

HELIOCENTRISMO

Cualquier niño sabe hoy en día que la Tierra gira alrededor del Sol. El Sol está en el centro y los planetas lo circunvalan. Pero por muy obvio que esto parezca, es interesante constatar la confusión que se produce cuando se le pide a cualquier no especialista que argumente en favor de ese conocimiento aparentemente tan banal. Todo aficionado a la astronomía ha pasado por la misma pregunta: ¿cómo sabemos que la Tierra gira alrededor del Sol y no es al revés?

La verdad es que no es nada obvio que la Tierra gire alrededor del Sol. Durante la mayor parte de la historia de la civilización occidental se pensó lo contrario. Sólo desde el siglo XVI comenzó a extenderse la idea de que es el Sol el que ocupa el centro. Hoy en día se señala a Copérnico como iniciador de la tesis heliocéntrica, a Galileo Galilei como su mejor propagandista, así como a Kepler y Newton como sus culminadores.

Casi dos mil años antes de que Galileo Galilei fuese condenado por sostener el heliocentrismo vivió en la Grecia antigua Aristarco de Samos. Él fue el primero en proponer dicha teoría. Es una injusticia histórica que el autor original de esta tesis sólo sea conocido entre los especialistas, pero totalmente olvidado por la cultura popular.

De Aristarco de Samos se sabe poco. Ptolomeo menciona en el *Almagesto* que en el año 281/280 a.C. Aristarco hizo una observación del solsticio de verano. Arquímedes señala en su *Arenario*, escrito antes del año 216 a.C., que el sabio de Samos escribió una obra proponiendo la tesis heliocéntrica. Y, finalmente, se especula que fue discípulo de Estratón de Lampsacos, que sucedió a Teofrasto como jefe de la escuela peripatética en el año 288/287 a.C. A partir de estas fechas se estima que debió vivir aproximadamente entre el 310–230 a.C., setenta y cinco años más tarde que Heráclides y veinticinco años mayor que Arquímedes. Vitruvio lo incluye entre los pocos hombres que tuvieron un conocimiento profundo en todas las ramas de la ciencia, geometría, astronomía, música, etc...

Se le atribuyen, entre otros, tres méritos sobresalientes: a) haber sido el primero en proponer la tesis heliocéntrica; b) haber sido el primero en introducir en la cosmología la idea de fijar distancias y tamaños relativos haciendo uso de la trigonometría (en la única obra suya que ha llegado hasta nosotros), calculando de esta manera (aunque con un considerable error) la relación de distancias entre Tierra/Luna y Tierra/Sol, y advirtiendo así que el Sol se encuentra mucho más alejado de la Tierra que la Luna; c) haber sustituido el reloj solar plano por uno cóncavo semiesférico, aunque la atribución a Aristarco de esta innovación ha sido desenmascarada por el historiador de la ciencia A. Szabó como "error de la antigüedad", debiendo limitarse sus éxitos científicos a los dos mencionados en primer lugar.

El genio de Samos fue precedido por muchos grandes científicos, especialmente astrónomos, que posibilitaron su pensamiento, y que llevaron hasta él los grandes problemas a los que buscar solución. Desde Homero hasta Aristarco (y por supuesto hasta hoy en día), pasando por Heráclito, los pitagóricos, Demócrito, Platón, Eudoxo, Aristóteles, Heráclides de Ponto, etc... casi todos los grandes pensadores mostraron un vivo interés por el cosmos y sus enigmas. Aristarco se encontró, consiguientemente, inmerso en una larga tradición de problemas y soluciones propuestas en el campo astronómico.

La astronomía griega anterior a Aristarco sabía que las estrellas permanecían fijas en su posición en relación a las otras estrellas, y que todas parecían girar en torno al polo norte celestial (Figura 1). Para entender esto, imaginaban a las estrellas fijadas sobre el interior de una esfera que daba una vuelta alrededor de su eje cada día (moviéndose de este a oeste), con nuestro planeta en el centro de la misma.

Se conocían cinco planetas: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. La Tierra quedaba excluida de los planetas, por ser el centro del cosmos, permaneciendo inmóvil. Se había observado que los planetas tienen un

movimiento opuesto de oeste a este, así como que a veces aminoraban su velocidad hasta pararse e incluso comenzar a retroceder un tiempo para luego volver a avanzar en la dirección inicial. El nombre "planeta", que en griego significa algo así como "errante", se refiere a este fenómeno de la retrogradación.

Fue Platón (428–348 a.C.) quién planteó el problema que habría de ocupar a los astrónomos hasta Kepler: ¿Cómo dar cuenta del movimiento aparente de los planetas por medio de movimientos uniformes y ordenados?. Es decir, los astrónomos debían explicar los movimientos planetarios observables con la ayuda de movimientos perfectamente regulares y circulares. Eudoxo de Cnido (aprox. 400–aprox. 347 a.C.) fue el primero en dar una respuesta al problema: Utilizó un sistema de esferas concéntricas que eran capaces de recrear los movimientos aparentes de los planetas. Esta solución –el modelo homocéntrico– fue modificada, mejorada e interpretada por sucesivos astrónomos.

En este ambiente optimista, con una tentativa de solución relativamente aceptable que habría de irse perfeccionando por los filósofos naturales griegos, surgió Aristarco de Samos con una propuesta alternativa, tan descabellada entonces que apenas es posible imaginar lo revolucionario de su contenido: los fenómenos (phainómena: apariencias) del cielo se podrían explicar al menos con la misma facilidad suponiendo al Sol en el centro del Universo.

Lamentablemente, no se ha conservado la obra en la que Aristarco expusiera su visión heliocéntrica del cosmos, pero se tienen referencias indirectas suficientes como para reconstruir esquemáticamente su modelo astronómico. Arquímedes escribe en el *Arenario* que en "los textos" de Aristarco, en oposición a las teorías al uso de entonces, se encuentran "otras hipótesis" como (a) que las estrellas y el Sol permanecen inmóviles, así como (b) que la Tierra gira alrededor del Sol, describiendo un círculo. Además destaca (c) que Aristarco pensaba que el tamaño de la órbita terrestre era tan pequeño en comparación con la esfera celestial como lo puede ser un punto en comparación con una esfera.

Plutarco también hace referencia a Aristarco, informándonos que éste había enseñado (d) que el cielo es inmóvil y (e) que la Tierra se mueve sobre una órbita inclinada, (f) rotando al mismo tiempo sobre su propio eje. Esta referencia complementaria de Plutarco es fundamental porque nos dice que Aristarco consideraba dos movimientos de la Tierra, uno orbital y otro de rotación.

Llama la atención que la órbita de la Tierra esté inclinada. Evidentemente se trataba de explicar los cambios de estación climática, que el modelo geocéntrico explicaba mediante la eclíptica inclinada. El Sol se mueve a lo largo del año sobre un círculo inclinado (con respecto al ecuador), yendo desde el solsticio de invierno al de verano y viceversa. Aristarco parece haber interpretado la observación de los solsticios correctamente, atribuyéndola al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, exigiéndose la inclinación de la órbita terrestre para explicar los cambios de estación, ya que los rayos solares inciden en verano sobre el hemisferio norte más perpendicularmente que en invierno (Figura 2).

El segundo movimiento de la Tierra, el de rotación (giro sobre su propio eje), pretendía acertadamente dar cuenta del cambio de día y noche.

De la literatura doxográfica sabemos que Aristarco incluía al Sol entre las estrellas, cuya distancia casi infinita del centro y la órbita terrestre ya había destacado. No se puede excluir la posibilidad de que Aristarco considerase que las estrellas fuesen soles.

El revolucionario modelo de Aristarco "el matemático" se puede resumir en los siguientes puntos:

El Sol –y no la Tierra– constituye el centro del Universo.

La Tierra tiene un movimiento doble: viaja anualmente en una órbita inclinada alrededor del Sol y al mismo tiempo rota diariamente sobre su propio eje.

La esfera celestial, i.e. el Universo completo, es mucho mayor de lo que hasta entonces se asumía.

El Sol es una estrella, y quizá pensara que las demás estrellas también eran soles (?).

Estas ideas no eran todas genuinamente originales. Algunos pitagóricos ya propusieron que nuestro planeta orbitaba en torno al centro del Universo, en el que suponían un fuego central (que no era el Sol), relegando de esta forma a la Tierra, al descentrarla, a su condición de planeta. Incluso llegaron a defender el doble movimiento terrestre, orbital y de rotación. Los pitagóricos compartían pues con Aristarco un modelo geodinámico, pero sus cosmovisiones se diferenciaban en muchas otras cosas. Las diferencias más importantes se refieren a la situación del Sol y al enfoque mucho más metafísico de los pitagóricos.

Desgraciadamente, se dispone de escasas fuentes para tener una imagen más precisa del modelo aristárquico. No se sabe con certeza si presentó argumentos en favor de esta visión del cosmos y, de ser así, en qué forma. Se ignora cómo expuso sus ideas y se conoce poco sobre la repercusión que tuvieron entre sus contemporáneos. Es un hecho notable el que sus hipótesis sean tan poco citadas y discutidas. Evidentemente sólo una minoría de matemáticos y astrónomos sabrían de las innovaciones teóricas de Aristarco, pero aún así es extraña la escasa reacción que se encuentra en las fuentes. Posiblemente se deba a que el contexto, tan distinto del nuestro, llevara a considerar absurda la propuesta del matemático de Samos.

En el mencionado texto de Plutarco se puede leer que Cleantes (alrededor de 260 a.C.) animó a denunciar a Aristarco por impío, basándose en que el astrónomo de Samos desplazó la Tierra del centro del Universo. Su repudio estaba asociado a concepciones religiosas, ya que el centro del Universo, igual que en la tradición arcaica el centro de la casa, estaba reservado a una deidad, identificándose la Tierra con esa deidad.

Desplazarla del centro constituía un acto de herejía. Esta lamentable situación recuerda mucho a la que en el año 1633 d.C. habría de vivir Galileo, condenado por motivos religiosos.

¿Cómo se podía saber que la Tierra gira alrededor del Sol, y no al revés?

Hoy en día se suele ser solidario con Galileo y, por razones afines, lo seríamos con Aristarco de Samos, pero es necesario comprender que los críticos de estos dos grandes hombres tenían buenas razones para rechazar el modelo heliocéntrico, causante de los males de ambos. La experiencia cotidiana y el sentido común que la sigue parecen desmentir el geodinamismo (o movimientos de nuestro planeta).

Así, vemos que el Sol y las estrellas se mueven, mientras que nos parece que la Tierra permanece en reposo. Al ser nosotros los observadores nos da la sensación de estar en el centro, con lo demás circundándonos. Pero aunque retemos a la experiencia cotidiana nos encontramos con hechos que parecen indicar que la Tierra permanece inmóvil. Si se lanza una flecha verticalmente hacia arriba habría de quedar atrás, caso de moverse la Tierra bajo el cielo, pero de hecho la flecha vuelve a caer en el mismo lugar de su lanzamiento. No notamos ningún viento constante que se generaría si la Tierra se moviese.

Obviamente hoy conocemos las razones de porqué se dan, o no, estos hechos, pero entonces un buen científico debía atenerse a los conocimientos científicos generalmente aceptados. No tenía sentido aceptar el geodinamismo si eso implicaba darle la vuelta a toda la física aceptada por entonces.

Los científicos griegos distinguían entre física y astronomía, ocupándose la primera de la región sublunar (la parte interior del Universo, "debajo" de la Luna que orbita alrededor de la Tierra) y siendo la segunda un mero artefacto matemático para "salvar los fenómenos", es decir para dar cuenta de las observaciones astronómicas más allá de nuestro satélite. Es improbable que los científicos renuncien a teorías físicas establecidas para defender un modelo matemático hipotético y sin aspiraciones realistas.

A esto se le añade otro problema: el papel que juega la Luna en la propuesta aristárquica. La Luna en un

sistema heliocéntrico no puede constituir la frontera entre región sublunar y la etérea (o supralunar), aniquilando de esta manera completamente la distinción teórica creada por Aristóteles entre las dos regiones. Esta implicación de la teoría heliocéntrica seguro que no facilitó su aceptación generalizada.

Con el modelo heliocéntrico, sin embargo, se alcanzaban algunas ventajas, que quizá podrían haber justificado una reflexión crítica sobre el sentido común y las teorías físicas que parecían dictar la experiencia cotidiana. El modelo heliocéntrico explica el fenómeno de la retrogradación como efecto óptico que se observa desde nuestro planeta al orbitar al Sol. Además se pueden explicar los cambios de luminosidad observables en los otros planetas, debido al acercamiento y alejamiento sucesivo de la Tierra mientras orbita a velocidades angulares diferentes entre sí.

A estas ventajas se le oponía, empero, un grave problema que no compartía el modelo homocéntrico. Si la Tierra girase alrededor del Sol, se debería poder observar alguna paralaje estelar. Si se desplaza en una órbita, entonces nuestro planeta estará en verano en el punto opuesto a su posición en invierno (en el otro extremo de la órbita). Desde esas dos posiciones tan alejadas entre sí se debería observar una estrella desde dos ángulos diferentes, produciéndose el mencionado efecto de la paralaje (Figura 4^a).

En tiempos de Aristarco, sin embargo, no se pudo observar este fenómeno por lo que se rechazó el modelo. La ausencia de paralaje estelar observable fue, durante muchísimos siglos, un demoledor argumento contra el heliocentrismo, ya que solamente en 1838 logró el alemán F.W. Bessel observarlo, eliminando la aparente falsación de la teoría heliocéntrica.

Pero Aristarco mismo respondió ingeniosa y acertadamente al argumento de la paralaje, apostillando que el radio de la esfera celeste y la distancia de las estrellas a la órbita terrestre es casi infinita con relación al radio de la órbita de la Tierra (Figura 5). Cuanto mayor sea la distancia de las estrellas a la órbita relativamente pequeña sobre la que se mueve la Tierra, menor será el ángulo de la paralaje. Y si la distancia es suficientemente grande, el ángulo llegará a ser tan pequeño que será prácticamente inobservable. Ésta es la razón por la que Aristarco incluyó la referencia al tamaño del Universo y su relación con el tamaño de la órbita terrestre (posiblemente fuese eso mismo lo que le motivara para escribir su tratado sobre los tamaños y distancias del Sol y la Luna).

Pese a lo acertado que fuese el contraargumento de Aristarco, debía ser difícil convencer a la comunidad científica de que la crítica es injustificada, porque la paralaje está efectivamente ahí, sólo que inobservable. Es comprensible el escepticismo de los geocentristas.

Otro criterio, también muchas veces esgrimido en favor del heliocentrismo, es más ambiguo. Dicen los valedores de esta tesis que es más sencillo explicar los fenómenos astronómicos suponiendo a la Tierra en movimiento en torno al Sol. El problema del criterio de la sencillez es su subjetividad, y por tanto su difícil control. Posiblemente le parezca más sencillo a un matemático este modelo que el homocéntrico con un número inflacionario de esferas, pero eso no hace más sencillo al heliocentrismo frente al geocentrismo, sino solamente frente a la teoría de Eudoxo de Cnido. Los astrónomos griegos no sustituyeron el geocentrismo por un modelo heliocéntrico, sino la teoría de las esferas homocéntricas por una más poderosa basada en excéntricas y epiciclos. Incluso hoy en día la navegación con ayuda de posiciones de objetos celestes se hace muy a menudo "como si la Tierra fuese el centro del Universo".

La recepción de las ideas de Aristarco de Samos ha sido muy poco estudiada, pese a que se pueden encontrar huellas del modelo de Aristarco a lo largo de la Edad Media y el Renacimiento. Copérnico citó explícitamente a Aristarco de Samos en el manuscrito de su *De Revolutionibus* en un pasaje tachado antes de pasar a imprenta.

Aristarco fue indudablemente uno de los grandes visionarios con una genial intuición. Es difícil decidir si su propuesta heliocéntrica fue el arrebató de un "iluminado", al que la historia le dio casualmente la razón, o si su

revolucionaria tesis fue el producto de una meditada y argumentada reflexión. En todo caso, y aún entendiendo las razones que pudieron inspirar a sus rivales para rechazar su teoría, Aristarco de Samos merece ser recordado como el original iniciador del heliocentrismo.