

La astronomía griega y la tradición árabe medieval

Los astrónomos islámicos de la Edad Media no se limitaron a traducir los textos clásicos. Podrían haber incluso desempeñado un papel clave en la revolución copernicana

George Saliba

En 1957, dos brillantes historiadores se reunieron para estudiar un manuscrito astronómico de un autor árabe del siglo XIV. El documento, cuyo contenido parecía increíble, era desconocido para la mayoría de los historiadores de la ciencia. Lo había escrito Ibn al-Shāṭir, *muwaqqit* de la mezquita Umayyad central de Damasco. El texto redactado por el encargado del cómputo del tiempo, así debe entenderse el oficio de al-Shāṭir, adelantaba ideas de la teoría de Copérnico. Y ello, más de cien años antes del nacimiento del astrónomo polaco.

Cuando los dos historiadores presentaron el escrito de Ibn al-Shāṭir, las respuestas que recibieron oscilaron entre la incredulidad absoluta y el rechazo no menos absoluto. Los hubo que abandonaban la sala de conferencias si el ponente mencionaba el manuscrito. La razón del desasosiego residía en que abría la puerta a la hipótesis de que Copérnico no estuvo sólo en la

creación de su teoría astronómica. Para unos, Copérnico había llegado al mismo punto de Ibn al-Shāṭir por un camino propio; el asunto constituía un caso más de convergencia, de “descubrimiento independiente”. Sin embargo, con el tiempo resultó claro que había algún tipo de conexión entre los trabajos de Copérnico y los de los astrónomos islámicos medievales, que había pasado inadvertida. La revelación del trabajo de Ibn al-Shāṭir evidenciaba asimismo que el Renacimiento, inspirado en parte en la revolución copernicana, no era un fenómeno europeo exclusivo.

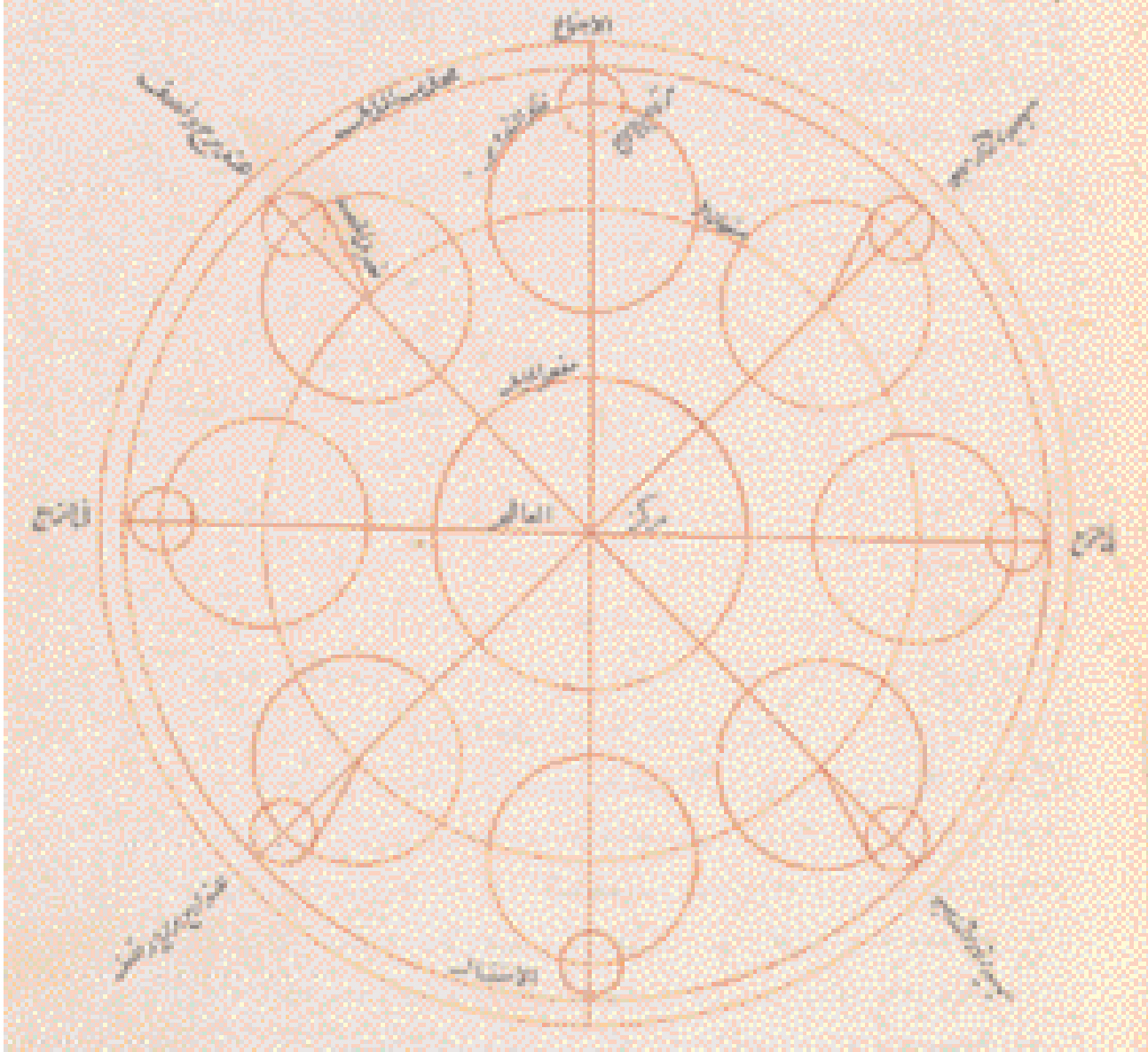
Se ponía en cuestión lo que, en el mejor de los casos, no es más que una caricatura de la historia: la entrega de la “antorcha” del saber de las manos de los griegos de la antigüedad clásica a la Europa cristiana medieval a través de los árabes. De acuerdo con esa visión esquemática, los intermediarios se limitarían a transcribir y traducir los textos de astronomía, filosofía y medicina griegos hasta que Europa despertó de su letargo, asimiló los libros y enarboló de nuevo la antorcha. Semejante cuadro del pasado no concede a la civilización islámica el papel que le corresponde en la revolución científica; subestima, además, la relación, a menudo profunda, que se establece entre culturas y movimientos intelectuales distintos.

¿Qué aportaron los astrónomos islámicos? ¿Qué parte de su saber se transmitió a Europa, sin que ésta reco-

El autor

GEORGE SALIBA, profesor de ciencia árabe e islámica en la Universidad de Columbia, ha centrado su interés investigador en el desarrollo de las teorías planetarias y su transmisión a la Europa del Renacimiento.
© *American Scientist Magazine*.

العرب من سبطه تدريه في كنهه المبدع بعد ما بال الكد على الاثر من فروع الفجر هو ما من اول الكواكب المظلمة
 التي تطلع عليها الفجر من المذلل على التوالي في حصره من بين من فضل بقوله الفجر على ان يكون حصر
الاجزاء في حصره حركات الفجر تاريخ من فروع في كنهها في كنه اول المذلل الفجر نصف النهار يوم المذلل
 المذلل لا يرد في حصره من المذلل الفجر في حصره من فروع في كنهها في كنه اول المذلل الفجر نصف النهار يوم المذلل
 الفجر في كنهها من المذلل الفجر في كنهها من فروع في كنهها في كنه اول المذلل الفجر نصف النهار يوم المذلل
 من اجزاء المذلل الفجر في كنهها من فروع في كنهها في كنه اول المذلل الفجر نصف النهار يوم المذلل



1. TRAYECTORIA DE LA LUNA a través del firmamento, según el modelo propuesto por Ibn al-Shāṭir, astrónomo árabe del siglo XIV. Es idéntico al ofrecido por Copérnico casi dos siglos más tarde. El astrónomo polaco no atribuyó el origen de este modelo a Ibn al-Shāṭir, ni tampoco reconoció que otros árabes le habían precedido en determinados conceptos sobre el movimiento de los planetas

que introdujo en su cosmología heliocéntrica. La esfera de la Luna se halla sobre la circunferencia rotante del círculo menor. Se la muestra en ocho posiciones a lo largo de su trayectoria orbital alrededor de la Tierra. El modelo de Ibn al-Shāṭir mejoró la descripción que Ptolomeo había dado del movimiento de la Luna, en el siglo segundo de nuestra era.

THE BODLEIAN LIBRARY, UNIVERSIDAD DE OXFORD, MS Hunt 547, folio 32 recto



2. LAS TRADUCCIONES ARABES del *Almagest* de Ptolomeo, tal como lo muestran los comentarios escritos en los márgenes de estas páginas, aparecían densamente comentadas. Los escritos de Ptolomeo se sometieron a una crítica severa desde los inicios de su introducción en el mundo islámico en el siglo IX.

nociera tal deuda? No es tarea fácil reunir todas las piezas de la historia. Hay miles de textos árabes sobre ciencia en las bibliotecas importantes de casi todo el mundo, desde Dublín hasta Madrás. En su mayoría, lo mismo que el manuscrito de al-Shāṭir, ignorados por los expertos. Mas de lo recuperado emerge una nueva imagen: frente a la tesis tradicional (la civilización islámica aceptó a pies juntillas el pensamiento astronómico griego en bloque), se ha de afirmar que los astrónomos islamistas cuestionaron numerosos puntos del legado clásico y se esforzaron en crear una nueva astronomía propia. Algunas de tales innovaciones serían, andando el tiempo, adoptadas por Copérnico. Otro autor que emprendió su propia revolución contra la astronomía griega.

Problemas de la visión ptolemaica

Cuando hablamos de astronomía griega nos viene a la mente el nombre de Ptolomeo de Alejandría. Este autor del siglo II d.C., compi-

ló la astronomía de su tiempo en tres obras que ejercerían una influencia perdurable: el *Almagesto*, las *Hipótesis sobre los planetas* y las *Tablas de Mano*. Transcurrieron siete siglos antes de que los escritos de Ptolomeo llegaran al mundo islámico, un intervalo temporal bastante gris para la historia de la ciencia.

El interés repentino que su obra despierta en el siglo IX cabe atribuirlo, en parte al menos, a la rápida expansión del Islam. Los territorios recién conquistados generaron necesidades administrativas de unas proporciones sin precedentes, que, a su vez, requerían elevados niveles de desarrollo científico y técnico. Los escritos de Ptolomeo ofrecían a los pueblos islámicos una geometría que les servía para predecir los movimientos del Sol, de la Luna y de los planetas en relación con las estrellas “fijas”. Se trataba de herramientas muy útiles para, entre otras cosas, confeccionar un calendario lunar preciso, fijar los horarios de las plegarias diarias y, por supuesto, determinar la orientación sagrada (la *qibla*) hacia La Meca desde tierras lejanas.

Se embarcaron en un gigantesco trabajo de traducción, acometido en

distintos centros y bajo el auspicio de varios mecenas; por encima de todos destacó la Casa de la Sabiduría, fundada en Bagdad con ese propósito. A su debido tiempo, algunas de esas traducciones al árabe llegaron de nuevo a Europa a través de España; se tradujeron al latín, posibilitando su estudio en el mundo occidental cristiano. Algunos textos griegos (el *Almagesto*, por ejemplo) se conservaron a través de la Edad Media, pero otros se hubieran perdido para siempre de no haber sido por las traducciones al árabe. Merced a esas versiones se salvó una parte importante del legado clásico. Pero, desde el propio principio, los traductores árabes no se limitaron a la traslación escueta. Corregían errores y comentaban textos. Algunos fallos —transcripciones equivocadas de los textos griegos— carecían de mayor trascendencia; otros errores, sin embargo, resultaban más inquietantes.

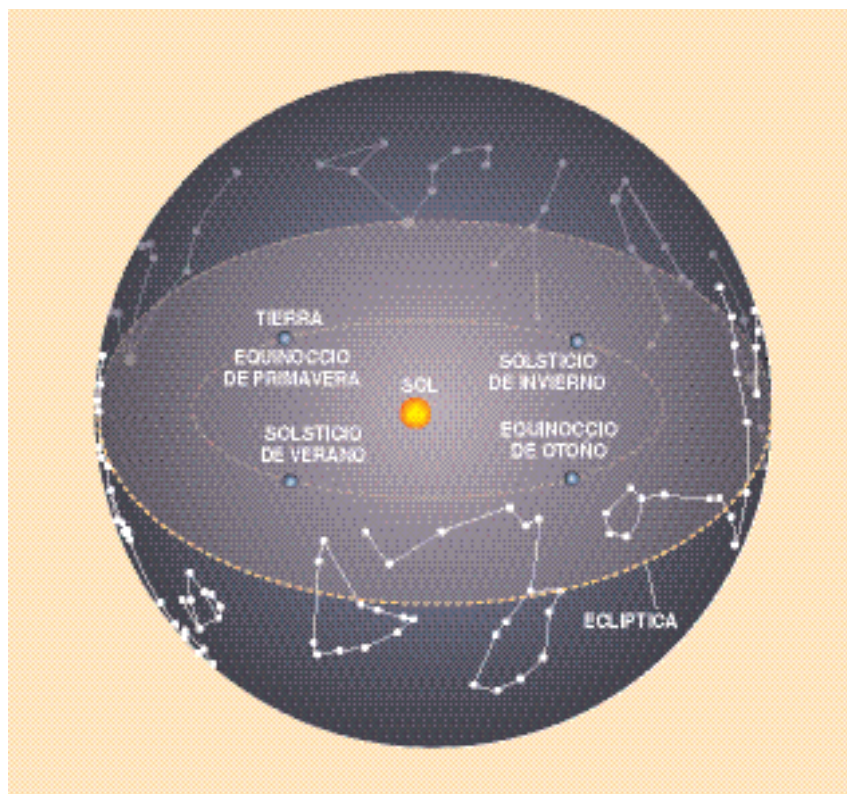
Si se pretendía aplicar esas obras a cuestiones prácticas, algunos de esos errores debían ser corregidos. Ocurría así con la frecuencia del movimiento de precesión. El eje de la Tierra oscila a lo largo del transcurso del tiempo; se comprueba por los cambios de la eclíptica, el movimiento aparente del Sol sobre el fondo de las estrellas. Para un arco temporal de setecientos años, las investigaciones de Ptolomeo predecían un desplazamiento de unos siete grados; los astrónomos de Bagdad midieron, en cambio, una variación de unos diez u once grados. Ptolomeo tampoco acertó en la inclinación precisa de la Tierra, es decir, la inclinación del plano ecuatorial en relación con la eclíptica. Los astrónomos del siglo IX calcularon un valor que se acerca más al hoy aceptado. Por último, Ptolomeo determinó una posición fija para el “apogeo solar”, la distancia máxima entre el Sol y la Tierra en su “órbita geocéntrica”. (Ptolomeo y los astrónomos árabes suponían que el centro del universo lo ocupaba la Tierra.) Pero los astrónomos islámicos observaron que el apogeo solar en realidad se había desplazado unos diez grados a lo largo de siete siglos; su movimiento era más o menos similar al movimiento de precesión.

Al tratarse de una cuestión práctica, los árabes encararon esos errores elaborando unas tablas astronómicas (efemérides) que resolviesen las necesidades cotidianas. Sin embargo, el reconocimiento de que Ptolomeo había cometido errores tan fundamentales propició que se plantearan preguntas de mayor calado a propósito del legado astronómico de los griegos. ¿Fueron responsables de los errores de Ptolomeo los instrumentos que empleó? ¿Siguió tal vez métodos de observación equivocados? ¿O quizás había algo más? Estas preguntas generaron un clima que propiciaba la criba rigurosa de cada detalle de la tradición astronómica griega.

Las grandes preguntas

Los astrónomos teóricos consiguieron librarse de algunos de los problemas que condujeron a los errores ptolemaicos. Descubrieron, por ejemplo, que las técnicas de observación del alejandrino dejaban mucho que desear. Los cálculos de Ptolomeo de la excentricidad del Sol (una forma de caracterizar su “órbita” aparente) y de la posición del apogeo solar no eran correctos porque observó el Sol en los dos equinoccios y los dos solsticios. El inconveniente estriba aquí en lo siguiente: en la segunda mitad de junio y de diciembre el Sol, durante algunos días, sale y se pone en el mismo punto del horizonte, de modo que es muy difícil determinar con exactitud cuándo se produce el solsticio. Los astrónomos islámicos se dieron cuenta de que podían realizarse observaciones más exactas a mitad de las estaciones, cuando el Sol pasa por los puntos intermedios de Tauro, Leo, Escorpión y Acuario. De un solo golpe, superaron a Ptolomeo y resolvieron los problemas del apogeo y la excentricidad del Sol.

Los teóricos mostraron también un profundo interés por los cimientos cosmológicos de la astronomía ptolemaica. El alejandrino adoptó la cosmología de Aristóteles, que defendía la incrustación de planetas y estrellas en esferas celestes concéntricas en torno a la Tierra. Se su-



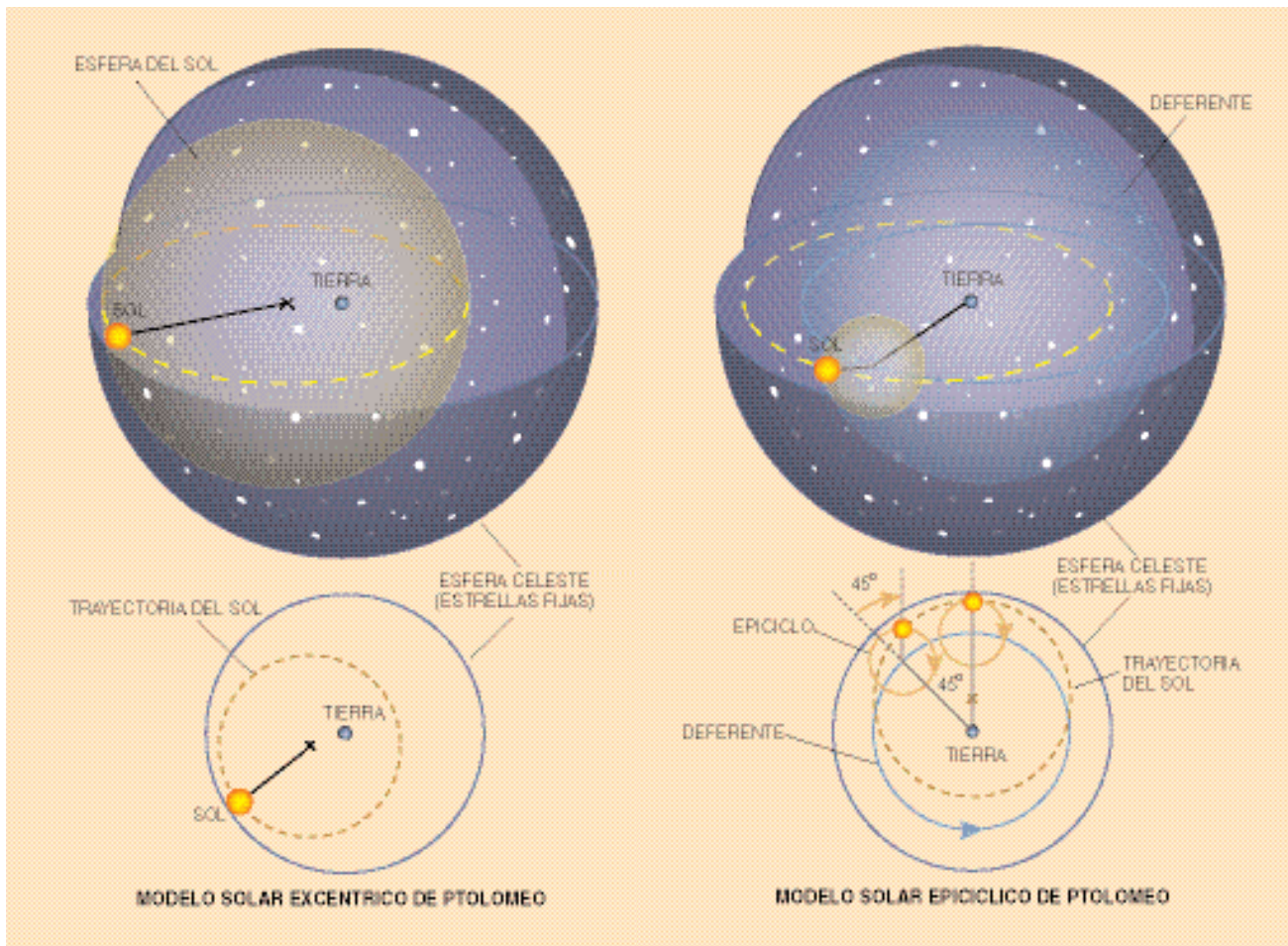
3. TRAYECTORIA DE LA TIERRA alrededor del Sol. Su curso provoca ilusiones ópticas que deben explicarse en un universo geocéntrico. A lo largo de un año, el Sol parece moverse por el cielo como si siguiese un camino, la eclíptica, que pasa por las doce constelaciones del zodiaco (*figuras blancas*). Los dos solsticios señalan los momentos del año en que el eje de la Tierra se inclina más hacia el Sol o en sentido opuesto. Los equinoccios señalan los dos puntos en que el ecuador celeste (la proyección del plano del ecuador de la Tierra en el espacio) corta la eclíptica. Los astrónomos griegos y los árabes del Medievo intentaron explicar esos fenómenos con modelos en los que se suponía que el universo era geocéntrico.

ponía que esferas y cuerpos celestes estaban hechos del mismo “elemento” simple: el éter. A diferencia de los demás elementos —la tierra, el fuego, el agua y el aire—, el éter era perfecto y divino; carecía de propiedades terrestres tales como la fricción. A primera vista todo eso parecía coherente. Ptolomeo aceptó los elementos de Aristóteles sin cuestionarlos.

Los problemas empezaban cuando el alejandrino abordaba la mecánica celeste dentro del marco de la cosmología aristotélica. Ptolomeo propuso que una novena esfera, la más exterior, era la responsable del movimiento diario de su vecina, la octava esfera, sustentadora de las estrellas fijas; de ese modo explicaba el fenómeno de la precesión. Muḥammad b. Mūsā, en el siglo IX,

reflexionó sobre la novena esfera ptolemaica y se dio cuenta de que, lisa y llanamente, no podía haber tal cubierta. ¿Cómo iba a mover una esfera sin fricción a otra esfera sin fricción, si ambas giraban alrededor del mismo centro?

Se desencadenó un debate filosófico entre los estudiosos islámicos. ¿En qué consistía el éter? ¿Cuál era la verdadera naturaleza de las esferas? ¿Era posible que los cuerpos celestes tuvieran propiedades que contradecían la naturaleza que originalmente los definía? En cierto modo, la búsqueda de la coherencia entre la definición original de los cuerpos celestes y sus propiedades aparentes se convirtió en la principal preocupación de la astronomía islámica. Tal vez resida ahí la diferencia fundamental entre



4. PTOLOMEO PROPUSO DOS MODELOS GEOCÉNTRICOS para explicar el movimiento del Sol, que, durante parte del año, parecía disminuir velocidad, lo que hacía pensar que, en esos períodos, el Sol se encontraba más alejado de la Tierra. En su modelo "excéntrico" (*izquierda*) presupuso que el centro de la Tierra no coincidía con el centro de la esfera que arrastraba al Sol. En su modelo "epicíclico" (*derecha*) imaginó la existencia de una esfera portadora, el *deferente*, cuyo centro coincidía con el de la Tierra, pero colocó el Sol en otra esfera, *epiciclo*, a la

que arrastraba la esfera deferente. Es más fácil entender la acción del modelo epicíclico (*derecha abajo*) si consideramos el movimiento del deferente y el del epiciclo en dos pasos. En primer lugar, imaginemos que el deferente arrastra el epiciclo 45 grados en sentido antihorario. A continuación el epiciclo gira, en sentido horario, los mismos grados. Cuando el deferente haya dado una vuelta completa, la combinación de esos dos movimientos habrá descrito la trayectoria del Sol alrededor de la Tierra (*línea marrón*).

los astrónomos islámicos y sus predecesores griegos.

Una vez establecida esta línea de reflexión, los árabes se dieron cuenta de que la astronomía griega estaba preñada de disparates cosmológicos. Debían, pues, reformar esa astronomía y crear una nueva, exenta de contradicciones. Las cuestiones cosmológicas que más preocupaban a los astrónomos islámicos admitían un enunciado sencillo. Resolverlas era harina de otro costal. Se necesitaron, en primer lugar, generaciones de astrónomos para articular los problemas de la forma adecuada y todavía más generaciones para

luego resolverlos. Así fue forjándose una astronomía distinta, de la que se beneficiaría la copernicana.

No deberíamos precipitarnos en calificar de ingenuos a Ptolomeo y a sus discípulos por no haberse liberado de las ideas aristotélicas sobre las esferas y el universo geocéntrico. Los resultados observacionales que proporcionaba esa cosmología, equivocada o no, eran excelentes y permitían predecir las posiciones de los planetas en cualquier momento y en cualquier lugar. Antes de la ley de gravitación universal de Newton, en el siglo XVII, no había otra cosmología

que explicase tanto del universo observable y tan sistemáticamente.

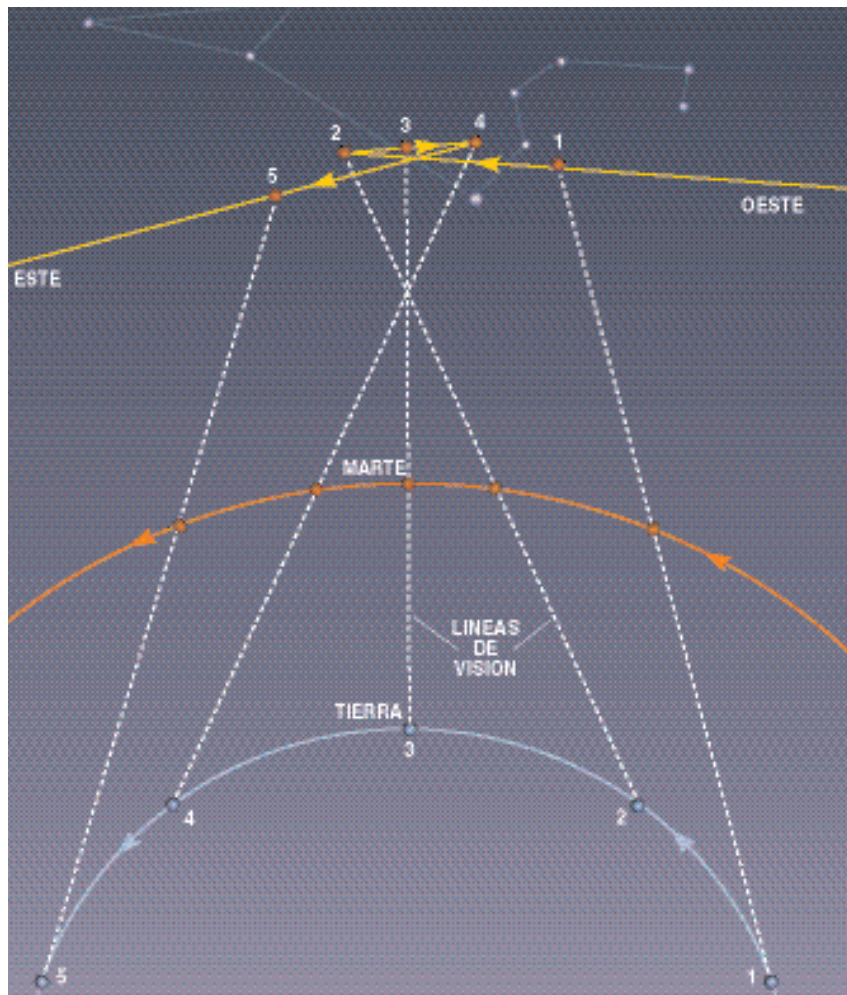
Todo son esferas...

En algún grado, Ptolomeo tenía que ser consciente de las dificultades que conllevaba una adhesión estricta a la cosmología aristotélica. No le era posible explicar ni los movimientos planetarios más simples sin incumplir alguna de las restricciones de Aristóteles. Consideremos el movimiento del Sol. Si la Tierra ocupase el centro de la esfera celeste, entonces el Sol se

movería por el cielo a una velocidad uniforme durante todo el año, porque no variaría la distancia que nos separaría del astro. Pero eso no es lo que ocurre: en los meses de primavera y verano, en el hemisferio norte, el Sol parece avanzar más lentamente de lo que lo hace durante el otoño y el invierno. (Sabemos ahora que la primavera y el verano son más largos que el otoño o el invierno porque la Tierra está más lejos del Sol durante esos meses, de modo que tarda más en viajar de un equinoccio al otro.)

Ptolomeo aborda este problema en el *Almagesto III* (el tercero de trece libros), donde da a elegir a sus lectores entre dos modelos que pretenden explicar la razón por la que unas estaciones duran más que las otras. En su modelo excéntrico proponía que el centro de la Tierra no coincidía con el centro de la esfera que arrastraba al Sol en su curso anual. Puesto que el Sol orbitaba alrededor de la Tierra, parecía, en consecuencia, estar más lejos (y moverse más lentamente) durante parte del año. En su modelo epicíclico, supuso la existencia de una “esfera portadora”, posteriormente llamada deferente, que era concéntrica con el centro de la Tierra; colocó el Sol en otra esfera, llamada epiciclo, a la que arrastraba la esfera deferente y cuyo radio era igual a la excentricidad del primer modelo. Como epiciclo y deferente se movían a la misma velocidad, aunque en sentido opuesto, el Sol, situado sobre la superficie del epiciclo, describía un círculo cuyo diámetro igualaba la diferencia entre la posición del Sol más cercana a la Tierra y la más lejana.

Ambos modelos permitían por igual explicar el curso aparente del Sol. Al elegir, Ptolomeo optó por el axioma clásico de simplicidad y se inclinó por el modelo excéntrico; por una razón de economía: sólo requería una esfera. Lo que no dijo, sin embargo, es que ambos violaban la cosmología aristotélica. En el modelo excéntrico, la Tierra no era el centro de la “pesantez”, y eso contradecía la tesis aristotélica de una Tierra en el mismo centro del universo. Por otro lado, en el modelo del epiciclo se admitía la existencia de una esfera epicíclica



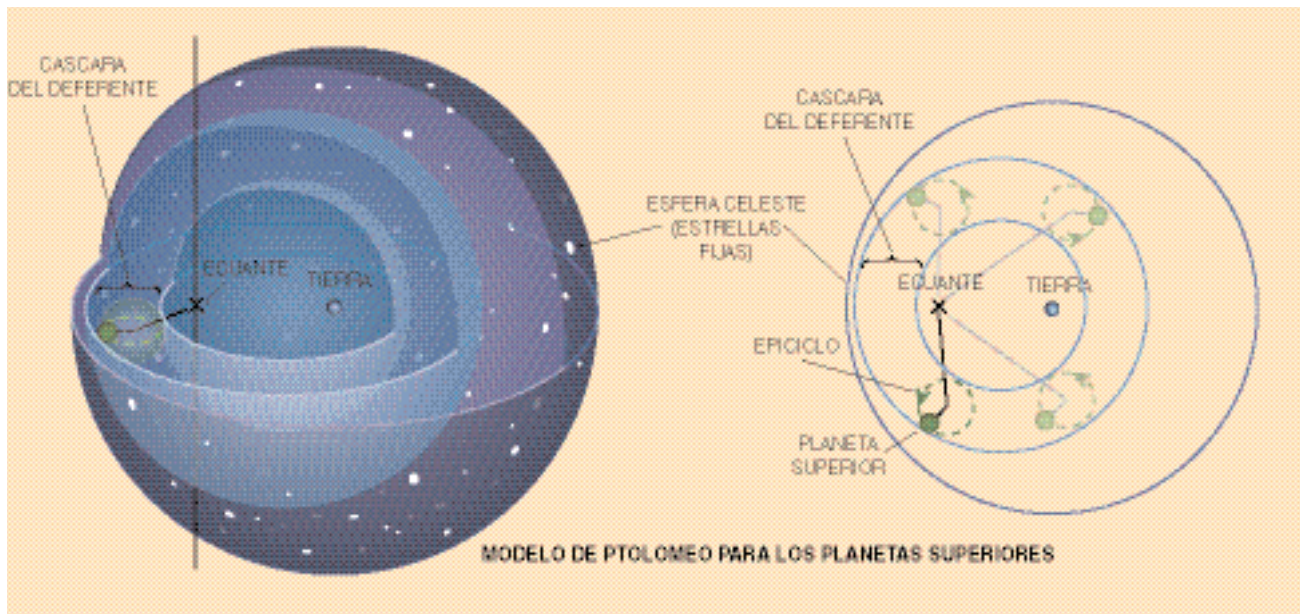
5. EL MOVIMIENTO APARENTE (línea amarilla) de un “planeta superior”, como Marte, en relación con las “estrellas fijas” incluye un movimiento retrógrado (del este al oeste) cuando la Tierra sobrepasa al “planeta superior” en la “vía interna” de sus respectivas órbitas en torno al Sol. Ptolomeo inventó extraños modelos geocéntricos para explicar ese comportamiento (véase la figura 6).

que tenía su propio centro de pesantez y que no se movía por sí misma, sino arrastrada por el movimiento de la esfera deferente. Todo esto entraba en conflicto con la simplicidad del éter y creaba un centro de pesantez a extramuros de la Tierra.

Ptolomeo no entraba en la justificación de tales violaciones y dejaba entender al lector que se trataba de transgresiones sin relevancia. A finales del siglo XII, algunos árabes andalusíes abordaron el problema, en particular las transgresiones en cuestión. El resto del mundo islámico, sin embargo, secundó el silencio de Ptolomeo. Al fin y al cabo, los modelos del alejandrino permitían establecer

predicciones de una precisión aceptable.

Ese silencio se rompió el siglo XIV. Ibn al-Shāṭir afirmó en Damasco que el modelo excéntrico violaba la cosmología de Aristóteles y debía abandonarse. Ibn al-Shāṭir, tras desterrar todos esos modelos de su propia astronomía geocéntrica, tomó un rumbo interesante: cuestionó la naturaleza del éter de Aristóteles. Si el firmamento entero estaba hecho de éter —las esferas, los planetas y las estrellas—, ¿cómo explicar que las estrellas emitieran luz y no brillaran las esferas que las portaban? Ibn al-Shāṭir concluyó que el éter tenía que ser un compuesto (*tarkībun mā*); no podía ser tan simple como se había admitido hasta entonces.



6. EL MODELO CON QUE PTOLOMEO explicaba el movimiento de los planetas superiores implicaba una construcción sin sentido físico que inquietó profundamente a los astrónomos árabes. Ptolomeo proponía que una esfera portadora, o deferente (*azul claro*), giraba *sin cambiar de lugar* alrededor de un eje que pasaba, no por el centro de la esfera, sino por “el centro de la ecuación del movimiento”

(más tarde llamado “ecuante”). Ese movimiento es físicamente imposible, y no se llegó a una solución del problema hasta el siglo XIII, gracias al astrónomo Mu’ayyad al-Dīn al-’Urdī. Copérnico empleó el teorema de ’Urdī en sus modelos explicativos del movimiento de los planetas. En este gráfico el planeta está incrustado en un epiciclo que se mueve por el interior del deferente.

Argumentaba que, si ese tipo de compuesto podía aceptarse en el firmamento, entonces los epiciclos también debían tolerarse, puesto que incluso el tamaño del mayor de los epiciclos planetario no podía compararse con la estrella fija más insignificante. Al incluir los epiciclos, Ibn al-Shāḥir consiguió construir modelos totalmente geocéntricos compatibles con su nueva visión de la cosmología aristotélica, con las observaciones de Ptolomeo y con las de astrónomos posteriores, más refinadas.

Si los modelos ptolemaicos sobre el curso del Sol pueden parecerse forzados, lo son todavía más sus configuraciones planetarias. Saturno, Júpiter, Marte y Venus siguen trayectorias extrañas: en ocasiones parecen moverse más despacio, de vez en cuando se detienen o incluso emprenden un movimiento retrógrado en relación con las estrellas. Para explicar esos movimientos Ptolomeo se vio obligado a abandonar la simplicidad y a incorporar la esfera excéntrica y la epicíclica. (Sus descripciones del movimiento de la Luna y de Mer-

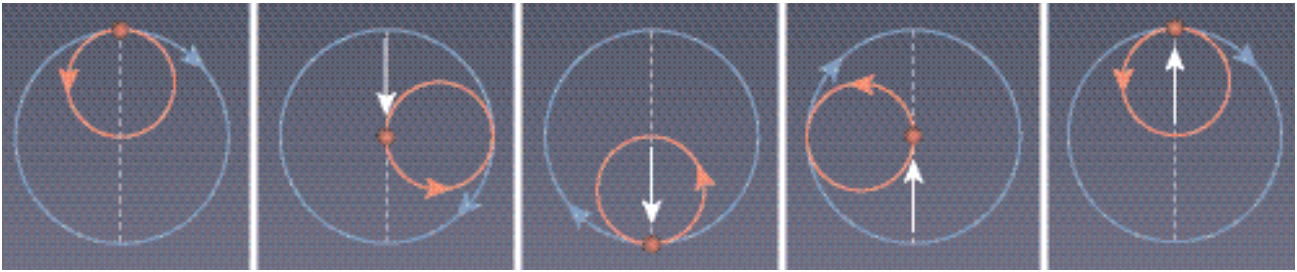
curio revisten incluso mayor complejidad.)

En esos modelos combinados, Ptolomeo supuso, para cada planeta, la existencia de una esfera excéntrica (el deferente) cuyo grosor posibilitara transportar, en el interior de su estructura, similar a un caparazón, a un epiciclo sólido. A su vez, el planeta estaba engastado en la superficie del epiciclo. El alejandrino no se pronunció tampoco sobre estas violaciones, pese a que la situación era todavía peor desde el punto de vista cosmológico. A diferencia de lo que ocurría en su modelo sobre el curso del Sol, el epiciclo y el deferente ya no se movían a la misma velocidad. Era el movimiento del epiciclo el que daba cuenta del movimiento del planeta. Puesto que la trayectoria seguida por el planeta era independiente del movimiento descrito por el deferente, ya no podía usarse para esconder la violación de la excentricidad, como se había hecho en el caso del Sol.

Quizás el aspecto más enojoso de ese modelo era que los deferentes de los planetas no se movían

alrededor de sus centros. Según Ptolomeo, giraban uniformemente, sin desplazarse, en torno a un eje que atravesaba “el centro de la ecuación del movimiento”, lo que en tiempos medievales recibió el nombre de ecuante. La noción de ecuante fue “la gota que colmó el vaso” para algunos astrónomos islámicos: carecía de todo sentido físico. Intentemos imaginar una esfera que, sin moverse de sitio, gira sobre sí misma alrededor de un eje que no pasa por su centro (véase la figura 6).

Muchos astrónomos se esforzaron por resolver el problema del ecuante, entre ellos un alumno de Avicena, médico y filósofo famoso del siglo XI. Sólo lo consiguió, dos centurias después, Mu’ayyad al-Dīn al-’Urdī, astrónomo de Damasco. Su teorema, conocido hoy por lema de ’Urdī, reproducía los movimientos aparentes de los planetas con la ayuda de un deferente que se movía uniformemente y sin desplazarse alrededor de un eje que atravesaba su centro. Siglos más tarde, Copérnico empleó ese teorema para explicar las trayectorias pla-



netarias en su cosmología heliocéntrica.

El modelo de Ptolomeo explicaba el movimiento en “longitud” de los planetas por el cielo. El movimiento en “latitud” requería otro mecanismo. En el caso de Venus, por ejemplo, Ptolomeo supuso que el “plano ecuatorial” del deferente oscilaba arriba y abajo, en un movimiento de vaivén. Propuso un mecanismo consistente en dos círculos pequeños, perpendiculares al plano ecuatorial y que reposaban sobre su circunferencia. La medida de los circulitos se correspondía con la amplitud del movimiento en latitud del planeta; así, cuando el plano ecuatorial giraba sobre esos círculos describía un movimiento oscilante.

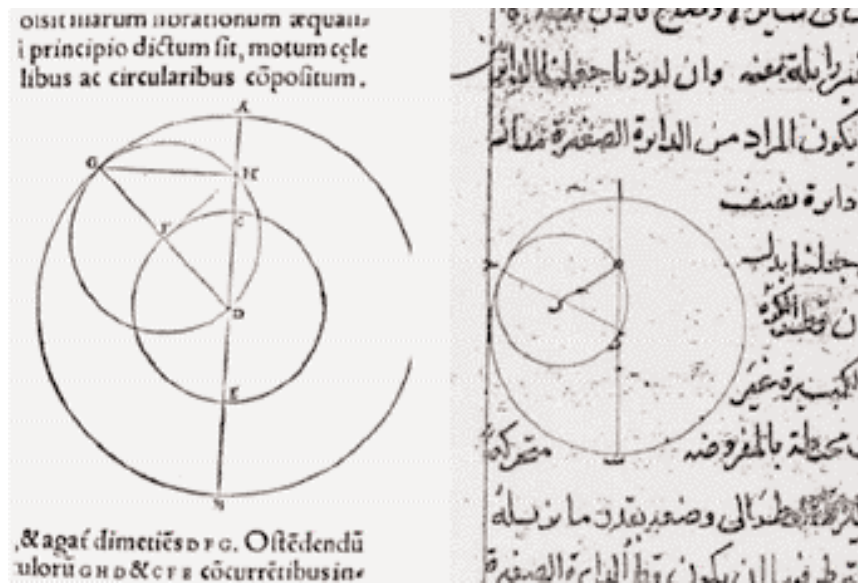
Pero ese mecanismo no funciona. Al sujetar los círculos a los extremos del diámetro ecuatorial del deferente se generaría un tambaleo que afectaría a los movimientos en longitud (que, si no fuera por ello, resultarían precisos). Huelga decir, además, que no hay modo de encajar todo esto en una cosmología aristotélica que propugna que todos los movimientos celestes son uniformemente circulares. En el firmamento no cabían oscilaciones. En palabras de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, astrónomo del siglo XIII: “Ese modo de hablar resulta ajeno a nuestro oficio”, una forma sutil de decir que la descripción de Ptolomeo carecía de sentido. Y parece que Ptolomeo se dio cuenta de ello. En su propia defensa, recurrió a la debilidad de los mortales que osaban intentar entender la mente de Dios: “No permitamos ahora que nadie, al considerar la complicada naturaleza de nuestros mecanismos, repunte artificiosas tales hipótesis. Porque no es adecuado comparar las [construcciones] humanas con las divinas, ni fundamentar en analogías tan dispares nuestras creencias so-

7. EL PAR de Ṭūsī genera un movimiento lineal (línea blanca) a partir de un movimiento circular uniforme (círculo rosa y círculo azul). Con ello resuelve muchos de los problemas que tanto preocupaban a los astrónomos de la antigüedad. Aquí el círculo azul arrastra el círculo rosa en sentido horario, mientras que el círculo rosa gira en el sentido contrario a las agujas del reloj en torno a su eje central. De los dos movimientos circulares resulta el movimiento lineal (flecha blanca) de un objeto (bola roja) a lo largo del círculo rosa. El mecanismo, ideado por el astrónomo del siglo XIII Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, se empleó para explicar el movimiento en latitud de los planetas en las cosmologías geocéntricas, y cuenta todavía con un amplio abanico de aplicaciones.

bre cuestiones de tamaño importancia...”

Al final fue Ṭūsī quien aportó una solución para el problema del movimiento en latitud. Su brillante teorema consistía en dos esferas, una un semidiámetro de la otra e insta-

lada tangencialmente en su interior (véase la figura 7). El mecanismo de Ṭūsī generaba un movimiento lineal a partir de un movimiento circular uniforme; acababa, pues, con la división de Aristóteles, durante tanto tiempo defendida, entre los mo-



8. LA PRUEBA DE COPERNICO del par de Ṭūsī (izquierda) es idéntica a la que empleó el propio Ṭūsī (derecha), incluyendo los signos alfabéticos que dan nombre a los correspondientes puntos del diagrama. Copérnico recurrió también al par de Ṭūsī para justificar el movimiento de Mercurio del mismo modo en que lo hizo Ibn al-Shāfir. ¿Cómo llegó a conocer Copérnico los trabajos de los astrónomos islámicos? Los historiadores han propuesto muchas posibilidades, pero se resuelva o no el misterio, está claro que hay conexiones profundas entre la tradición astronómica de los griegos de la Antigüedad, la de los árabes de la Edad Media y la de la Europa del Renacimiento. (Imagen del *De Revolutionibus* de Copérnico, cortesía de la American Philosophical Society. La imagen del texto árabe es cortesía de la Biblioteca del Vaticano.)

vimientos lineales del mundo sub-lunar y los movimientos circulares de los cielos. Ese mecanismo, denominado ahora par de **Tūsī**, ofrece una amplia gama de aplicaciones posibles, entre ellas la transformación del movimiento lineal de un pistón en el movimiento circular de una rueda. Quedó constancia de su origen astronómico en su designación metafórica, “el mecanismo del Sol y los planetas”, cuando se aplicó a la máquina de vapor. Copérnico lo utilizó para explicar el movimiento de los planetas en el marco de su cosmología heliocéntrica.

¿Coincidencia?

Para entender bien los fundamentos de la astronomía moderna, importa distinguir entre la astronomía griega y la árabe. De no haber sido por las aportaciones de los astrónomos islámicos, la transición de la ciencia clásica griega a la europea del Renacimiento habría sido muy diferente. Los problemas inherentes a la obra de Ptolomeo eran demasiado profundos y se necesitaron varias generaciones de astrónomos árabes para organizarlos y resolverlos.

La dificultad principal residía en el lenguaje matemático empleado por Ptolomeo para describir los movimientos de los planetas, que socavaba los fundamentos físicos de la cosmología geocéntrica de Aristóteles. Si se hubiera tratado de simples errores de observación o incluso de método, la cuestión no habría sido tan grave. Sin embargo, al explicar la cosmología de Aristóteles mediante una descripción matemática que obviaba sus propiedades básicas, Ptolomeo creó un mundo artificioso y contrario al sentido común. El ecuante, por ejemplo, describía una esfera que no tenía las propiedades de las esferas. Este era el problema nuclear de la astronomía griega; demandaba una revisión en profundidad.

En sus primeros trabajos, Copérnico también se ocupó de las contradicciones matemáticas del alejandrino. Pero el problema del ecuante le preocupaba más que la cosmología geocéntrica. Pese a todo, esa cuestión no se resolvía con la hipótesis

de un universo heliocéntrico, puesto que Copérnico admitía que el movimiento de los cuerpos celestes era circular, no elíptico. Precisaba, pues, del ecuante para describir trayectorias que, en realidad, eran elípticas. (Al incorporar la órbita de la Tierra dejó de necesitar los epiciclos.) La lectura atenta de las investigaciones de Copérnico muestra que sólo empleó dos teoremas que no se hallasen ya en las fuentes griegas; a saber: el lema de **Urqī** y el par de **Tūsī**. Y los utilizó en el siglo XVI para resolver precisamente los mismos problemas a los que se enfrentaron los astrónomos islámicos en el siglo XIII. (En buena medida, el cambio hacia una cosmología heliocéntrica sólo reorienta el vector que conecta la Tierra y el Sol, lo que no obsta para que arruine de paso aspectos de la cosmología de Aristóteles que Copérnico intentaba preservar.)

Había otras semejanzas entre los trabajos de Copérnico y la astronomía árabe del Medievo. La reconfiguración con la que Copérnico describía el curso de la Luna, un cuerpo celeste estrictamente geocéntrico, resultó ser idéntica, vector a vector, a la configuración propuesta por Ibn al-Shāṭir al menos dos siglos antes. Y el modelo de Copérnico de la trayectoria de Mercurio empleaba el par de **Tūsī** de un modo idéntico, en cuanto a la colocación y a la función, al modelo de Mercurio de Ibn al-Shāṭir.

La pregunta resulta obligada: ¿Cómo llegó Copérnico a esos mismos conceptos? Según parece, no leía árabe y, por lo que sabemos, los trabajos mencionados no se habían traducido al latín.

Los historiadores disponen de varias pistas. Otto Neugebauer abrió un camino al hallar un manuscrito griego bizantino, traducido del árabe, que contenía algunos de los resultados obtenidos por los astrónomos islámicos. Copérnico conocía el griego y pudo haber tenido la oportunidad de leer el texto a principios del siglo XVI, cuando estudiaba en Italia (donde se conserva el manuscrito).

Más recientemente, he ponderado otra posibilidad. En mis visitas a diversas bibliotecas europeas he descubierto algunos manuscritos árabes sobre astronomía planetaria; en-

tre ellos, una copia de la crítica de **Tūsī** a Ptolomeo. Parece que esos manuscritos pertenecieron a estudiosos contemporáneos de Copérnico que entendían muy bien el árabe escrito, tal como lo evidencian las notas en latín añadidas al margen. ¿Le hicieron partícipe de su contenido a Copérnico? Noel Swerdlow, de la Universidad de Chicago, y Neugebauer incluso han sugerido que las enseñanzas de muchos de

los escritos árabes eran de dominio público en la Italia del siglo XVI.

Quedan cuestiones pendientes. ¿Por qué los astrónomos árabes, que tanto se esforzaban en hacer un planteamiento distinto de la astronomía ptolemaica, seguían aferrados a la cosmología aristotélica? ¿Por qué Copérnico, que había dado los pasos para ofrecer una versión matemática coherente de la cosmología aristotélica, lo abandonó todo y situó al Sol en el centro del universo? No tenía ni el menor vislumbre de la existencia posible de un factor que, como la gravedad de Newton, pudiera explicar por qué el universo se mantiene unido. Basándonos en lo que sabía, podríamos incluso acusar a Copérnico del mismo crimen de Ptolomeo: aceptar un recurso matemático sin tener una cosmología que lo respaldara. Por lo menos los astrónomos árabes siempre fueron coherentes.

En resumidas cuentas, si queremos discernir lo que la ciencia europea del Renacimiento debe a los árabes y lo que éstos tomaron de los griegos, habrá que afinar nuestros conceptos analíticos.

Bibliografía complementaria

- ASTRONOMY AND HISTORY: SELECTED ESSAYS. O. Neugebauer. Springer Verlag; Nueva York, 1983.
- STUDIES IN THE ISLAMIC EXACT SCIENCES. Dirigido por E. Kennedy, D. King y M. H. Kennedy. American University of Beirut; Beirut, 1983.
- MATHEMATICAL ASTRONOMY IN COPERNICUS'S *DE REVOLUTIONIBUS*. N. Swerdlow y O. Neugebauer. Springer Verlag; Nueva York, 1984.
- A HISTORY OF ARABIC ASTRONOMY: PLANETARY THEORIES DURING THE GOLDEN AGE OF ISLAM. G. Saliba. New York University Press; Nueva York, 1994.