaporó por el Sol y surgieron los vientos(*Anémous*)), y las revoluciones(*Tropé*) del Sol y la Luna, que a causa de las evaporaciones(*Atmos*) y exhalaciones(*Anathumiasis*) precisamente, aquellos efectúan sus revoluciones, ahí se les confiere la dirección de su baile circular(*Khoregía*): dando vueltas(*Trepómenon*) en pos de ellas.

Alejandro Afrodisia, *Comentario a la Meteorología de Aristóteles* 353 b 6 (DK12A27)

De la humedad primitiva(*Hygrón proton*) surgieron los vientos(*Anemos*) y las revoluciones(*Tropé*) del Sol y la Luna: los astros giran por esos vapores y exhalaciones. Giran por donde se aprovisionan de humedad (...)En un principio, todo el espacio en torno a la Tierra era húmedo, pero al ir secándose por el Sol, se dice que la parte

evaporada ocasionó vientos y los cambios de posición (Tropé) de Sol y Luna. La parte restante es el mar. Por ello creen que el mar disminuye: se seca progresivamente, y un día se secará del todo.

Aristóteles, Meteorología, 353 b 6 -11 (DK11A17)

La explosión bombardeó la Tierra, extrajo gases de su interior, y provocó una atmósfera con una temperatura muy elevada: *un globo (Sphaira) ígneo envió el espacio gaseoso (Aér) que rodea la Tierra como la corteza al árbol*. Al enfriarse, quedó una atmósfera húmeda (*Hygrón Proton*) en la que gases como hidrógeno y oxígeno se condensaron en forma de lluvia que formó el mar. En las primeras etapas de formación del planeta, aún no se había formado el Agua (Jakosky, 1999, p. 45 ss), lo que había era justamente esa “humedad primitiva” (*Hygrón proton*) que refiere Anaximandro: “*Lo que quedó de la humedad originaria en concavidades del interior de la Tierra es el mar(..)*” Teofrast. *Phys.* fr. 23 Diels

La consumpción del mar

Lo que quedó de la humedad originaria en concavidades del interior de la Tierra es el mar; por el Sol, secándose, disminuye progresivamente y desaparecerá Teofrast.

Phys. fr. 23 Diels

Anaximandro predice la evolución de las masas de agua: la existencia del mar depende de la actividad solar. Hoy se sabe que los océanos se han evaporado completamente varias veces, y que una actividad solar anómala -como la que predice la NASA- causaría un nuevo desecamiento.

Revoluciones de los astros

Las evaporaciones gaseosas, por las diferencias de temperatura, se convierten en vientos extraordinariamente dinámicos, una corriente convectiva que se eleva y provoca las revoluciones de los astros. Hay una envoltura gaseosa alrededor del Sol, como dijo Anaximandro: “*Los astros son acumulaciones de gas*” Aecio. II, 13, 7 (DK12A18) y los vientos solares son una expresión del magnetismo solar. Nuevas imágenes del Sol demuestran que su zona magnética es mucho más amplia de lo que se pensaba. El Sol lanza una cantidad enorme de radiación, que carga magnéticamente el espacio circundante y ocasiona procesos dinámicos en todo el sistema, incluido el movimiento de la Tierra y demás cuerpos celestes; tal y como precisó Anaximandro. Esta descripción de la atmósfera (*Aér*) no puede obedecer a otro origen que a observaciones muy detenidas por Anaximandro o la ciencia que le precedió. Para sugerir que el dinamismo del sistema celeste tiene su causa en la acción del Sol y hablar de vientos (*Anémos*) solares, tuvo que intuir las consecuencias del magnetismo

del Sol en la atmósfera a partir de fenómenos, por ejemplo, como las auroras boreales o el comportamiento de las colas de los cometas, que presentan una deformación en su cola desviada como si fuese empujada por un viento que las zarandea.

La revolución de los astros para el observador más simple de la esfera celeste muestra todos los astros en la misma y única esfera. El movimiento aparente de la esfera celeste en el transcurso de un día permite ver a los astros dar una vuelta alrededor del eje de la Tierra -en dirección Este-Sur-Oeste mirando hacia el sur, o bien en sentido Este-Norte-Oeste mirando hacia el norte- al observador situado en el plano del horizonte.

Una única esfera celeste

El modelo de Anaximandro coincide con la observación que un astrónomo diletante puede hacer de la bóveda: ve proyectados todos los astros a igual distancia de la Tierra y en el mismo plano de la esfera celeste. Hay un punto conspicuo de esta esfera: el cenit, el punto más alto, donde está el Sol : *en lo más alto*; y las estrellas están fijas en la antípoda de la esfera: *en lo más bajo*. La esfera gira en una única dirección, y va mostrando al observador, ora el Sol -de día-, ora la Luna y las estrellas -de noche-.

“(...)y en lo más alto está el Sol, en lo más bajo los círculos de las estrellas fijas” Hipólito, *Refutación* I, 6, 5 (DK12A11)

Los planetas

Hay una variante del texto anterior; se incluyen en ella los planetas:

el Sol está situado por encima de todo, después, la Luna; y debajo de ellos, las estrellas fijas y los planetas

Aecio, II, 15, 6

Guthrie dice que Anaximandro no distinguía aún planetas de estrellas (Guthrie, 1984, p. 100); basándose en el dato erudito de que los pitagóricos fueron los primeros en describir las órbitas planetarias. Pero debemos diferenciar entre las referencias históricas y la capacidad real de un astrónomo de contemplar los planetas a simple vista.

Mercurio y Venus se muestran al que mira sin instrumental de precisión, por lo que no es sorprendente que fuera conocidos por Anaximandro. Por sus características, un astrónomo no los confunde nunca con una estrella, pues cambian de posición día a día y no parpadean, al contrario que las estrellas.

El sol

Los astros son acumulaciones(Piléma) de gas(Aér) en forma de rueda, llenas de fuego, que, en algunas zonas, a través de pequeñas aperturas, expulsan llamas

Aecio. II, 13, 7 (DK12A18)

(...)Los astros son (Kýklos)cuerpos redondos, de fuego(Pyr), formados por separación del fuego cósmico, y rodeados circularmente(Peri.lambáno) por gas(Aér). Hay unas zonas de exhalación(Ekpnóé), una especie de aberturas(Ti Poros) con forma de tubo aflautado(Aulódes), por donde los astros emiten luz (...)

Hipólito, Refutación, I, 6, 4 (DK12 A11)

Hay una variante del texto en un manuscrito que dice, en vez de: una especie de aberturas en forma de tubo aflautado: *una especie de zonas gaseosas(Topos Aerodes)*

Una lectura desprejuiciada de los textos de los astros y del Sol haría concluir que Anaximandro observó la superficie del Sol, y que captó fenómenos como la envoltura gaseosa del Sol y las protuberancias solares -que, actualmente, son suficientemente conocidos; no así en las épocas en que la exégesis ha venido enfrentándose a los textos-.

Más difícil es saber cómo lo hizo. La envoltura gaseosa del Sol es visible a simple vista con un cristal ahumado al final de un eclipse total de Sol, porque la luz queda bloqueada y aparece un fino halo luminoso con clara apariencia gaseosa; las protuberancias sólo se verán si se dispone de un ingenio óptico, porque esas estructuras finas y alargadas como tubos de flauta sólo se distinguen de la enorme luminosidad de la atmósfera solar si enfocamos y aumentamos un punto del halo luminoso.

Sin embargo, cada cien años se hacen visibles sólo tres eclipses de este tipo, y cada uno es visible únicamente desde un punto concreto del mundo -no desde cualquier lugar. En el cielo de Jonia, en 70 años de vida de Anaximandro, hay pocas probabilidades de que contemplase uno. Al existir tablas de periodicidades de eclipses, heredadas de los babilonios, -aunque se desconocía la causa de los eclipses, el fenómeno se registró durante siglos y se conocía el período Saros- Anaximandro pudo hacer los preparativos para la observación del eclipse viajando a otro lugar, si bien tampoco hay muchas probabilidades de que fuese visible en un lugar cercano a Jonia. De todos modos, hubo de usar una proyección óptica de la imagen del Sol para distinguir la forma de las protuberancias.

Habiendo observado las protuberancias con tal nitidez, confiere a estas estructuras importancia suficiente como para que su eventual obstrucción constituya la causa que produce los eclipses de Sol (Aecio, 2, 24, 2) y Luna (Aecio, 2, 29, 1). En esa deducción no estuvo acertado, pero desde el punto de vista histórico resulta mucho más interesante la observación empírica de las estructuras que las especulaciones subjetivas derivadas de tal observación.

Núcleo, capa de gases y rotación solar

El Sol es un círculo(Kýklos) veintiocho veces mayor que la Tierra, semejante a la rueda de un carro que tiene el núcleo voluminoso(Koíle Apsis), lleno de fuego; que, en alguna zona, deja salir fuego por una boquilla, como un fogonazo(Prestér,) con forma de tubo de flauta(Aulodes)

Accio, II 20, 1 (DK12A21)

El Sol expulsa su luz igual que una rueda. Pues, igual que en la rueda, el núcleo es voluminoso(Koíle), y tiene desde ahí colocados los radios hacia la periferia externa de la banda. Igual que una rueda, el Sol, expulsando la luz desde el núcleo(Koíle), efectúa una proyección(Anatasis) de los rayos(Aktis) y, desde fuera, resultan luminosos circularmente. Otros, que desde el sitio voluminoso(Koílos Topos,) como por una flauta –también estrecha- expulsa la luz, como una fulguración(Prestér)

Aquiles Tacio, Introducción a Arato 19 (DK 12 A 21)

Para comprender lo que pretende comunicar Anaximandro, hemos de retrotraernos al punto que él y sus textos marcan: el más prístino comienzo de la literatura científica, carente de vocabulario preciso. Recurre, para ilustrar el funcionamiento especial de las dos capas que ha observado en el Sol, a una comparación con una rueda de carro. Según esta comparación, el Sol se asemeja a una rueda de carro, expulsa su luz radialmente desde el núcleo de la rueda; y proyecta los radios/rayos a lo largo de una extensión considerable –tanto como, en la comparación, la gran diferencia de tamaño entre el pequeño cubo y los largos radios. El núcleo expulsa la radiación y la proyecta largamente. Tras un lapso de tiempo colosal –que puede llegar a los 10 millones de años- empleado en atravesar la envoltura de gas, la radiación mana, resultando luminosa en la superficie: *desde fuera, resultan luminosos*. Anaximandro captó además el enorme tamaño de la envoltura gaseosa; dice que el cerco por donde exhala gas es enorme con respecto al Sol.

El Sol es del mismo tamaño que la Tierra, pero el cerco(Kýklos) por donde exhala gas(Ekpnoé) y que lo hace rotar(Peripheresthai) es veintisiete veces mayor que la Tierra.

Aec. II ,21, 1(DK11B21)

Se percató de que la capa de gas hace rotar al Sol. –movimiento de rotación del Sol, expresado con el verbo *Peripheresthai*, admitido por Colli (Colli, 1979, p.187)-. Efectivamente, el Sol efectúa movimiento rotatorio; pero lo que gira realmente es la capa externa: el globo de gases es lo que gira; –el núcleo se ignora si lo hace-.

Anaximandro pudo conocer la rotación del Sol a partir de la observación de manchas solares –la primera referencia escrita a las manchas solares es la de Teofrasto de Atenas, tres siglos después-. Las manchas solares situadas cerca de la línea del ecuador solar giran bastante más lentas que las que se encuentran cercanas a los polos, lo que permite conocer que el Sol rota como un gas, no como un cuerpo sólido; por eso gira más lento en su ecuador. Una medición del tiempo que tardan las manchas en recorrer la superficie visible permite saber que, en el ecuador, la rotación del círculo de gases se completa tras 25 días; en cambio, en los hemisferios dura 27 días. La técnica utilizada por Teofrasto se desconoce; lo mismo sucede con Anaximandro; sólo es postulable el método de proyección óptica.

Tamaño del sol

El círculo del Sol tiene un tamaño veintisiete veces mayor que el de la Tierra, y diecinueve veces mayor que el de la Luna (...)

Hipólito, Haer. I6, 3-5 (DK 12^a 11)

El estudio de sombras con el gnomon aporta la evidencia de que los rayos solares llegan paralelos, ello indica que la fuente de luz es mucho mayor que la Tierra y está muy lejana.

Tierra

Anaximandro sabía que la Tierra era esférica, según Laercio: “*Dijo que la Tierra ocupa una posición central y es esférica*” D. Laercio, 2, 1-2 (DK12A1).

Anaximandro, que fue un científico empírico, dispuso de claros indicios de que la Tierra no era plana, sino un cuerpo cóncavo: los cambios de posición de un observador respecto a puntos fijos en la esfera celeste, sólo explicables si el observador se hallaba sobre una superficie cóncava: la diferencia del ángulo de la sombra respecto a la vertical local sólo se puede deber a la curvatura de la superficie terrestre; las personas que se encuentran al norte del Trópico de Cáncer o al sur del Trópico de Capricornio nunca pueden ver al Sol exactamente por encima de sus cabezas; cuando aparece un barco por la línea del horizonte, aparecen primero los mástiles, y luego el casco; las referencias a lugares que no veían el Sol durante seis meses; las de los navegantes fenicios, al circunnavegar Africa, que hallaron el Sol a su derecha, navegando hacia el oeste; o, navegando hacia el sur, siguiendo la línea de un mismo meridiano, vieron cambiar la elevación de la estrella Polar y aparecer estrellas y constelaciones en la línea del horizonte que no se veían en el lugar de origen. (Dreyer, 1906, p. 39).

La Tierra es llamada por él *Metheoro*, considerándola, pues, un cuerpo celeste, y la analogía formal con la redondez de los cuerpos celestes ayudó a suponer que la forma

redondeada era común a todos; como cuerpo celeste, se la suponía rodeada de espacio (*Aér*). Como, para el observador del cielo, su posición parece central respecto a la bóveda celeste, se pensaba que la Tierra ocupaba el centro.

La Tierra es un cuerpo celeste (Metheoron) no sostenido por nada, que se mantiene a causa de su equidistancia (Homoían Apóstasin) al Todo (Pánton) (...)

Hipólito, Refutación, I, 6, 3-4 (DK12A11)

La ley geométrica de la *equidistancia* a cualquier punto exterior sólo se cumple en la esfera; implícitamente está diciendo que la Tierra es una esfera. En su época, la palabra *Sphaira* significaba “bola”, “pelota”; no designaba aún un concepto abstracto -el cuerpo geométrico que más tarde definieron los pitagóricos-. Ello no impide que Anaximandro, a pesar de la inexistencia de objetos perfectamente esféricos en el mundo cotidiano, comprendiese el concepto “esfera” y su implicación geométrica más simple, la de la equidistancia. Lo que no estaba en disposición de poder ofrecer era un enunciado definitorio, si carecía de una palabra para designar el concepto. Incluso la frase de Platón que se considera primera explicitación de la esfericidad terrestre utiliza la palabra *Sphaira* con el significado de “balón”: “La Tierra es como los balones (*Sphairai*) de doce cueros” (Platón, *Fedón*, 110 B) “Dice que la Tierra se parece a un cilindro (*kylindroeidés*), tres veces más ancha que alta” Pseudo Plutarco, *Strom.* 2 (DK12A10). Ante la inexistencia de objetos perfectamente esféricos en el mundo cotidiano, recurre a comparar con un cilindro; tan achatado equivale a una rueda, y de esa rueda, lo que se parece a la Tierra es el *fuste* de —es el fuste de una columna lo que se parece a la Tierra y no la columna entera—

Su forma es curva y redondeada, semejante a un fuste de columna; existe la parte contraria a la que pisamos .

Hipólito, Refutación 1, 6, 3 (DK12A11)

La referencia a las antípodas también refleja la idea de volumen. Como los navegantes que se dirigían hacia el Sur, costeano Africa, referían el cambio de la estrella Polar a la derecha, Anaximandro calcula geoméricamente que un Sur en que se cumpla tal característica no es el Sur de una superficie plana, sino giratoria; no de otro modo había una parte contraria al Norte, si no es dando una vuelta.

La luna

Los testimonios sobre la Luna son diametralmente contradictorios. Los doxógrafos, a veces, citaban de memoria, en vez de copiar el texto; las contradicciones entre sus testimonios pueden deberse a este modo ocasional de trabajar, o solamente a olvidos inconscientes, como puede haberle sucedido a Aecio cuando dice que la Luna tiene una sola protuberancia:

La Luna es un disco diecinueve veces mayor que la Tierra, como una rueda de carro que tuviera el cubo hueco, lleno de fuego, como el Sol, situado oblicuamente también como él, y que tiene una sola(Mían) zona de expiración(Ekpnóé), como fogonazo por un tubo, y que la falta de luz se debe a cambios de posición(Trope) de la rueda.” Aecio, II, 25, 1(DK12A22)

Número singular que sólo aparece en este texto y que ha podido influir decisivamente en la confusión perpetrada por la exégesis de atribuir a Anaximandro un tubo para cada astro. Los eclipses, atribuidos a *cambios de posición(Trope)* de la Luna en Aecio, 2, 25, 1 (DK12A22) en otro pasaje del mismo Aecio se deben a una causa bien distinta *por obstrucción de la boquilla* (2, 29, 1) Laercio comete el anacronismo de atribuir a Anaximandro el conocimiento de que la luz de la Luna procede del Sol: D. Laercio, 2,1-2 (DK12A1). No podemos saber qué pensó Anaximandro sobre la Luna porque la transmisión es poco fidedigna.

En principio, creemos que Anaximandro centró su estudio en el Sol y generalizó al otro astro, la Luna, los resultados obtenidos, sin detallar demasiado acerca de ella. Pero también es posible que no escribiese sobre la Luna y los transmisores rellenasen la laguna.

La esfera celeste

Anaximandro fue el primero en hallar el gnomon y lo colocó sobre los relojes de Sol en Lacedemonia,(...) para marcar los solsticios y equinoccios, y construyó relojes. Fue el primero en trazar el perímetro de la Tierra y el mar y construyó también una esfera celeste.

D. Laercio, II, 1-2(D-K 12 A 1)

Sólo queda de la Antigüedad griega una esfera celeste, el Atlas Farnesio, un globo del firmamento en piedra en que están esculpidas 42 constelaciones, la eclíptica y el ecuador celeste- La esfera de Anaximandro reuniría condiciones muy distintas: pudo ser mecánica si tenemos en cuenta que 600 años más tarde los astrónomos manejaban planetarios tan avanzados como el de Antikythera, cuyas características técnicas se corresponden con la ingeniería de relojes moderna, y cuyo nivel técnico, verosímilmente, hubo de ser precedido por esferas celestes mecánicas más simples. Pero también podemos imaginar que pudo construir un proyector de estrellas; una esfera con orificios, uno en la posición de cada

estrella, con un diámetro proporcional a su magnitud - la diferencia de coloración, diámetro y brillo de las estrellas resulta ostensible, y las formas de las constelaciones las sabría de memoria-. Colocaría en el centro una fuente de luz, que proyectase su luz a través de los “orificios-estrella” sobre una cúpula o pantalla semiesférica de papiro sostenida por una estructura de tubos de bambú. La esfera se haría girar sobre su eje polar para reproducir el movimiento diurno del cielo. Que los griegos fabricaron en papiro este tipo de diseños es inferible del hecho de que dibujaban las constelaciones de estrellas configurando objetos: el carro, la balanza, indicio de que había un hábito de dibujo de la disposición de las estrellas en la bóveda celeste que debía utilizarse con algún fin que hoy desconocemos, al perderse los soportes utilizados.

También pudo proyectar la luz de los propios astros: en 1633, Kircher confesó haber remedado una construcción de Arquímedes, que pudo leer en un manuscrito, cuando utilizó espejos para dirigir la luz del Sol y de la Luna a una torre donde proyectaba el primer proyector de estrellas del que se tiene noticia. (Pendergrast, 2002, p. 100)

Interesa saber si incluiría los planetas, por ejemplo. Dice Kahn: “Nada se nos ha transmitido sobre su conocimiento de los planetas, por lo que en tal esfera no se representarían sus “erráticas” evoluciones”. (Kahn, 1960, p. 82-4). No debemos confundir el limitado contenido de la transmisión textual, con las capacidades reales de un astrónomo que observase el cielo, como la historia supone a Anaximandro, con la ayuda de una vista entrenada: pudo conocer los planetas Marte, Mercurio, Venus; es necesario saber que siempre se desplazan en las proximidades de la eclíptica; las constelaciones que atraviesa la eclíptica son principalmente las zodiacales. Anaximandro conocía la oblicuidad del zodíaco, según Plinio II, 6, 31 (DK12A5) y Aecio también dice que Anaximandro supo que Sol y Luna estaban situados oblicuamente (Aecio, II, 25, 1(DK12A22) (aunque fue Eratóstenes quien pasa a la historia como descubridor de la eclíptica, ello no excluye un conocimiento anterior entre los profesionales). La oblicuidad de la eclíptica se infiere de experimentos con sombras como los que sabemos eran el centro del quehacer de Anaximandro, que extendió el gnomon traído de Babilonia a Grecia continental, a Esparta, y estudiaba geoméricamente los ángulos de las sombras que el Sol dejaba en la escuadra: debido a las diferentes inclinaciones del eje terrestre con respecto a los rayos solares, se experimentan diferentes ángulos de incidencia para las distintas estaciones del año; en verano, es observable una mayor perpendicularidad de los rayos solares y al mismo tiempo mayor número de horas de luz, puesto que el arco que describe desde la salida hasta el ocaso es mucho mayor que invierno (Cualquier día del año que no sea de equinoccio, el Sol discurre por su plano eclíptico, diferente del plano ecuatorial. Su elevación sobre el plano del horizonte en el momento del mediodía, supone una declinación de su ángulo con el plano ecuatorial).

Sabiendo que la Luna también se mueve en las cercanías de la eclíptica, con un calendario de las conjunciones de la Luna -pudo disponer del mismo heredado de los babilonios-

podría identificar planetas. Los planetas se localizan sobre la línea relativamente cercana que forman los puntos este-oeste y la altura de la Luna. Por ejemplo, la noche que la Luna está en conjunción con Marte, en sus cercanías se identifica a simple vista el planeta.

Técnica

Según la historia establecida, el estudio astronómico de Anaximandro “partía de la observación directa de la bóveda celeste y de la observación y cálculo de las sombras proyectadas” (Paniagua Aguilar, 2006, p. 289). Aplicaba cálculos de ángulos rectos a las sombras que forma la luz del Sol utilizando el gnomon, una escuadra enhiesta en tierra, para conocer la posición del Sol, y así determinar con exactitud el calendario, longitud y latitud, equinoccios, solsticios. Pero los resultados que obtuvo en observación de la estructura solar no proceden de la proyección de sombras; si bien es una técnica válida para comprobar los movimientos del Sol; sin embargo, no es una técnica válida para observar la morfología del Sol, sus protuberancias y envoltura gaseosa. Una observación prolongada del Sol tuvo que hacerse mediante una proyección de su imagen, mediante la técnica de la “cámara oscura”, consistente en lograr que los rayos del Sol pasen por un orificio o “estenopo” y la imagen del sol se contempla enfrente, colocando un lienzo blanco, invertida. Desde la prehistoria, el observatorio-tipo en la Antigüedad era una cámara oscura natural, con un orificio orientado al cenit, para que pasase la luz del Sol al mediodía. (como “Nuraghe Is Paras” en Cerdeña, o las de los toltecas, “Xochicalco”). La luz pasa en línea recta y forma una imagen invertida del Sol en una pantalla colocada enfrente. El propio Aristóteles describe la cámara oscura.

Pero la proyección simple de la imagen de Sol o Luna no explica ciertos descubrimientos astronómicos de la ciencia griega, que exigen haber sido efectuados mediante proyección óptica: las protuberancias solares y la capa gaseosa del Sol de Anaximandro (s. VI), las manchas solares de Teofrasto (s. V), el catálogo de estrellas y la medición de la distancia Tierra-Sol a partir del tránsito de Venus de Hiparco (s. II).

Anaximandro tuvo que ampliar y enfocar la imagen proyectada, posiblemente poseyera una dioptra especial equivalente a un telescopio proyector (también llamado reflector); se trataría de una cámara oscura que tiene la función de recoger la luz proveniente de un objeto lejano, la enfoca y la amplía. Tiene que incorporar en el tubo dos espejos; el primer espejo ha de ser cóncavo, esférico o parabólico, y al atravesarlo, la luz forma detrás de él una imagen real de un objeto lejano; esta imagen se refleja en el espejo secundario: se ve proyectada detrás de él en una pantalla, —no olvidemos que los espejos reflejan la luz y por ello la imagen del objeto se forma detrás del espejo, aunque la miremos desde delante— y es observada por un orificio, el “ocular” practicado lateralmente en el tubo.

No sería difícil que hubiese conocido la cuña de Herschel, o “helioscopio”, que, en su forma más sencilla, sólo requiere acoplar un prisma cenital— Permite observar las estructuras finas

distinguiéndolas de la luz de la envoltura gaseosa del Sol sin dañar la vista porque refleja la mayor parte de la luz solar, alcanzando el ocular únicamente un pequeño porcentaje. Estos aparatos pudieron ser manejados por los babilonios, de los que Heródoto asegura, usaban cañas huecas para la observación astronómica.

Es verosímil que los físicos griegos llevasen a buen término una experimentación con lentes y espejos prolongada durante los dos milenios desde que se fabricaron las primeras lentes sobre el 3000 a. C. hasta que el enunciado de las leyes geométricas de la luz -redactadas en el s. III a. C. por Euclides.

Los griegos fabricaron lentes; en Samos y Creta especialmente; se conservan en Museo Londres unas lentes cretenses del 2000 a. C. El planetario de Antikythera (s. I a. C) constituye una prueba de uso de lentes por quienes hicieron las incisiones y engranajes de la máquina, que sólo son visibles mediante imagen de alta resolución.

La experimentación con espejos cóncavos, convexos, esféricos y con prismas resulta imprescindible para alcanzar el conocimiento de las leyes geométricas de la luz establecidas en los tratados *Katoptriká* "Sobre los espejos" de Euclides, Hiparco, Arquímedes, Herón. Hubo varios tratados *Dioptriká* "Sobre la visión a distancia". El de Hiparco abarcaba la refracción de la luz, ley de Snell, principio de Fermat. Pero los escritos técnicos griegos se han perdido; los textos que llegaron hasta los renacentistas, les enseñaron a construir esos ingenios ópticos (telescopio, heliómetro, helioscopio); y, tal vez, para acaparar la autoría del invento, harían desaparecer las fuentes griegas o árabes originales. Della Porta y Grosseteste aluden a textos griegos técnicos que mostraban cómo ampliar los objetos muy lejanos combinando lentes y espejos (Pendergrast, 2003, p.79).

Hay un testimonio de Simplicio que dice que Anaximandro pudo haber calculado la distancia Tierra-Sol como lo hicieron los pitagóricos, por el método del tránsito de Venus, en griego, *Metaparábola*.

Y acerca de la posición de los planetas y su tamaño y distancia queda demostrado que fue Anaximandro el primero en hallar una cifra para el tamaño y la distancia, (...) Los tamaños y distancias del Sol y la Luna hasta ahora se conocen tomando como punto de partida para su cálculo los eclipses, y podemos suponer que Anaximandro también lo halló así; y por la metaparábola de Venus y Mercurio" Simpl. De caelo 471, I (DK12A19)

Que Anaximandro lo utilizase como método para calcular la distancia Tierra-Sol ha sido considerado imposible por los exegetas, pues requeriría indefectiblemente disponer de óptica. En cambio, aceptan que el pitagórico Hiparco gestase el cálculo a partir del tránsito tres siglos después en una época a la que tampoco se le suponen ingenios ópticos. Veamos en qué habría consistido esta actuación realizada por Hiparco para decidir si podría haberlo ejecutado Anaximandro a partir de un tránsito de Venus.

Como hemos dicho, algunas de las observaciones de Hiparco (su catálogo de estrellas, por su cantidad y la distancia de algunas; la medición de la distancia Tierra-Sol a partir de

un tránsito) sólo se pueden reproducir en la actualidad mediante un telescopio. Hiparco, aplicando a las observaciones obtenidas durante un tránsito cálculos trigonométricos, calculó la distancia Tierra-Sol (8 millones de km, según sus resultados, pero son 150 millones). Problemas técnicos de predicción del tránsito: inexistentes, ya que existían tablas de periodicidades heredadas de los babilonios, así que era perfectamente posible llevar a cabo los preparativos de la expedición: envió a dos observadores a dos puntos distantes –imposible, para satisfacer las exigencias del paralaje, que no se distanciasen más de 3000 km- Cada uno estacionaría una cámara oscura, ya tuviese la forma de un habitáculo oscuro, o una cámara oscura portátil, una dioptra, que era un ingenio del que no quedan dibujos, utilizado para ver a distancia; en cuyo caso, sería de bronce y mediría unos seis metros, datos extrapolados del protocolo seguido por Houzeau cuando repitió el experimento- dioptra para captar la imagen invertida del Sol en una pantalla blanca. Se vería en la pantalla el disco solar y Venus recortándose en él como un puntito negro, que es la sombra del planeta al transitar por delante. Las distintas posiciones de Venus recortándose en el disco solar se llaman contactos o eventos, y van dibujando un arco geométrico, a lo largo de todo el tránsito, que dura siete horas. Tuvieron que hacer dibujos de los momentos o contactos de la sombra del planeta suficientes como para servir de base al cálculo trigonométrico. Se estima que debe hacerse un dibujo cada quince minutos para registrar los contactos o eventos pertinentes, conforme avanza la sombra de Venus sobre el disco solar durante las siete horas que dura el tránsito, para lograr formar un arco geométrico perfecto, necesario para aplicar al dibujo del arco los cálculos de ángulos, después de unir los dibujos de un observador con los dibujos del otro, en ello consiste el paralaje. Pues bien, si no se utiliza óptica en la proyección, o sea, sin un telescopio, es imposible registrar un nuevo contacto o evento en parcelas de tiempo de quince minutos, lo que sugiere que la proyección tuvo que ser enfocada y aumentada con la combinación de dos espejos que posee un telescopio proyector.

El gran astrónomo Hiparco de Nicea se sirvió de material astronómico de procedencia babilónica (Paniagua, 2006, p. 292), se trajo una dioptra a la que aplicó innovaciones notables -según Herón de Siracusa en *Sobre la dioptra*, y Ptolomeo en el *Almagesto*. Imaginamos que sus mejoras de la dioptra le sirvieron para avalar todos los conocimientos teóricos de su libro -perdido- acerca de la visión telescópica, *Dioptriká* . Conservamos reconstrucciones aproximadas de la dioptra de su discípulo Herón.

La dioptra de Herón tenía muchas aplicaciones: servía para medir distancias y alturas inaccesibles, para levantar planos, nivelar terrenos, medir campos sin necesidad de entrar en ellos, medir distancias angulares... así pues, por sus aplicaciones, se trataba de lo que hoy entendemos por un teodolito. Aunque no puede reconstruirse el ingenio de Hiparco totalmente, en palabras del topógrafo Moreno Gallo, “por los folios supervivientes del libro de Herón, sabemos que Hiparco substituyó el dispositivo de la regla a escuadra, de la que colgaba una plomada, cuyo conjunto era aplicado a un visor ranurado, por un retículo,

que es un disco de cristal con dos marcas como mínimo, una horizontal y otra vertical, y lo colocó en el interior de un tubo, es decir, hizo una plomada óptica, con lo cual formó un instrumento que exteriormente tenía gran semejanza con nuestros actuales telescopios. Así, la alidada era capaz de calcular distancias mediante métodos estadimétricos, actuaba como taquímetro. Hasta ahí, era un teodolito”. Pero, “si tenía incorporados visores en forma de tubo, no se explica otra utilidad para esta forma que la de adaptar óptica” (Moreno Gallo, 2004, p. 25-69).

No hay referencia explícita a la óptica, pues no concedían importancia a especificar si el disco de cristal que llevaba en su interior era cóncavo o convexo (telescopio refractor), o era un espejo (telescopio reflector o proyector), o un prisma (cuña de Herschel). Pero nosotros lo podemos deducir por sus aplicaciones y por los descubrimientos que se lograron. El uso astronómico de ese aparato por Hiparco induce a pensar que tenía adaptada óptica en su interior.

En los siglos siguientes, los romanos utilizaron una dioptra especial; por su aplicación, era equivalente a un teodolito –según unos, pero un teodolito tiene óptica- o a un telescopio –según otros. Las dos secciones en que dividió su ejército Escipión en el asedio a Cartago se enviaban mensajes en clave por destellos luminosos. Estaban provistos de un heliostato y una dioptra. El heliostato se componía de uno o dos espejos que reflejaban los rayos solares, captados por la dioptra. Para ampliar el campo visual a 180 °, la dioptra era binocular, tenía dos tubos, uno para cada ojo. Para aumentar la agudeza visual, -la apreciación de detalles a distancia, requerida por la gran distancia entre las dos secciones del ejército que se envían señales luminosas-, se supone que la dioptra probablemente tenía en cada tubo lentes telescópicas, no de otro modo se explica que las señales de luz salvaran grandes distancias. El traductor de Oxford (Paton, 1922) traduce “dioptra” como “telescopio” en este texto:

Después de separarse según lo acordado, cada una de los dos (secciones del ejército) debe tener sobre el terreno un telescopio con dos tubos, para que pueda observar el espacio a la derecha con un tubo, y con el otro tubo el espacio a la izquierda, cuando vaya a comunicarse por señales luminosas. Junto al telescopio en pie han de colocarse las pantallas, acotando un espacio a derecha e izquierda de diez pies, -como la estatura de un hombre-, con el fin de que las luces puedan distinguirse con precisión cuando se elevan y queden perfectamente ocultas cuando se bajan.. Las pantallas deben estar puestas derechas al lado del telescopio. Cuando todo así ha sido preparado a ambos lados, si el soldado quiere enviar, por ejemplo, esto aproximadamente: “al enemigo desertaron cien soldados”, él ante todo debe escoger las palabras que transportarán lo que él quiere decir en el número más pequeño de letras (...) debe levantar una luz por la alfa, (...) dos por la beta...” (Polibio, X, 46)

Vuelve a aparecer este tipo de aplicación y esos dos aparatos cuando los norteamericanos del s. XIX midieron la distancia máxima alcanzada en la captación del rayo de luz solar. George Davidson se proveyó de un heliostato (inglés heliotrope) con un espejo de 77.5

pulgadas cuadradas y reflejó la luz, captada por un teodolito. Fue visible a una distancia de 309 kilómetros.

En el s. XIX Charles Houzeau repite el experimento de Hiparco del tránsito de Venus para calcular la distancia Tierra-Sol. Houzeau utilizó un aparato construido especialmente para el experimento, prototipo de otros posteriores, llamados “heliómetros”, que se conserva en el Observatorio Real belga: es un telescopio proyector de bronce, tiene una pantalla de proyección en un extremo, el objetivo del tubo está dividido en dos mitades por su diámetro, estas dos mitades yuxtapuestas pueden resbalar una sobre la otra; imitación del retículo de cristal con una marca vertical y otra horizontal que Herón e Hiparco acoplaron al tubo: la plomada óptica.

¿Esferas concéntricas, tubos de niebla?

Comentaremos la interpretación de la astronomía de Anaximandro habitual en los manuales: “Según Anaximandro, los astros son agujeros en tubos de niebla, a través de los cuales agujeros, brilla el fuego encerrado”(Farrington, 1979, p. 34). Comprendemos que las estructuras con forma de tubo de flauta debieron parecer muy exóticas durante siglos a los transmisores y estudiosos, incapaces de entender qué había visto Anaximandro en el Sol: no disponían de las imágenes actuales del Sol.

Nos posicionamos en contra de la continuidad académica de esta explicación; resulta disparatada en sus propios términos. Incluso Guthrie reconoce que la interpretación de los círculos como anillos nebulosos concéntricos reporta contrasentidos. (Guthrie, 1984, p. 100)

“y en lo más alto(Anotato) está el Sol, en lo más bajo(Katotato), los círculos(kýklos) de las estrellas fijas” Hipólito, Haer. I6, 3-5 (DK 12^a 11)

“Los astros son círculos(Kýklos) de fuego(Pyr), formados por separación del fuego cósmico, y rodeados circularmente(Peri.lambáno) por gas(Aér)” Hipólito, Refutación, I, 6, 4 (DK12A11)

La interpretación de la exégesis tradicional de estos textos parte de una errónea interpretación de *Kýklos* como: “anillo” o esfera de niebla, una para cada astro, concéntricas a la Tierra (Guthrie, 1984, p. 100), y de una errónea traducción de *Aér* como “niebla”, en un contexto cosmológico.

La interpretación académica es una superposición de la teoría de esferas concéntricas de Platón y Ptolomeo al cosmos de Anaximandro, iniciada por Diels, el editor de los presocráticos. Dice Colli: Diels(AK 22 ss) intentó una reconstrucción del cosmos de Anaximandro suponiendo tres anillos concéntricos –a partir del exterior- en los que se mueven el Sol, la Luna y las estrellas” –sorprende el orden posicional, especialmente las estrellas, que no podrían formar parte de un anillo cercano a la Tierra, pues los griegos las imaginaban fijas al límite superior de la bóveda celeste- “Según Diels, esos testimonios

tienen sólida base en Teofrasto, pero yo no estoy tan seguro de que sea así” (Colli, 1979, p. 317). Diels recurrió al modelo platónico al verse incapaz de cualquier exégesis inteligible de un cosmos anaximandro que no guardaba semejanza con ninguna descripción o modelo conocido, integrado por insólitos elementos como: aberturas con forma de tubo en los astros, astros rodeados de gas.

Los doxógrafos entendieron a Anaximandro bajo un punto de vista contaminado por las esferas platónicas; así se explica la interpolación de la palabra “esfera” en el texto: “*Los astros son llevados (Pheresthai) por los círculos (Kýklos) y las esferas en las que va cada astro*” Aecio, II, 16, 5 (DK 11 B 16), sabemos que no puede pertenecer a Anaximandro porque Anaximandro no pensó en varias esferas, sino en una sola esfera celeste. Además, Aecio añadió “esferas” con el sentido que la palabra tenía en su época, o sea, “anillos concéntricos”; en época de Anaximandro significaba “pelota”.

Bibliografía

- DK = Diels - Kranz (edit.) 1951 *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 6ª edit. (et sqq.) vol. I, p. 139-190.
- Dreyer, A. (1906) *History of the Planetary Systems from Thales to Kepler*, Cambridge.
- Colli, G. (1979) *La sabiduría griega I*, Madrid, 2008
- Cornford, F. M. (1934) "Innumerable Worlds in Presocratic Cosmogony" CQ, 1-16..
- Farrington, B. (1969) *Ciencia Griega*, Barcelona, 1979
- Guthrie, W.K.C. (1962) *Historia de la filosofía griega* vol. I, Madrid, 1984 .
- Heilbron, J.L. (1999) *The Sun in the Church. Cathedrals as Solar Observatories* Harvard.
- Kahn, C. H. (1960) *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*, Nueva York.
- Jakosky, B. (1998) *La búsqueda de vida en otros planetas*, Cambridge University Press, Madrid, 1999
- Moreno Gallo, 2004, I, *Topografía romana*. III Congreso Europeo Obras Públicas Romanas. Tarragona.
- Pendergrast, M. (2003) *Historia de los espejos*, México.
- Paniagua Aguilar, D. (2006) *El panorama literario técnico- científico en Roma*, Salamanca.
- Paton, W. R. (1922) *Polibio*, Loeb Classical Library, IV, Harvard University Press.