

COPÉRNICO: SUS OBRAS ASTRONÓMICAS

JUAN VERNET GINÉS

CATEDRÁTICO DE LENGUA ÁRABE DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

El año 1973 tuvo un notable interés cultural ya que en él se celebró el quinto centenario del nacimiento de COPÉRNICO. Las Uniones Internacionales de Astronomía y de Historia de la Ciencia venían dedicando, desde mucho antes, grandes esfuerzos a preparar tan fausta efemérides cuya trascendencia escapa del campo propiamente astronómico para irrumpir en los de las más variadas disciplinas, desde la filosofía a la historia social; desde la física a la literatura. Por ello nos parece oportuno ocuparnos hoy de sus aportaciones científicas, astronómicas, ya que son éstas el sustrato de la "revolución copernicana" que tanta trascendencia ha tenido en la evolución del pensamiento humano.

No tengo por qué reiterar lo que puede leerse en multitud de monografías: si COPÉRNICO fue polaco o alemán; sacerdote o no; político activo o simple canónigo. Prefiero adentrarme de lleno y rápidamente en el tema mucho más árido y más técnico constituido por el análisis de sus dos grandes obras astronómicas, el *Commentariolus* y el *De revolutionibus*, ya que del mismo se pueden sacar algunas conclusiones que creo que tienen su interés acerca de sus fuentes de información y, por ende, de su deuda con el pasado.

Empecemos por examinar su método y sus instrumentos de trabajo: la nueva teoría se basa en un análisis muy cerrado de todas las observaciones de los astrónomos que le habían precedido y en las suyas propias. En este aspecto RÉTICO es concluyente:

"Mi Maestro tiene delante de los ojos, siempre, las observaciones de todas las épocas junto con las suyas propias. Están reunidas en orden, como si se tratara de un catálogo. Cuando puede sacarse alguna conclusión o hacer alguna contribución a la ciencia a sus principios, examina las observaciones desde las más antiguas hasta las más recientes buscando las relaciones mutuas que las expliquen; los resultados así obtenidos por deducciones correctas guiado por URANIA los compara con las hipótesis de TOLOMEO y de los antiguos; estudiando con suma atención tales hipótesis se da cuenta de que una demostración geométrica exige que se abandonen; idea nuevas hipótesis, sin duda con la inspiración divina y el favor de los dioses; utiliza de nuevo las matemáticas y establece geoméricamente la conclusión que puede deducirse de una idea correcta. A continuación armoniza las antiguas observaciones y las suyas propias y con sus hipótesis y, tras haber realizado todas estas operaciones, expone, por fin, las leyes de la astronomía."

Nos consta que COPÉRNICO realizó observaciones astronómicas como mínimo desde el momento de su llegada a Italia. Al instalarse en su diócesis continuó con las mismas y para poder efectuarlas en buenas condiciones compró, en 1513, ochocientas piedras y un barril de cal con lo que edificó

una torrecita en Frombork. En ella debió instalar los instrumentos astronómicos contruidos por él mismo, que eran los tradicionales de la astronomía medieval dado que en su época no se habían descubierto aún los anteojos. Posiblemente eran de madera de pino y las divisiones, hechas a mano, estaban marcadas con tinta. Eran:

1) El *cuadrante* (*De revolutionibus* 2,2) muy simplificado en comparación con los utilizados por PEUERBACH y REGIOMONTANO. Debía tener un radio relativamente importante, entre 1,5 y 1,75 m para poder dividir el limbo en grados y éstos, a su vez, en minutos —si era posible— o si no en el mayor número de partes alícuotas, (de 5' en 5' o de 10' en 10') para realizar observaciones de posición de la mayor exactitud. Ahora bien, dada la materia de construcción (madera, piedra o metal) y la falta de máquinas de dividir los limbos —éstas aparecieron a mediados del siglo XVIII v. g. la del duque de Chaulnes— era puramente ilusorio pretender obtener una gran aproximación. RÉTICO (*Efemérides*, 1551) refiere que COPÉRNICO le había dicho que si pudiera conseguir observaciones con una precisión de 10' se consideraría más feliz que PITÁGORAS después del descubrimiento de su teorema. Una vez construido el aparato debía situarse en el plano del meridiano y determinar el eje de sombra del cilindro situado en el cuarto de círculo. Luego podía pasar a determinar el ángulo de altura del Sol al mediodía y a calcular la latitud geográfica y la inclinación de la eclíptica. Este aparato fue quemado por los caballeros teutónicos en su ataque a Frombork en 1520.

2) La *esfera armilar* o *astrolabio esférico* (*De revolutionibus* 2,14). Nos dice que fue ideado por TOLOMEO (*Almagesto* 5,1) para poder observar las estrellas. La descripción de COPÉRNICO es confusa pero establece que está compuesto de seis aros de los cuales dos se cortan en ángulo recto y constituyen el plano de la eclíptica, dividida en grados, y de un círculo de longitud celeste, con entalladuras, que puede deslizarse a lo largo de los polos de la eclíptica. El radio de este aparato debió ser de unos 40 cm.

3) El *triquetrum* o instrumento paraláctico llamado también por COPÉRNICO y TYCHO BRAHE "dioptra de Hiparco" (*De revolutionibus* 4,15; *Almagesto* 5,12) utilizado, entre otras cosas, para medir el diámetro aparente de la Luna. Se compone de tres varillas, dos de las cuales tienen la misma longitud (200 cm), y la tercera constituye la hipotenusa de ese triángulo isósceles. Las dos varillas iguales están divididas en 1.000 partes y la hipotenusa en 1.414. Uno de los lados iguales se coloca en los goznes fijados en el pilar que le sirve de base lo cual le permite girar en torno a un eje. Este sistema de fijación parece utilizarse por primera vez en Europa en esa época pero era conocido desde siglos antes en los observatorios de Maraga y Samarcanda. Las otras dos se mantienen en el mismo plano y fijas, con ayuda de un eje, al borde superior (lado de la misma longitud) y al borde inferior (hipotenusa). La varilla superior y móvil tiene pínulas; la arista de la misma al resbalar sobre las divisiones de la varilla inferior indica la cifra según la cual, en la tabla de cuerdas, puede leerse la distancia que separa de la vertical el cuerpo observado.

Este instrumento, construido por COPÉRNICO, fue regalado en 1584 a TYCHO BRAHE.

4) Posiblemente COPÉRNICO tuvo un cuadrante solar transportable pero se ignora a qué tipo pertenecía.

5) En cambio se conservan fragmentos del cuadrante solar de reflexión que construyó en la galería septentrional del castillo de Olsztyn y que domina la puerta de la habitación ocupada por COPÉRNICO mientras administró la diócesis de Warmia. Le permitía conocer con exactitud la llegada de los equinoccios. La luz del sol llegaba hasta él mediante dos espejos, uno para las horas de la mañana y otro para las de la tarde, y las líneas horarias se habían trazado de un modo empírico mediante cotejo con la hora verdadera marcada por un cuadrante situado a la intemperie.

Con estos instrumentos elementales realizó cerca de un centenar de observaciones de las cuales sólo utilizó parte para su *De revolutionibus*.

Este libro (1,10) al referirse a Marte en las vecindades de la conjunción dice que se confunde con las estrellas de segunda magnitud, es decir, COPÉRNICO confirma la utilización en Europa de un cierto tipo de sextante, instrumento de raigambre árabe, destinado a distinguir las estrellas.

Estos instrumentos tan simples debieron servir a COPÉRNICO para realizar sus observaciones astronómicas que muy pronto le llevaron al convencimiento de que nuestro sistema planetario tenía por centro el Sol. En efecto, al dedicar el *De revolutionibus* a Paulo III, dice:

“Puedo imaginar, Santo Padre, que cuando algunas gentes sepan que en los libros que he escrito sobre las *Revoluciones de las esferas del mundo* sostengo que la Tierra tiene varios movimientos, protestarán y sostendrán que mis teorías y yo mismo debemos ser condenados inmediatamente... Es por esto por lo que cuando yo pensaba me daba cuenta de lo absurda que van a considerar esta obra aquellos que saben que a lo largo de los siglos se ha mantenido la opinión de que la Tierra está inmóvil en medio del cielo, como si fuera su centro, si yo afirmaba que la Tierra se mueve. Por tanto, me preguntaba si debía publicar mis comentarios escritos para demostrar ese movimiento o si, por el contrario, no sería mejor seguir el ejemplo de los pitagóricos y de algunas otras gentes que, tal como lo atestigua la epístola de LYSIAS a HIPARCO, tenían por costumbre no transmitir los misterios de la Filosofía más que a sus amigos y allegados y aun no por escrito, sino sólo oralmente... Mis amigos, sin embargo, me han convencido después de mucho tiempo de vacilar y resistir. El primero entre ellos ha sido NICOLÁS SCHÖNBERG (1472-1537), cardenal de Capua, célebre en todos los dominios del saber; luego TIEDEMAN GIESE, obispo de Chelmno (Kulm) (1480-1550) que me aprecia mucho, estudioso de todas las cosas sagradas y de las buenas letras. Éste, frecuentemente, me había exhortado y es más, me había impulsado mediante repetidos reproches, a editar este libro (*De revolutionibus*) y dar a luz la obra que tenía guardada no durante nueve años sino durante cuatro veces nueve años.”

Las dos oraciones, unidas por la copulativa *et* (y), aluden por un lado al *De revolutionibus*, terminado entre 1529 y 1531, o sea que al ser enviado a la imprenta hacía ya nueve años que estaba escrito, y por el otro al *Commentariolus de hypothesis motuum coelestium a se constitutis*. Esta obra permaneció desconocida a los eruditos hasta que aparecieron manuscritos de

la misma a mediados del siglo XIX en las bibliotecas de Viena y Estocolmo. Fue compuesta, según ROSEN, entre el 15 de julio de 1502 y el 1 de mayo de 1514, es decir, que la fecha concuerda bien con la alusión de COPÉRNICO (1540—36 = 1504) y en consecuencia podemos deducir que concibió la idea del sistema heliocéntrico durante su estancia en Italia.

Las copias del manuscrito del *Commentariolus* no debieron ser muy abundantes aunque sí algunas de ellas llegarían relativamente pronto a Italia: en 1533 JOHANN WIDMANSTADT expuso el sistema heliocéntrico ante el Papa Clemente VII (m. 1534) y varios miembros de la curia, entre los que probablemente se encontraba el cardenal-arzobispo de Capua, Nicolás SCHÖNBERG, que acabamos de citar y que más adelante (1 de noviembre de 1536) escribió a COPÉRNICO pidiéndole que le permitiera sacar una copia de sus manuscritos.

Las nuevas hipótesis, tal como reza el título, fueron acogidas en el mundo romano sin prevención. El porqué puede discutirse. Es posible, es más, seguro, que COPÉRNICO admitía la realidad física del sistema que propugnaba; pero también lo es que la palabra "hipótesis", hábilmente introducida en el título, disimulaba esa realidad a los ojos de sus lectores los cuales sólo vieron en el *Commentariolus* la exposición de un nuevo modelo matemático capaz de permitir el cálculo de efemérides de un modo más rápido y aproximado que con los procedimientos hasta entonces en uso.

Sin embargo, el libro se prestaba a la polémica. Desprovisto de desarrollos matemáticos, expuesto en espíritu discursivo que recuerda el de los 11 primeros capítulos del *De revolutionibus*, era fácilmente accesible a todas las inteligencias y pronto cayó bajo los ojos inquisitoriales de los teólogos protestantes que no se dejaron engañar ni por la palabra hipótesis que encabezaba esta obra ni por el prefacio de OSIANDER (cf. p. 17) que justificando la teoría fenomenológica de la ciencia, figura en aquélla. Y así empezaron las discusiones teológicas sobre el nuevo sistema.

LUTERO, en sus *Conversaciones de sobremesa*, en fecha de 4 de junio de 1539, dice: "Se hablaba de un nuevo astrólogo que pretendía probar que era la Tierra la que se movía y no el cielo y el firmamento o el Sol o la Luna; algo así como ocurre a aquel que viaja en un coche o barco, que cree que está sentado tranquilamente mientras el suelo y los árboles pasan por su lado y se mueven. Ocurre que el que es inteligente no se deja engañar... El loco (*Narr*) quiere cambiar toda la Astronomía pero las Sagradas Escrituras muestran que Josué dijo al Sol y no a la Tierra que se parara".

MELANCHTON (1541) va más allá: considera absurda la nueva teoría y quiere que las autoridades intervengan para impedir la difusión de unas ideas que amenazan a la sociedad constituida sobre el sentido común, la física aristotélica y la Sagrada Escritura. El argumento del orden público hacía de nuevo su aparición como en la época de ARISTARCO. Y si por el lado católico la reacción fue algo más tardía, no por eso fue menos violenta.

El *Commentariolus* se inicia por un breve resumen de las teorías astronómicas expuestas hasta entonces sobre el movimiento de los astros: ni el sistema de las esferas homocéntricas de CALIPO y EUDOXO (*Metafísica*, 12,8) ni el sistema de epiciclos y excéntricas son suficientes. Si aceptamos el prin-

cipio de que los movimientos celestes deben ser circulares y realizarse con un movimiento angular uniforme, es evidente que una serie de círculos concéntricos y coplanarios en cuyo centro esté la Tierra no permite explicar, por ejemplo, ni la diferente velocidad angular de un mismo astro a lo largo de su órbita ni sus estaciones ni retrogradaciones. En cambio define bien las relaciones aparentes que ligan a dos astros en el cielo: la *conjunción*, es decir, cuando dos astros se encuentran situados en la misma longitud celeste o grado de la eclíptica; y la *oposición* y *cuadratura* cuando les separan, respectivamente, 180° y 90° .

El sistema de excéntricas y epiciclos consigue una aproximación mayor entre la teoría y la realidad observada. Sea *T* el lugar de la Tierra, la cual se encuentra sobre un diámetro de la órbita del astro *A* pero no en el centro (*C*) de la misma. Esta disposición excéntrica permite ya explicar algunos de los fenómenos aludidos anteriormente y más aún si se considera que *A* no es el lugar del astro sino del centro de un nuevo círculo (*epiciclo*) que es aquel sobre el cual se encuentra el astro (*B*).

En el caso de que una órbita circular o una excéntrica sea soporte de un epiciclo, pasa a llamarse *deferente*. Este último esquema permite explicar las apariencias. El movimiento de los círculos es en sentido *directo* (contrario al de la marcha de las manecillas del reloj). Al movimiento del astro en *B* se le suma el del centro de su epiciclo *A* sobre el deferente hasta llegar a *B*₁ en que la visual dirigida al mismo desde la Tierra hace que dicho planeta aparezca en el cielo como inmóvil: está estacionario o en su *primera estación*; entre *B*₁ y *B*₂ el planeta marcha en sentido *retrogrado* (el mismo de las manecillas del reloj; en el cielo parece que va de Este a Oeste) hasta que la visual dirigida al mismo desde la Tierra pasa tangente al epiciclo; en ese momento parece que el astro se detiene de nuevo; se encuentra en su *segunda estación*. A partir de ese momento vuelve a recuperar el sentido directo.

En la teoría del Sol y de la Luna una simple excéntrica (cinemáticamente equivale a un epiciclo) permite explicar la distinta duración de las estaciones del año y los intervalos entre los eclipses lunares. Pero HIPARCO observó que este modelo no se ajustaba a las realidades observadas cuando la Luna estaba en cuadratura. TOLOMEO descubrió así la irregularidad llamada *evención* (cf. p. 29). Por otro lado, TOLOMEO, estudiado el movimiento de Venus, se dio cuenta de que para que la observación se correspondiera con el cálculo, en especial durante las cuadraturas, debía suponerse que el centro del epiciclo giraba con velocidad uniforme *no* alrededor del centro del deferente *C* sino de un punto *E*, simétrico de *T* respecto a *C*. Ese punto recibió el nombre de *ecuanter* y se encontraba situado sobre la *línea de los ápsides* o sea el diámetro que une el apogeo con el perigeo en una misma órbita.

Pero COPÉRNICO observa que las teorías de TOLOMEO y de muchos otros astrónomos aunque parecen ser correctas en cuanto a sus valores numéricos, presentan ciertas dificultades que procuraron salvar mediante la introducción de ecuanter con lo cual el planeta no se movía con velocidad uniforme ni en torno de un deferente ni de su epiciclo. De aquí que ese sistema no le pareciera satisfactorio a la inteligencia. Dándose cuenta de estas inconsecuencias, COPÉRNICO, intenta una nueva y más razonable disposición de los

círculos de tal modo que cualquier irregularidad aparente se pueda explicar mediante movimientos circulares uniformes “tal y como exige un sistema de movimiento absoluto”. Esto puede conseguirse si se aceptan los siete axiomas siguientes:

- 1) No existe un único centro para todas las esferas o círculos celestes.
- 2) El centro de la Tierra no es el centro del universo sino su centro de gravedad y el centro de la órbita de la Luna.
- 3) Todos los planetas giran alrededor del Sol, el cual está en su centro y en consecuencia, el Sol se encuentra en el centro del universo.
- 4) La distancia de la Tierra al Sol es despreciable en comparación a la distancia que existe entre la Tierra y los confines del universo.
- 5) Los movimientos que observamos en el firmamento no son propios de éste sino que son reflejo del movimiento de la Tierra. La Tierra —y los elementos que la rodean, aire, agua— gira sobre sí misma en un día, mientras que el cielo permanece en reposo.
- 6) Los movimientos del Sol son simples apariencias debidas a los movimientos diurno y de traslación de la Tierra, pues ésta gira en torno de aquél como cualquier otro planeta.
- 7) Los movimientos directo y retrógrado de los planetas son simple consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra.

“Habiendo establecido estos axiomas, procuraré demostrar brevemente cómo puede salvarse la uniformidad de los movimientos de modo sistemático. Sin embargo, he pensado, en vista a la brevedad, omitir en este resumen las demostraciones matemáticas que reservo para mi obra mayor [*De revolutionibus*].”

Tras aludir rápidamente a los pitagóricos, trata del orden de las esferas: la de las estrellas fijas, que es la más alta, permanece inmóvil y sirve para situar todas las cosas, y luego siguen las de Saturno, Júpiter, Marte, Tierra, Venus y Mercurio. La Luna gira en torno del centro de la Tierra como si estuviera en un epiciclo. En el mismo orden cada uno de los planetas sobrepasa al siguiente en cuanto a velocidad de revolución: Saturno tarda treinta años en dar una vuelta en torno al Sol; Júpiter doce; Marte y la Tierra uno; Venus, nueve meses y Mercurio, tres.

Al tratar de la Tierra explica claramente que es ésta la que se mueve con movimiento uniforme en torno al Sol entre una órbita circular siguiendo el orden de los signos y describiendo arcos iguales en tiempos iguales. La distancia del centro del círculo al del Sol es de $1/25$ del radio de aquél. Esta excentricidad nos dirá en *De revolutionibus* (3,16) que no es constante, oscilando entre $1/4$ de máxima y $1/33$ de mínima; el segundo movimiento es el de rotación y el tercero, “movimiento en declinación”, que introduce para poder explicar la sucesión de las estaciones manteniendo siempre paralelo consigo mismo el eje de rotación de la Tierra. Este movimiento que sólo se explica por la concepción de un universo sólido, fue descartado ya por KEPLER quien concebía a los astros desligados de las esferas cristalinas.

Como los puntos equinocciales y otros puntos del universo tienen movimientos que les son propios, es fácil incurrir en error al determinar la dura-

ción del año y no todos los autores coinciden. Cita las estimaciones de HIPARCO, ALBATENIO, TOLOMEO y el HISPALENSE.

La Luna es causa de uno de los capítulos de mayor interés desde el momento en que el modelo cinemático empleado hasta entonces no explica los cambios de su diámetro aparente, puesto que nuestro satélite se encuentra en las cuadraturas en la parte más baja del epiciclo y, en consecuencia, debiera aparecer aproximadamente cuatro veces mayor (si su disco estuviera completamente iluminado) que cuando está en oposición (llena) o en conjunción (nueva). Dado que la observación demuestra que esto no ocurre, no queda más remedio que admitir la explicación propuesta por COPÉRNICO, un sistema concentrobepiciclo, que se aplicará también a otros planetas y que en *De revolutionibus* será sustituido por el sistema excentricoepiciclico. Para él —aparte del movimiento anuo en torno del Sol como satélite de la Tierra— la Luna es arrastrada 1) por el movimiento directo del deferente en torno de la Tierra; 2) por el de un epiciclo mayor, comúnmente llamado epiciclo de la primera desigualdad o argumento, que gira en sentido retrógrado; 3) de un epiciclo menor, cuyo centro está sobre la circunferencia del mayor, que gira en sentido directo y la Luna, infija en él, realiza dos revoluciones por mes, de tal modo que siempre que el centro del epiciclo mayor cruza la línea trazada desde el centro del círculo mayor a la Tierra, la Luna ocupa la posición más cercana al centro del epiciclo mayor. Esto ocurre durante las lunas llena y nueva. En las cuadraturas, la Luna está lo más lejos posible del centro del epiciclo mayor.

Sigue la explicación de los movimientos de los planetas superiores (Saturno, Júpiter y Marte) mediante el mismo artificio que en la Luna, ya que considera como constante el valor de la excentricidad y la posición de la línea de los ápsides, presupuestos que abandonará en *De revolutionibus*. Tras un breve *excursus* sobre el problema de las latitudes, pasa a ocuparse del movimiento de Venus y del ya mucho más complicado de Mercurio (cf. *De revolutionibus* 5,20-24; 25-31).

El tratado termina con un párrafo de valor estadístico: para explicar el movimiento de Mercurio ha necesitado siete círculos; para Venus, cinco; para la Tierra, tres; para la Luna, cuatro; y cinco para cada uno de los planetas Marte, Júpiter y Saturno. En total, nos dice, treinta y cuatro círculos bastan para explicar la estructura completa del universo y los movimientos de los planetas.

Del ahorro de círculos realizado parece deducir COPÉRNICO en este libro su principal timbre de gloria "34 circuli sufficient, quibus tota mundi fabrica totaque siderum chorea". Pero, en realidad, no es así: si hubiera tenido en cuenta los movimientos de los nodos de la Luna, de la línea de los ápsides y en latitud de los planetas, ese número hubiera aumentado en siete como mínimo. Y, a pesar de todo, la diferencia entre el número de sus círculos no discrepa tanto, como de sus palabras finales pudiera deducirse, de los dados por TOLOMEO. El mayor mérito de COPÉRNICO no radica ahí, sino en haber unificado la mecánica celeste de los planetas inferiores y de los superiores haciendo ver que las elongaciones de aquéllos y las retrogradaciones de éstos tenían una única causa: el movimiento de traslación de la Tierra y que el

tamaño del epiciclo del planeta refleja no sólo la paralaje de la órbita terrestre, sino que, por añadidura, nos da una indicación de la distancia del planeta al Sol.

El libro que ha inmortalizado a COPÉRNICO tiene como título completo *De revolutionibus orbium coelestium libri sex* (*Las revoluciones de los orbes celestes. En seis libros*). Es decir, trata del movimiento de las esferas celestes y no de los cuerpos celestes, puesto que éstos, como tales, siguen los movimientos de aquéllas.

El manuscrito de la misma se entregó a TIEDEMANN GIESE (1480-1550), obispo de Chelmno (Kulm), quien a su vez lo remitió a RÉTICO que estaba en Wittemberg. Éste lo pasó al impresor, Johannes Petreius, de Nuremberg. RÉTICO, que no podía quedarse en esta ciudad, delegó el cuidado de corregir las pruebas y supervisar la edición en su amigo el teólogo luterano Andreas OSIANDER (1498-1552), quien receloso de las suspicacias que la publicación del libro pudiera causar en los medios protestantes —ya era conocida la toma de posiciones de LUTERO y MELANCHTON ante la *Narratio Prima*— propuso a COPÉRNICO y RÉTICO, en sendas cartas del 20 de abril de 1541, que se hiciera preceder la obra de una declaración en que quedara patente que el *De revolutionibus* no pretendía que sus doctrinas correspondieran a la verdadera constitución del universo, sino que era un simple conjunto de hipótesis, es decir, de “bases de cálculo que no importa que sean falsas siempre y cuando los cálculos realizados con ellas reproduzcan exactamente los fenómenos de los movimientos”. Esta declaración serviría para acallar a los peripatéticos y teólogos cuya oposición sospechaba y temía COPÉRNICO. Éste, sin embargo, no parece que estuviera dispuesto a ceder. Al fin, la introducción que figura en el manuscrito fue sustituida por una carta dedicatoria al Papa Paulo III y ésta, a su vez, fue precedida por una nota escrita por OSIANDER: *Al lector, acerca de las hipótesis de esta obra*. Entre ambas existen las suficientes discrepancias para pensar que la primera fue incluida con permiso de COPÉRNICO y la segunda no, puesto que GIESE envió una carta a RÉTICO el 27 de mayo de 1543 para que la presentara ante los magistrados de Nuremberg y éstos condenaron a Johannes PETREIUS por abuso de confianza y le obligaron a reimprimir las páginas liminares del *De revolutionibus* y a añadir una nota explicativa. Al mismo tiempo insiste a RÉTICO para que éste publique la biografía que había compuesto sobre COPÉRNICO y el trabajo acerca de que el heliocentrismo no está en contradicción con las Sagradas Escrituras. RÉTICO dio curso a la querrela, pero sin mayor interés, y PETREIUS se desentendió de todo el asunto; en cambio no paró hasta obtener reconocimiento escrito, por parte de OSIANDER, de que éste era autor de la nota *Al lector*... RÉTICO no publicó esta retractación aunque sí dio a conocer su contenido a los amigos y a varios astrónomos del siglo XVI, como Pedro APIANO (1501-1552). Más tarde KEPLER la publicó.

OSIANDER dice:

“No dudo de que algunos sabios —puesto que ya se ha extendido el rumor de lo revolucionario de las hipótesis de esta obra que pone a la Tierra

como móvil y al Sol, al contrario, como inmóvil en el centro del universo— se indignarán y pensarán que no deben introducirse cambios en las disciplinas liberales que hace mucho tiempo están sólidamente establecidas. Pero si examinan esta obra con atención, verán que su autor no ha hecho nada que merezca censura. En efecto, es obligación del astrónomo explicar, mediante una observación diligente y hábil, la historia de los movimientos celestes. Después, buscar sus causas o bien —ya que de ninguna manera puede señalar las verdaderas— imaginar o inventar unas hipótesis cualesquiera con cuya ayuda se pueda calcular exactamente, conforme a las reglas de la geometría, el valor de esos movimientos. Ambos objetivos los ha conseguido el autor de modo admirable, ya que, en efecto, no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas ni siquiera verosímiles. Basta con una sola cosa: que permitan realizar cálculos que concuerden con la observación. A menos que no se sea tan ignorante en óptica y geometría que considere como real el epiciclo de Venus y crea que es la causa por la cual Venus precede o sigue al Sol [en sus elongaciones] en una distancia de 40° . Si admite esto, necesariamente en el perigeo el diámetro de la estrella aparecería como cuatro veces mayor que en el apogeo y el cuerpo de la misma, dieciséis. Pero a esto se opone toda la experiencia de los siglos.

”En esta ciencia hay otras cosas absurdas que no es necesario exponer aquí. Es sabido que este arte ignora por completo la causa de los movimientos irregulares de los fenómenos celestes. Y si inventa algunos en la imaginación, como ciertamente inventa un gran número, no lo hace en modo alguno para convencer de que tal es la realidad sino para fundar en ellos un cálculo exacto. Pero para explicar un solo y mismo movimiento existen, a veces, distintas hipótesis —tal ocurre con el movimiento del Sol, la excentricidad y el epiciclo— de aquí que el astrónomo adopte preferentemente la que es más fácil de comprender. El filósofo exigirá, tal vez, además, la verosimilitud; nadie, sin embargo, comprende o enseña nada cierto a menos de que esto le venga revelado por Dios. Dejemos pues que estas nuevas hipótesis se conozcan junto con las antiguas, no porque sean más verosímiles, sino porque son admirables, fáciles y vienen acompañadas de un tesoro inmenso de observaciones. Que nadie, en lo que a hipótesis se refiere, crea que la astronomía le dé algo cierto, ya que ésta no lo pretende, y si toma por verdaderas las cosas hechas con otro fin, saldrá de este estudio más tonto que antes de empezarlo.”

Por contra, en la carta dedicatoria a PAULO III, COPÉRNICO muestra creer en la realidad de las teorías que expone y no teme fijar por escrito sus ideas sobre el movimiento de la Tierra:

“... lo que más me incitó a buscar otro modo de deducir los movimientos de las esferas del mundo fue el darme cuenta de que los matemáticos no están de acuerdo entre ellos en el modo de conducir sus investigaciones. Están tan inseguros de los movimientos del Sol y de la Luna que no pueden ni deducir ni observar la duración eterna del año; luego, al establecer los movimientos de estos astros y de los cinco planetas no utilizan ni los mismos

principios y supuestos ni las mismas demostraciones de las revoluciones y de los movimientos aparentes. Unos sólo utilizan esferas homocéntricas, otros excéntricas y epiciclos por medio de los cuales no consiguen por completo aquello que buscan... Como medité mucho sobre la incertidumbre de las doctrinas de los matemáticos con respecto a la composición de los movimientos de las esferas del mundo, me fatigué al ver que los filósofos, que tan en detalle han estudiado las cosas más ínfimas concernientes a este mundo, no tienen ninguna explicación segura sobre los movimientos de la máquina del Universo que ha sido construida por el mejor y más perfecto de los artistas. Por eso procuré leer los libros de todos los filósofos que pude obtener..."

Sigue con la enumeración de textos que ha leído, cita textualmente el pasaje de PLUTARCO en que expone las teorías de FILOLAO, HERÁCLIDES DE PONTO, ECFANTO, y añade:

"A partir de aquí yo mismo he empezado a pensar en la movilidad de la Tierra. A pesar de que me parecía absurdo, como antes que a mí se había permitido a otros imaginar cualquier tipo de círculos para deducir los fenómenos de los astros, pensé que también a mí se me permitiría experimentar si, admitiendo algún movimiento de la Tierra, se podría encontrar una teoría más sólida de las revoluciones de los orbes celestes. Así, admitiendo los movimientos que más abajo, en mi obra, atribuyo a la Tierra, descubrí por fin, después de largas y numerosas observaciones, que si los movimientos de los planetas se referían al movimiento de traslación de la Tierra y éste se tomaba como base de la revolución de cada uno de los astros, no sólo se deducían los movimientos aparentes de éstos, sino también el orden y las dimensiones de todos los astros y los orbes, y que en el cielo existían tales conexiones que no se podía cambiar nada sin que surgiese el desbarajuste en todas las partes y en el universo entero."

Es decir, el mérito de su obra radica ahora, y a diferencia del *Commentariolus*, según el propio COPÉRNICO, en haber podido dar unas leyes homogéneas y válidas para todo el sistema, para toda la máquina del universo. Y esas leyes tienen la ventaja de que explican bien "et apparentiae salvari possint, si ad terrae motus conferantur" los valores observados. Por eso, añade:

"No dudo de que los matemáticos ingeniosos y doctos estarán de acuerdo conmigo si —así como la filosofía exige en primer lugar— quieren estudiar y examinar, no superficialmente sino de modo profundo, la demostración de todas esas cosas que doy en mi obra."

Pero si está seguro de lo que dice, también sospecha que puede ser atacado por los ignorantes y por ello dedica el libro:

"A tu Santidad, puesto que, incluso en este rincón remoto de la Tierra en que vivo, se te considera como la persona más eminente, tanto en cuanto

a dignidad como por el amor a las letras e, incluso, a las matemáticas, para que con tu autoridad y juicio puedas reprimir las mordeduras de los calumniadores; por más que ya se sabe que no hay remedio contra sus acometidas.”

Si, a pesar de todo, hubiera quienes sin saber nada de matemáticas se permitieran juzgar estas cosas en base a algún pasaje de la Escritura *male ad suum propositum detortum*, es decir, cambiando su sentido recto y atacar su obra, de esos “no me preocupo y desprecio su juicio como temerario. Ya que sabemos que LACTANCIO, célebre escritor, pero por lo demás mal matemático, habló de modo pueril de la forma de la Tierra burlándose de los que habían descubierto que tenía forma de esfera. Los doctos no se extrañarán si tales gentes se burlan de nosotros”.

La primera edición de Nuremberg (1543) fue seguida por las de Frankfurt (1566) y Amsterdam (1617). Esta última bajo el título *Astronomia instaurata* fue acompañada de notas explicativas de Nicolás MULLERUS y es la mejor de las publicadas hasta entonces. La obra debía tener, inicialmente, ocho libros, pero en el curso de la redacción la dejó en seis. Incluso parece que nunca se terminó, pues le falta una conclusión general.

Los once primeros capítulos del libro I del *De revolutionibus* han sido los más frecuentemente traducidos y editados, ya que son una suma de cosmografía de gran valor epistemológico y de escaso o nulo aparato matemático. Tras una breve digresión lírico-científica pasa a postular (1,1) que el mundo es esférico bien porque ésta es la forma más perfecta de todas y no necesita uniones o porque es el cuerpo que a igual superficie presenta el máximo volumen, lo cual le hace especialmente apto para contener a la creación; puede ser que tenga esa forma puesto que todas las cosas, v. g. las gotas de agua, tienden a adoptarla. La Tierra es esférica como se deduce de que la estrella Canope (^α *Carinae*) sea visible en Egipto y no en Italia —este tipo de ejemplo era caro a nuestros antepasados— y que un buque al alejarse de la costa desaparezca progresivamente empezando por la quilla y terminando por el palo mayor. La Tierra (1,3) forma un único globo con las aguas. Discute el volumen respectivo de tierras y aguas y hace una rápida alusión al descubrimiento de América. La Tierra no es ni plana, ni cilíndrica, ni tiene más forma geométrica que la de una esfera perfecta. De nuestro mundo pasa al cielo (1,4) y sigue a ARISTÓTELES cuando afirma que el movimiento propio de la esfera en girar en redondo ya que el movimiento circular es el único movimiento uniforme que puede seguir de modo indefinido en un espacio finito. Esto es importante puesto que de aquí se deduce que el universo copernicano tiene límites, aunque éstos sean enormes en comparación con el medieval. Esos movimientos circulares y uniformes, combinados entre sí, nos pueden parecer desiguales como consecuencia de las excéntricas y epiciclos (cf. 5,2). La Tierra (1,5) gira sobre sí misma y los que afirman lo contrario no poseen ninguna prueba decisiva.

“En efecto: todo movimiento local aparente proviene bien del movimiento de la cosa vista, bien del movimiento del espectador o bien del movi-

miento desigual, naturalmente, de los dos. Ya que cuando los móviles, quiero decir, el espectador y el objeto visto, están animados de un movimiento igual, éste pasa inadvertido. Pero este círculo celestes se ve y observa desde la Tierra. Por consiguiente, si algún movimiento perteneciera a la Tierra, éste aparecería en todas las cosas que le son exteriores, como si éstas tuvieran las mismas velocidades pero en sentido contrario. En esto consiste la revolución diurna: si se admite que el cielo carece de movimiento y que la Tierra gira de Occidente a Oriente y se examina en detalle lo que debe ocurrir con la salida y puesta aparentes del Sol, de la Luna y las estrellas, se verá que así ocurre. Y como el cielo es lo que contiene a todo, el lugar común de todas las cosas, no se ve claro por qué ha de atribuirse el movimiento al continente y no al contenido.”

De esta opinión fueron los pitagóricos HERÁCLIDES y ECFANTO y el siracusano HICETA según CICERÓN. La antigüedad ya se dio cuenta de que los planetas no siempre estaban a la misma distancia de la Tierra y, en consecuencia, que ésta no estaba en el centro del universo. FILOLAO afirmaba que la Tierra era un planeta cualquiera y tenía movimiento de traslación. Para verlo, PLATÓN se dirigió a Italia. Las dimensiones de la Tierra son tan pequeñas, tan despreciables con relación a las del cielo (1,6) que las estrellas fijas no presentan paralaje. Esta ampliación brutal del universo aparece ya en el mundo latino, en *De docta ignorantia* (2,17) de Nicolás DE CUSA donde se dice que la Tierra es una estrella noble y que el mundo no tiene centro ya que “es una esfera infinita teniendo su centro en todas partes y su circunferencia en ninguna”. Pero CUSA no se preocupó de ahondar más allá y establecer sus movimientos y posición en el mundo como hizo COPÉRNICO. Expone y discute en 1,7-8 las causas que hicieron pensar a los antiguos que la Tierra carecía de movimientos y sobre el porqué se mueven libremente los pájaros y las nubes y concluye que “el movimiento de la Tierra parece más probable que su reposo, sobre todo en lo que se refiere al movimiento de rotación que es el más propio de la Tierra”. Las soluciones aportadas en este capítulo recuerdan las de BURIDAN y ORESME. En 1,9 establece que el Sol está en el centro de la esfera de las estrellas fijas; más adelante (3,15) se verá que, en cambio, no es el centro de los movimientos planetarios. Luego (1,10) discute el orden de los orbes celestes y se hace eco de la disparidad de opiniones al respecto, tal por ejemplo ALPETRACIO que sitúa a Venus encima del Sol y a Mercurio debajo; expone las ideas que se tenían sobre la posibilidad de observar los pasos de los planetas inferiores, Mercurio y Venus, delante del Sol. “AVERROES —dice— en su paráfrasis de TOLOMEO recuerda haber visto algo negro sobre el disco del Sol al observar la conjunción del Sol con Mercurio que había calculado”. Alude al *De nuptiis Philolopiae et Mercurii libri duo* de MARTIANUS CAPELLA (fl. s. v d. C.) en que sostuvo que Venus y Mercurio giran en torno al Sol. Sin embargo, esta teoría no le seduce y pasa a exponer su sistema haciendo notar que los planetas están mucho más cerca de la Tierra cuando salen en el momento de la puesta del Sol (orto acrónico), es decir, cuando están en oposición y en cambio están mucho más lejos cuando salen al mismo tiempo que el Sol (orto heliaco), es decir, cuando

están en conjunción con el Sol. Esto indica que el centro de sus orbes depende del Sol y que éste es el centro del sistema. La Tierra, por su parte, va acompañada en su movimiento de traslación por la Luna.

Las dimensiones del universo son enormes puesto que si el diámetro de la órbita de la Tierra se proyecta de modo sensible en la esfera celeste según sea el valor de la retrogradación de los planetas, es decir, que cuanto más lejos está un planeta de la Tierra tanto menor es la distancia que retrograda, no ocurre lo mismo con las estrellas que carecen de *paralaje*. "Creo —dice— que esto es más fácil de admitir que fatigar a la razón por una serie casi infinita de orbes como tienen que hacer aquellos que colocan a la Tierra en el centro del mundo". Si se admite que el tamaño de los orbes se mide por el tiempo se obtiene, empezando por el más alto, la siguiente disposición: esfera de las estrellas fijas que se contiene a sí misma y a las estrellas y permanece inmóvil. Si hay quienes afirman que se mueve, COPÉRNICO demostrará (cf. 1,5; 3,4) que es un movimiento aparente que depende de los de la Tierra. Luego siguen los planetas: Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra con su satélite la Luna, Venus, Mercurio y el Sol. "En efecto, en este templo magnífico ¿quién colocaría en otro lugar a tal luminar en que pudiera iluminar a todos a las vez? Con razón le han llamado algunos el faro (*lucernam*) del mundo; otros, Espíritu y otros, su rector. TRISMEGISTO le llama el dios visible; la *Electra* de SÓFOCLES, el que todo lo ve. Así, en efecto, el Sol, reposando en su trono real, gobierna la familia de los astros que le rodea. La Tierra, sin embargo, tiene los servicios de la Luna; al contrario, tal como lo dice ARISTÓTELES en el *De animalibus* poseen el máximo parentesco. La Tierra, a pesar de ello, concibe del Sol y engendra cada año".

Este pasaje de valor astronómico-astroológico permite filiar a COPÉRNICO dentro de la corriente mágica de la ciencia renacentista.

En 1,11 expone los movimientos de rotación y traslación de la Tierra y anota que "el ecuador y el eje de la Tierra tienen una inclinación variable con respecto al plano de la eclíptica, ya que si se mantuvieran constantes y siguieran el movimiento del centro no existiría desigualdad entre los días y las noches y (para una latitud dada) existiría siempre o el equinoccio o el solsticio, o el día más corto o el verano o el invierno o cualquier estación aunque siempre la misma". Es decir, considera como un ángulo constante el que forma el radio vector de la eclíptica ST con el eje polar de la Tierra, TN ; por tanto, seis meses después ocupará la posición $ST'N'$, o sea, como si el eje diámetro polar de la Tierra tuviese que cortar siempre en un mismo punto el eje SO de la eclíptica. Para evitarlo y así mantener el paralelismo del eje de la Tierra para consigo mismo, que es el que permite el movimiento en declinación del Sol, se ve obligado a admitir que el eje de la Tierra describe, en seis meses, un semicírculo, base del cono PTB . Este movimiento debiera ser igual y en sentido contrario. En caso de ser así "los puntos equinociales y solsticiales y la oblicuidad de la eclíptica con respecto a las estrellas fijas sería constante. Pero existe una pequeña diferencia que sólo se aprecia con el transcurso del tiempo: desde TOLOMEO hasta nuestros días esos puntos han ejecutado una precesión de 21° ". En consecuencia la causa de la precesión de los equinoccios no depende de los movimientos de la

octava esfera (cf. 1,18) sino de la Tierra y las esferas novena y décima ideadas por los astrónomos que le precedieron son superfluas.

El libro I tenía que terminar con la carta (apócrifa) de LYSIS a HIPARCO, pero en la edición de 1543 se la sustituyó por los capítulos 12-14 que contienen la parte trigonométrica de la obra y que con el título *De lateribus et angulis triangulorum, tum planorum rectilineorum tum sphaericorum*, había sido ya publicada de modo independiente por RÉTICO (Wittemberg, 1542). Empieza por aludir a las diferentes medidas que se han dado al diámetro; los antiguos lo dividían en 120 partes pero en orden a facilitar las operaciones se le han dado otros valores, 1.200.000; 2.000.000, etc., sobre todo desde la introducción de los numerales árabes, notación numérica que es mucho mejor que cualquier otra latina o griega. Para sus tablas COPÉRNICO emplea como valor del diámetro 2.000.000 y llama al seno, de modo arcaizante, "la mitad de la cuerda". La tabla de senos que inserta para el primer cuadrante crece de 10' en 10'. Sigue con distintos teoremas propios de la trigonometría plana y pasa (1,14) a la esférica recurriendo con frecuencia a citas de los *Elementos* de EUCLIDES y al libro V del *De triangulis planis et sphaericis* de REGIOMONTANO. En esta breve exposición COPÉRNICO sólo ha pretendido dar las fórmulas fundamentales para llevar a buen término su obra.

El libro II constituye una astronomía esférica en que da (2,1) las definiciones de los distintos círculos, estudia (2,2) la oblicuidad de la eclíptica y establece que ésta sólo puede variar entre los límites de $23^{\circ} 52'$ y $23^{\circ} 28'$ y él, personalmente, ha calculado que en su época vale $23^{\circ} 28'$; describe el procedimiento gnomónico para trazar la meridiana según el almucantarato del Sol; da varias tablas (declinaciones de los grados de la eclíptica, etc.) y trata (2,4) de la transformación de coordenadas eclípticas (longitud y latitud celestes) en ecuatoriales (ascensión recta y declinación). Expone las distintas posiciones que el círculo del horizonte puede presentar con respecto al cielo (2,5) y las zonas de la Tierra que pueden trazarse atendiendo al mismo. Los antiguos matemáticos acostumbraban a dividir el mundo en siete climas: Méroe, Siena, Alejandría, Rodas, el Helesponto, el Ponto medio, Beristenes y Bizancio según las diferencias existentes entre los días más largos y de acuerdo con la longitud de las sombras que observaban mediante gnomones al mediodía en los equinoccios y los solsticios y de acuerdo con la altura del polo o latitud de cada zona. Sin embargo, no todos están de acuerdo entre otras causas por la variación de la oblicuidad de la eclíptica. Sigue exponiendo, según la casuística medieval, la variada temática de la astronomía esférica (transformación de coordenadas ecuatoriales en horizontales; divisiones del día; arcos de visión de los planetas, etc.) y cierra el libro (2,14) con un catálogo de estrellas en que hace constar sus coordenadas celestes y la magnitud. Antes nos explica que el geómetra MENELAO (vivía en el año 99, cf. 3,2) determinó la posición de varias estrellas a base de observar sus conjunciones con la Luna, pero es mucho mejor establecerlas mediante instrumentos como el astrolabio esférico.

El libro III está dedicado a tratar de los movimientos de la Tierra aunque, para estar de acuerdo con las apariencias, COPÉRNICO, al igual como se hace hoy en los tratados de astronomía esférica, hable de los "movimientos

del Sol" (v. g. 1,5; 3,14, etc.). Conceptualmente el contenido del libro equivale a la materia que los astrónomos medievales trataban bajo el título de *El año solar o Movimientos de la octava esfera*.

En 3,1 COPÉRNICO plantea el problema: los antiguos desconocían que pudiera existir más de un tipo de año y, por tanto, consideraban iguales los años derivados de los períodos olímpicos que se medían por la aparición de la estrella Canícula (i. e. Proción cf. 2,14) como el año natural (lo que hoy llamamos año trópico) que se contaba a partir de los equinoccios o solsticios. HIPARCO se dio cuenta de que el primero o año sidéreo era más largo que el segundo o año trópico y de aquí dedujo que las estrellas o la esfera que las contenía, poseía un movimiento hacia el este (*precesión de los equinoccios*) apenas perceptible. Para explicar esta irregularidad se han propuesto diversas teorías y hay quienes suponen que las estrellas avanzan alternativamente en uno u otro sentido, es decir, que tienen un movimiento de vaivén. Esta oscilación o *trepidación* no puede exceder de 8° .

Esta teoría, cuya introducción en el mundo musulmán se debe a TABIT B. QURRA, aparece ya descrita en las *Tablas manuales* de TEÓN DE ALEJANDRÍA:

"Los antiguos astrólogos —dice— pretenden, a partir de algunas conjeturas, que los puntos solsticiales avanzan hacia Oriente 8° durante un cierto período y que luego retroceden a donde se encontraban. Esta suposición no parece viable a Tolomeo, pues aun no admitiendo esta hipótesis, los cálculos hechos con las tablas concuerdan con las observaciones hechas con los instrumentos. Por eso —dice TEÓN— tampoco admitimos esa corrección. Pero de todos modos vamos a exponer el método que siguen esos astrólogos en su cálculo: cuentan 128 años antes de Augusto; la fecha obtenida la consideran como el momento en que esa marcha de 8° ha empezado hacia los signos siguientes (hacia Oriente), ha alcanzado su valor máximo e inicia su receso. A estos 128 años suman los 313 transcurridos desde el reinado de Augusto hasta el de Diocleciano y los años transcurridos después de Diocleciano; toman luego el lugar que corresponde a esta suma de años, admitiendo que en 80 años el lugar se desplaza 1° ; restan de 8° el número de grados obtenido por esta división (del número de años por 80); el resto indica el grado hasta el que han avanzado los puntos solsticiales; suman este resto a los grados que los antedichos cálculos dan para el lugar del Sol, de la Luna y de los cinco planetas."

COPÉRNICO parece negar esta teoría y sus variantes, puesto que desde que se poseen observaciones astronómicas el punto Aries o del equinoccio de primavera ha retrogradado ya cerca de 24° . Pero la naturaleza aún presenta mayores sorpresas y así se ha descubierto que la inclinación de la eclíptica es menor que la observada en tiempos de TOLOMEO (2,2). Por todo ello algunos astrónomos han introducido una novena y aun una décima esfera, pero no han podido dar una explicación clara de la realidad observada. En la época en que COPÉRNICO escribe hay quienes piensan que debe introducirse una undécima esfera, pero del estudio de los movimientos de la Tierra se desprende que esto es superfluo y que estas irregularidades tienen

fácil explicación dado que el movimiento de la Tierra es algo más lento que el movimiento de declinación o tercer movimiento (1,11). En consecuencia los equinoccios y los solsticios parecen llegar antes de hora, es decir, se adelantan. Así, pues, no es la esfera de las estrellas fijas la que se desplaza hacia el Este sino que es el ecuador el que se mueve hacia el Oeste. Cierra el capítulo una disquisición de tipo léxico en la que se propone que no se hable de “inclinación de la eclíptica sobre el ecuador” sino de la de éste sobre aquélla. Huelga decir que sus ideas, basadas en el mayor tamaño del círculo de la eclíptica, no han prosperado.

En 3,2 analiza las observaciones que confirman el movimiento irregular de la precesión de los equinoccios. Aquí aparecen citados TIMOCHARÉS, HIPARCO, MENELAO —que observó en el primer año del reinado de Trajano, o sea en el 99—, TOLOMEO, ALBATENIO y el propio COPÉRNICO que se refiere a una observación del año 1525. Por otra parte ARISTARCO y TOLOMEO notaron que la oblicuidad de la eclíptica era de $23^{\circ} 51' 20''$; en la época de Albatenio era de $23^{\circ} 35'$; en la de Azarquiel, de $23^{\circ} 34'$; en la de Profatius judío, de $23^{\circ} 32'$ y según el propio COPÉRNICO, de $23^{\circ} 28' 30''$. De esos datos se deduce que el movimiento fue menor durante el período comprendido entre ARISTARCO y TOLOMEO y mayor entre éste y ALBATENIO.

En 3,3 pasa al estudio de las hipótesis que pueden explicar estas variaciones. Estos capítulos es posible que puedan fecharse con posterioridad a 1524, fecha en la que escribió su *De octava sphaera contra Wernerum* obra en la cual no entra a fondo en la cuestión. Aquí, en cambio, hibrida la precesión con la trepidación y supone que el polo de la eclíptica está fijo. En estas circunstancias el polo del ecuador describiría una figura en forma de ocho (8) cuyo centro estaría en el polo medio del ecuador. La misma figura que presenta COPÉRNICO, es decir, la de los círculos iguales tangentes externos, se encuentra en la *Tuhfa al-Sahiyya* 2,7 de QUTB AL-DIN AL-SIRAZI para explicar, de modo distinto al de COPÉRNICO, el mismo fenómeno que éste.

El capítulo 3,4 “Cómo el movimiento recíproco o movimiento de libración se compone de movimientos circulares”, presenta particular interés puesto que recoge —y al parecer de modo directo— las teorías del astrónomo musulmán NASIR AL-DIN AL-TUSI. Éste, en su *Memento sobre astronomía*, presenta un nuevo artificio matemático para explicar el movimiento de la Luna de un modo más satisfactorio que en el *Almagesto*, puesto que a la teoría expuesta en el mismo pueden hacerse tres objeciones: 1) que el movimiento del centro del epiciclo no es una combinación de movimientos circulares; 2) que la ecuación del epiciclo debía ser más importante en las cuadraturas que en las sicigias, y 3) la oscilación del apogeo del epiciclo producido por el punto opuesto.

El artificio se basa en el siguiente teorema que, según dice, es de su propia invención: sean dos circunferencias tangentes internas A y B con radios $2r$ y r respectivamente. B gira en sentido retrógrado y con una velocidad 2φ al mismo tiempo que su centro gira en torno al centro de A en sentido directo con una velocidad φ . Decimos que el punto de tangencia de B engendrará un diámetro de A.

NASIR AL-DIN quiso explicar mediante este artificio los cambios de distancia del epiciclo de la Luna a la Tierra y la *evección* cuya aplicación al movimiento de la Luna apenas alteraba los parámetros dados por TOLOMEO y, en consecuencia, tampoco explicaba la incongruencia de que el diámetro aparente de la Luna no variara en la proporción 1 a 2 entre sicigias y cuadraturas conforme debía ocurrir de ser ciertas las distancias reales que las teorías geocéntricas atribuían a las distintas posiciones de la Luna en el recorrido de su órbita. Sin embargo, este argumento que hoy nos parece decisivo, y decisivo pareció a AUTÓLICO para iniciar la crítica de la teoría de las esferas homocéntricas que más adelante llevaría a la introducción de excéntricas y epiciclos, no tenía gran valor, ya que siempre se consideró que la vista era un testimonio falaz y más en el caso de la Luna y del Sol cuyo diámetro aparente varía en función de su altura sobre el horizonte.

Es posible que este teorema naciera para mantener la vigencia de ARISTÓTELES ya que contribuía a unificar su cinemática resumiendo en un solo mecanismo el movimiento rectilíneo propio del mundo sublunar con el circular celeste, puesto que aquél podía ser el resultado de una combinación de los movimientos propios de éste.

Este mecanismo fue utilizado por algunos astrónomos árabes de los siglos XIV y XV, pero lo que es más importante para nosotros es que también lo utilizó COPÉRNICO. En *De revolutionibus* (3,4) al tratar de la trepidación expone el teorema diciendo:

“Tracemos la línea recta AB ; dividámosla en cuatro partes iguales con los puntos C , D y E . Tracemos en un mismo plano los círculos ADB y CDE , ambos con centro en D . Tomemos en el mismo plano de ADB y CDE un punto F situado sobre la circunferencia del círculo interior. Con F como centro y radio igual a FD tracemos el círculo GHD . Éste cortará a la línea recta AB en el punto H . Tracemos el diámetro DFG . Hemos de demostrar que cuando los movimientos de los círculos GHD y CFE compiten uno con otro (i. e. giran en sentido contrario), el punto móvil H se desplaza arriba y abajo a lo largo de la línea recta AB .”

El texto manuscrito (fol. 75 r.) se extiende en otras consideraciones —que por algún motivo omitió en el texto impreso— que le llevan a afirmar que en el caso en que el punto F estuviese en el interior del círculo CDE describiría una elipse.

Pero lo más importante de todo es que la figura no sólo es la misma en NASIR AL-DIN que en el *De revolutionibus* sino que, como señala HARTNER, COPÉRNICO emplea transliteradas las mismas letras de la figura árabe y en idéntica posición: *alif* pasa a A ; *ba*, B ; *dal*, D ; *chim*, G ; *ha*, H . La única excepción —que no lo es— es F en lugar de *zay* y sabido es que ambas letras se confunden fácilmente en la paleografía árabe.

Con el teorema así establecido nos dice en 3,5 que “es por esta razón por la que algunos designan este movimiento del círculo como movimiento en anchura, es decir, a lo largo del diámetro. Se determina su periodicidad y su regularidad por medio de la circunferencia y su magnitud por medio de las cuerdas. De este modo se demuestra fácilmente que el movimiento parece

irregular y más rápido hacia el centro y más lento hacia la circunferencia". El movimiento de *AH* producirá el movimiento de la oblicuidad (3,6) en 3.434 años y la variación de *GII*, el vaivén de los puntos equinocciales a lo largo de 1.717 años. Pero a pesar de mantener en su obra la falsa teoría de la trepidación hibridándola con la de la precesión de los equinoccios, establece para la última un valor muy próximo al real: 0;0,50,12,5 anuo. Sigue la determinación de constantes y el establecimiento del modelo cinético capaz de explicar estos movimientos reales unos y falsos otros. Esta toma de posición de COPÉRNICO no puede extrañarnos desde el momento en que GALILEO en su *Trattato della sfera*, dedica el último capítulo al análisis de la precesión hibridada con la trepidación, sin sospechar que los pretendidos avances y retrocesos se debían a errores de observación conforme ya había demostrado TYCHO BRAHE. Sólo NEWTON en sus *Principia* (3,39) dio la explicación correcta del fenómeno debido a la perturbación causada por las atracciones del Sol y de la Luna sobre la zona ecuatorial de la Tierra dado que el radio de éste es 22 km mayor que el de los polos.

En 3,13 COPÉRNICO entra en el análisis de los distintos años: el trópico y el sidéreo. El primero regula las cuatro estaciones; el segundo las revoluciones referidas a algunas de las estrellas fijas. Las observaciones realizadas a lo largo de la historia demuestran que el año trópico o natural no tiene un valor constante. El año determinado por CALLIPO, ARISTARCO DE SAMOS y ARQUÍMIDES DE SIRACUSA tenía 365,25 días y se iniciaba, según costumbre de los atenienses, con el solsticio de verano. Pero CLAUDIO TOLOMEO, viendo la dificultad que entraña determinar con exactitud los solsticios y disponiendo de numerosas observaciones propias de la entrada del Sol en Aries (en especial la del año 463 de la era de Alejandro) y de la que se debía a HIPARCO sobre el mismo momento en el año 177 de la era de Alejandro, fijó el principio del año en el momento del equinoccio de primavera, siguiendo, así, la costumbre de varios pueblos orientales que, como el judío o el babilónico, hacían empezar sus años civiles o religiosos con uno de los dos equinoccios. TOLOMEO fijó el valor del año trópico en $365^d 5^h 55^m 12^s$, o sea en $365,25-1/300$. COPÉRNICO añade que ALBATENIO en Arata (Harrán) observó el equinoccio autumnal del año 1206 después de la muerte de ALEJANDRO. Comparando sus observaciones con las realizadas por TOLOMEO el tercer año de ANTONIO, dedujo que el año trópico debía tener $365^d 5^h 46^m 24^s$ ($365,240555$). "Nosotros también hemos realizado observaciones del equinoccio de otoño en Frombork en el año 1515 del señor el día 14 de setiembre. De acuerdo con el calendario egipcio ese año corresponde al 1840 después de la muerte de ALEJANDRO, al día 6 del mes de Faofi, media hora después de la salida del Sol". Tiene en cuenta la diferencia de longitudes entre Arata y Frombork y anota que entre ambas observaciones han transcurrido 633 años egipcios y $153^d 6^h 45^m$. Comparando los dos grupos de observaciones, establece que el valor de la precesión entre ALBATENIO y él mismo fue de 1 día por cada 128 años y que si considera el período mayor de 1.376 años a contar desde TOLOMEO, el período es de 1 día por 115 años. Las estaciones tomadas de dos en dos, otoño-invierno y primavera-verano, no tienen la misma duración. Esto se debe

a las siguientes causas: desigualdad de la precesión; a que el Sol recorre arcos desiguales de la eclíptica; a la segunda irregularidad que cambia la ecuación anua y al movimiento de la línea de los ápsides que analizará más adelante. Por tanto, “el año solar debe medirse comparándolo con la esfera de las estrellas fijas, tal como TABIT B. QURRA fue el primero en hacer, y fijar el valor del año sidéreo en 365; 15,23 días o lo que es lo mismo en 365^d 6^h 9^m 12^s lo cual representa un movimiento medio solar de 0;59,8,11°. COPÉRNICO (3,14) coincide prácticamente con los valores de TABIT: 365^d 6^h 9^m 40^s (en *Commentariolus* 365^d 6^h y cerca de 10^m).

El interés de COPÉRNICO por estas cuestiones calendéricas se puede explicar fácilmente. En un período en que se hablaba constantemente de la necesidad de modificar el calendario juliano, puesto que el equinoccio civil de primavera se producía varios días después del real, cualquier tratado de astronomía que contribuyera a encontrar una solución eficiente tenía una amplia aceptación. Por eso COPÉRNICO en la dedicatoria a Paulo III afirma que “cuando hace algunos años, bajo LEÓN X, el concilio de Letrán consideró la reforma del calendario eclesiástico, no llegó a ninguna decisión dado que la magnitud del año, de los meses y los movimientos del Sol y de la Luna no se habían determinado con la exactitud necesaria. Desde entonces presto atención a realizar observaciones exactas...”. GALILEO sostiene que es a COPÉRNICO a quien el Papa había llamado a Roma (en realidad sólo le consultó a través de su obispo, como a los demás astrónomos que no acudieron a la Ciudad Eterna en 1514) para que estableciera la reforma del calendario que se implantó en 1582, ya que con sus constantes y tablas, como demostró REINHOLD, se obtienen los mejores resultados. Pero la realidad no fue así y tal como manifiesta la bula en que se anuncia el nuevo calendario, éste se basó en las teorías de CLAVIO y ALOISIO GIGLIO. Éste aceptaba el valor del año trópico dado por ALFONSO X como constante, cosa que COPÉRNICO negaba, de aquí su preferencia por el año sidéreo, conforme subraya M. MAESTLIN en su *Alterum examen novi pontificalis gregoriani kalendarii* (1586): “Las tablas pruténicas distinguen entre el año trópico verdadero y medio, afirmando que el año verdadero es unas veces más largo y otras más corto que el medio... conforme prueba COPÉRNICO de modo exhaustivo (3,5 y siguientes). Esta variación es absolutamente desconocida en las *Tablas alfonsinas*”. Sin embargo, los reformadores habían previsto la posible adaptación de su obra a las teorías copernicanas sin mayores dificultades. Esta previsión en un momento en que empezaba a mirarse de reojo al heliocentrismo —y CLAVIO y REINHOLD eran refractarios al mismo— prueba, por contra, el aprecio en que se tenía la doctrina matemática del canónigo de Frombork.

En 3,15 y siguientes analiza en detalle el movimiento de la Tierra que realiza su giro no en torno al centro del Sol sino a un punto vecino del mismo. Dos modelos cinéticos pueden explicar satisfactoriamente este movimiento: una excéntrica cuyo centro no sea el centro del Sol y un círculo homocéntrico (deferente) que soporte un epiciclo conforme hizo IBN AL-SATIR. La equivalencia de ambos procedimientos era ya conocida desde la antigüedad. Ambos (3,16) pueden aplicarse también a los planetas. A continuación

expone los resultados obtenidos por HIPARCO y TOLOMEO para el Sol y que son $65^{\circ} 30'$ para la longitud del apogeo y de $1/24$ del radio para la excentricidad. Para ellos estos valores eran constantes, pero COPÉRNICO analiza las observaciones realizadas por ALBATENIO y el español AZARQUIEL y sobre las cuales éstos han establecido nuevas teorías. Para saber a qué atenerse realiza él mismo observaciones durante diez años y, en especial las de 1515, le confirman la variabilidad de ambos elementos tal y como habían supuesto los dos astrónomos árabes citados. Para poder superar las dificultades que presenta la determinación de los solsticios según el procedimiento tolemaico (*Almagesto* 3,4) combina las observaciones del momento de los equinoccios con las realizadas en el momento en que el Sol ocupa el punto medio de Escorpio o de otros signos. Aplica, en definitiva, el método islámico consistente en utilizar no sólo los diámetros ortogonales de los coluros, sino también alguna de las bisectrices de los mismos, método que seguirá luego TYCHO BRAHE. Determinados así los elementos de la órbita solar, puede adentrarse en la ecuación del centro que da la diferencia entre las longitudes verdadera y media del Sol y plantearse el problema del movimiento de la línea de los ápsides (3.20). AZARQUIEL, en contra de la opinión de TOLOMEO, creía que el apogeo tenía un movimiento irregular y a veces retrógrado, puesto que ALBATENIO había observado el apogeo en $7^{\circ} 44'$ al oeste del solsticio y a él le parecía que en 193 años había retrogradado $4^{\circ} 30'$. Para explicarlo atribuía al centro del mundo un movimiento sobre un círculo menor que era el origen del acceso y receso del apogeo, hipótesis que COPÉRNICO no considera acertada, aunque sí se lo parece el correspondiente modelo cinético. Las observaciones posteriores no indican alternancia entre el avance y el receso y, por consiguiente, debe haberse deslizado algún error en las observaciones de quienes le precedieron, dada la dificultad de la observación para situar el apogeo en $96^{\circ} 40'$.

“Nosotros no nos hemos contentado con confiar en los instrumentos del horóscopo, sino que hemos utilizado los eclipses del Sol y de la Luna puesto que éstos ponen de manifiesto cualquier error de nuestras observaciones. Por tanto, de acuerdo con la mayor verosimilitud, hemos aplicado nuestra inteligencia a concebir ese movimiento como un todo: es un movimiento directo hacia el Este pero irregular; después de estar inmóvil en el período comprendido entre HIPARCO y TOLOMEO, ha avanzado de modo continuo y ha aumentado la progresión al acercarse a nuestra época.”

Luego (3,21) fija el movimiento propio del apogeo en $24'' 20''' 14''''$ años (en realidad $11'' 7$) y confirma así la existencia del año anomalístico. Hace girar el centro del orbe de la Tierra (3,25) en torno al centro del Sol en 3.434 años y éste, a su vez, sobre un deferente. Finalmente en 3,26 estudia la ecuación del tiempo de un modo muy parecido al de TOLOMEO.

El cuarto libro lo dedica a tratar de la Luna y de los eclipses. Define el plano de su órbita (4,1) y la línea de los nodos en cuya vecindad ocurren los eclipses. Esta línea gira sobre sí misma a razón de $3'$ diarios. Estudia (4,2) las características de la órbita lunar, según se desprende de las observaciones de

quienes le precedieron, para llegar a la conclusión de que éstas no permiten explicar las dimensiones aparentes de la misma, razón por la cual MENELAO y TIMOCHARIS, prescindiendo de toda teoría, consideraron en sus estudios sobre las estrellas fijas que el diámetro de la Luna tenía un valor constante de 30'. Por consiguiente (4,3) hay que establecer un nuevo modelo cinético que haga coincidir las paralajes calculadas con las observadas. Para ello hay que utilizar los elementos facilitados por el estudio de los eclipses. Describe (4,4) el ciclo metónico que establece que 19 años solares contienen 235 lunaciones y el calípico de 76 años, refiriendo las distintas observaciones, en especial las de HIPARCO, que permitieron determinar el movimiento de la Luna. Estudia los eclipses de la Luna (4,5) combinando tres de la antigüedad (6 de mayo de 133, total; 20 de octubre del 134, parcial; 6 de marzo del 135, parcial) con tres observados por él mismo (6 de octubre de 1511, total; 5 de septiembre de 1522, total y 25 de agosto de 1523, total) lo cual le permite deducir que la excentricidad es de $0,08604 = \sin 4^\circ 56'$, valor que coincide, según anota, con el de la mayoría de sus predecesores a partir de TOLOMEO. En 4,8 da los radios de los dos epiciclos que explican el movimiento de la Luna y que resultan ser $r_2 = 6;34,55,12$ y $r_3 = 1;25,19,12$, valores prácticamente idénticos a los de IBN AL-SATIR (6;35 y 1;25 respectivamente). La discusión de una observación de HIPARCO (4,10) le permite comprobar que su teoría de la Luna es correcta (4,11) y calcular la tabla de las ecuaciones expuestas en función de los grados de la circunferencia y en las que se ve que el valor máximo para $78/282^\circ$ es en el epiciclo menor de $12^\circ 28'$ y para el mayor $93/267^\circ$ es de $4^\circ 56'$ fijando (4,12) la latitud máxima en 5° . En 4,15 describe las reglas paralácticas y en 4,16 analiza dos determinaciones de paralajes realizadas en Frombork: 1) el día 27 de septiembre de 1522 la paralaje, según TOLOMEO, debía de haber sido de $77'$ pero COPÉRNICO sólo encontró $50'$; 2) el día 7 de agosto de 1524, según TOLOMEO, debía de haber sido de $98'$ pero según COPÉRNICO sólo fueron $65'$. Se entiende que estos valores son sin corrección de refracción. Estas discrepancias obligan a replantear (4,17) el problema de las distancias de la Tierra a la Luna, cuyo valor máximo esima en 64 radios terrestres. Determina (4,18) los diámetros de la sombra de la Tierra a la distancia en que se encuentra la Luna; los de los cuerpos involucrados en los problemas de eclipses y establece como límites del diámetro aparente solar (4,21), $31' 48''$ y $33' 54''$; para la Luna (4,22) esos valores son de $28' 45''$; $30' 0''$; $35' 38''$ y como máximo $37' 34''$ (este último según Tolomeo tendría que alcanzar cerca de 1°) que se corresponden bien con los que da IBN AL-SATIR (mínimo $29' 2'' 15'''$; máximo $37' 58'' 20'''$). Sigue el estudio de las paralajes en longitud y latitud; la determinación de conjunciones y oposiciones medias, verdaderas, etc., que son partes inseparables de toda teoría de eclipses. Incidentalmente saca a colación su observación en Bolonia de la ocultación de ALDEBARÁN el 22 de marzo de 1497.

El libro V se dedica al estudio de los movimientos de los planetas. Agrupa los capítulos de acuerdo con el siguiente orden: a) características generales (1-4); b) planetas superiores y Venus (5-24); c) Mercurio (25-32); d) tablas (33); e) determinación de longitudes, estaciones y retrogradaciones (34-36).

Empieza por un breve prefacio en que alude a los nombres que PLATÓN, en el *Timeo*, da a cada uno de ellos según su aspecto. Así, Saturno, llamado Phaenon, brillante o surgiente, porque Saturno permanece oculto bajo los rayos del Sol menos que los otros planetas, etc.

En el capítulo 5,1 da las generalidades: los planetas tienen dos movimientos en longitud: uno depende del movimiento de la Tierra y puede llamarse propiamente de paralaje o conmutación (cf. 5,9, 5,15; 5,19) y es el que produce las estaciones y retrogradaciones; el segundo es el propio de cada planeta y siempre tiene sentido directo. Para los planetas superiores el movimiento en paralaje vale 0 en la primera y segunda estaciones, es decir, durante la oposición; para los planetas inferiores (Venus, Mercurio) durante la conjunción y por esto, a diferencia de los primeros, son invisibles. Los antiguos —y el propio COPÉRNICO en el *Commentariolus*— creían que los ápsides planetarios estaban inmóviles. En cambio, en *De revolutionibus* (vg. 5,7; 5,12; etc.) admite ya su movimiento. Da los valores que TOLOMEO (*Almagesto* 9,3) —atribuyéndolos a HIPARCO— nos ha transmitido acerca de los movimientos planetarios y cree que deben expresarse en años sidéreos y no trópicos como hacía aquél. Así se establece la tabla siguiente:

En 59 ^a	1 ^d 6 ^m 48 ^s	la Tierra da 57 revoluciones respecto a Saturno y éste 2 revoluciones más 1° 6' 6".
En 71 ^a	5 ^d 45 ^m 27 ^s	la Tierra da 65 revoluciones respecto a Júpiter y éste 6 revoluciones menos 5° 41' 2" 5.
En 79 ^a	2 ^d 27 ^m 3 ^s	la Tierra da 37 revoluciones respecto a Marte y éste 42 revoluciones más 2° 24' 56".
En 8 ^a menos	2 ^d 26 ^m 46 ^s	la Tierra da 5 revoluciones respecto a Venus y éste 13 revoluciones menos 2° 24' 40".
En 46 ^a menos	34 ^m 23 ^s	la Tierra da 145 revoluciones respecto a Mercurio y éste 191 revoluciones más 34 ^m de día y 23'.

De acuerdo con esto los ciclos de años tienen los siguientes valores: Saturno, 278^d 5^m 32^s 11^{'''}; Júpiter, 398^d 23^m 25^s 56^{'''}; Marte, 779^d 56^m 19^s 17^{'''}; Venus, 583^d 45^m 17^s 24^{'''}, y Mercurio, 115^d 52^m 42^s 12^{'''}.

Es decir, COPÉRNICO nos transmite en último extremo los *goal-year*, *Ziehl-Jahr* o períodos límite descubiertos por los astrónomos babilónicos y que tan útiles fueron a los astrólogos ya que les permitían —y les permiten— calcu-

lar por simples adiciones la reiteración de los mismos aspectos celestes, al igual como los saros, pero con menor exactitud, permiten determinar series de eclipses. Tablas similares a éstas, las de PROFERT TIBBÓN, fueron utilizadas por Dante en el *Purgatorio* (cap. I, 19-21) para determinar una posición de Venus.

Creemos que más que establecer un análisis de este libro capítulo tras capítulo, como hasta aquí hemos hecho, es preferible reproducir la comparación de las constantes tal como las resumen E. S. KENNEDY y FUAD ABBUD.

		r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
Saturno	b.al-Satir	5;7,30	1;42,30	6;30	
	Commentariolus	5;7,39	1;42,42	6;31	
	De revolutionibus	5;7,26	1;42,36	6;32	
	Almagesto			6;30	
Júpiter		r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
	b.al-Satir	4;7,30	1;22,30	11;30	
	Commentariolus	4;39,16	1;33,5	11;31	
	De revolutionibus	4;7,19	1;22,26	11;30	
Almagesto			11;30		
Marte		r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
	b.al-Satir	9;0	3;0	39;30	
	Commentariolus	8;47	2;56	39;28	
	De revolutionibus	8;46	3;0	39;29	
Almagesto			39;30		
Venus		r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
	b.al-Satir	1;41	0;26	43;33	
	Commentariolus	1;48	0;36	43;12	
	De revolutionibus	1;52	0;37	43;9	
Almagesto			43;10		
Mercurio		r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
	b.al-Satir	4;5	0;55	22;46	0;33
	Commentariolus	4;2	1;21	22;34	
	De revolutionibus	4;25	1;16	22;35	0;34,12
Almagesto			22;30		

Luna	r_2	r_3	r_4	$r_5 = r_6$
b.al-Satir	6;35	1;25		
Commentariolus				
De revolutionibus	6;34,55	1;25,19		

Puede observarse que existen pequeñas variaciones entre los valores dados en el *Comentariolus* y el *De revolutionibus*; que el orden de los vectores no es siempre idéntico; que el mecanismo que explica el movimiento de Venus (5,20-24) y el de los planetas superiores (5,4-19) es de hecho el mismo que en IBN AL-SATIR y que las alteraciones en el orden de los vectores que existe entre el *Commentariolus* y el *De revolutionibus* no afecta para nada al fondo de la cuestión y había sido ya prevista por los astrónomos árabes mencionados al establecer la propiedad conmutativa de la adición de vectores.

Así, para los planetas superiores es, a partir de la Tierra, r_4, r_2, r_1, r_3 , en *De revolutionibus* 5,4-19, mientras en *Commentariolus* es r_4, r_1, r_2, r_3 serie que se obtiene desplazando el último vector de IBN AL-SATIR al primer puesto.

En el caso de Mercurio, verdadera cruz de los astrónomos de todas las épocas, QUTB AL-DIN AL-SIRAZI y sobre todo IBN AL-SATIR obtienen un modelo que coincide —salvo ligerísimas variantes en los parámetros— con el *De revolutionibus* (5,25-30) hasta el punto que la misma figura sirve para la obra de ambos autores.

El movimiento de este planeta dio bastantes quebraderos de cabeza a COPÉRNICO (cf. 5,32) no sólo por su complejidad, que sólo se ha resuelto en nuestro siglo al poderse explicar con la teoría de la relatividad restringida el desplazamiento de su perihelio, sino porque, como dice en 5,30, las nieblas del Vístula no le permitieron realizar observaciones aceptables del mismo y tuvo que fiarse de las realizadas por Barnard WALTHER (1491), discípulo de REGIOMONTANO y Juan SCHÖNER (1504). Hace notar (5,25) que Mercurio

“por su propio movimiento no describe siempre el mismo círculo, sino círculos muy distintos, según su distancia al centro: el más pequeño cuando está en K , el mayor cuando se encuentra en L y el intermedio cuando está en I , de modo muy parecido a lo que sucede en el epí-ciclo de la Luna. Pero lo que en el caso de ésta sucede en la circunferencia, en el de Mercurio se realiza mediante movimientos recíprocos sobre el diámetro compuesto por movimientos regulares. Cómo se realiza lo hemos expuesto al hablar del movimiento de precesión de los equinoccios” (3,4),

es decir, mediante el par del Tusi en que el movimiento del punto menor que engendra el diámetro es una función armónica en que

$$AH = 2r (1 - \cos \varphi)$$

COPÉRNICO, pues, soluciona el problema, mediante movimientos circulares uniformes debidamente articulados apartándose así de la tradición del

occidente cristiano y musulmán —que le era indudablemente conocida— y que ante la imposibilidad de hacer coincidir las posiciones observadas con las calculadas habían roto de modo explícito y para el caso de Mercurio, con la pretendida armonía circular de las esferas. En efecto, AZARQUIEL en su *Lámina de los siete planetas o ecuatorio* sitúa en una cara de la lámina los deferentes de Venus, Marte, Júpiter y Saturno y en la otra “está el círculo de Mercurio y el del Sol. La causa de haberse dispuesto de esta manera aislada la esfera o círculo de Mercurio es que tiene la figura semejante a un huevo (en el texto árabe *baydi*), según la forma llamada ovalada entre los técnicos en la astronomía, la cual ofrece una convexidad prominente en dos de sus puntos: en el apogeo y en el perigeo”. Este texto, publicado en 1950, confirmaba plenamente la lámina que figura en el libro III, p. 282 de los *Libros del saber de astronomía del Rey D. Alfonso X de Castilla* y que coincide a su vez con las manifestaciones de PEUERBACH “circumferentiam deferenti circulare sed potius figurae habentis similitudinem plana ovali periferiam describere” y que acaba siendo una de las hipótesis de KEPLER que le llevaron a la formación de su primera ley.

COPÉRNICO, en 5,35, trata de las estaciones y retrogradaciones siguiendo a APOLONIO (*Almagesto* 12,1) y en el libro VI se enfrasca en la determinación de latitudes de un modo que parece independiente de IBN AL-SATIR y mucho más elaborado de acuerdo con las teorías tradicionales de las tres correcciones.

Llegado aquí creo que se pueden sacar ya unas cuantas conclusiones de interés.

CHAUCER (m. 1400) en los *Cuentos de Canterbury* nos cita los médicos más preeminentes que tuvo la humanidad hasta su época. Son: *a*) cuatro griegos: DIOSCÓRIDES, RUFUS, HIPÓCRATES y GALENO; *b*) seis árabes: ALÍ B. ABBÁS, los dos Serapiones —el Viejo y el Joven—, RAZÉS, AVICENA y AVERROES (cordobés), y *c*) cuatro cristianos: CONSTANTINO EL AFRICANO (musulmán convertido al cristianismo), BERNARDO DE GORDON, JUAN DE GADDESSEN y GILBERT ANGLICO. Es decir, ocho occidentales frente a seis orientales (43 %); CARDANO (m. 1576) considera que los principales sabios que han existido hasta el momento en que escribe son: *a*) seis griegos: ARQUITAS DE TARENTO, ARISTÓTELES, EUCLIDES, ARQUÍMEDES, APOLONIO y GALENO; *b*) uno romano: VITRUBIO; *c*) tres árabes: JUWARIZMÍ, KINDÍ y CHABIR B. AFLAH (sevillano), y *d*) dos europeos: DUNS SCOTO y R. SWINESHEAD; es decir, nueve occidentales y tres orientales (25 %).

¿Qué pensaba COPÉRNICO al respecto? Evidentemente no nos ha dejado ningún inventario sobre ello pero si analizamos las citas que hemos hecho a lo largo de nuestra exposición podemos ver que COPÉRNICO conoció a los autores árabes (25 %) a través de traducciones latinas hispánicas —excepto en el caso de la escuela de Maraga—, y que AVERROES y ALPETRAGIO —cordobeses—, AZARQUIEL —toledano—, el “Hispalense” —Alfonso DE CÓRDOBA, que dedicó unas Tablas astronómicas a Isabel la Católica en 1484— y el Rey Sabio ocuparon un puesto muy notorio en la evolución de su pensamiento, no sólo por las observaciones que realizaron, y que él aprovechó, sino

por las teorías que desarrollaron. En este último aspecto la aportación de AZARQUEL es innegable: descubrimiento de la variación de la oblicuidad de la eclíptica, movimiento del apogeo solar, destrucción del dogma de las órbitas circulares y otras aportaciones científicas cuyos precedentes pueden rastrearse con anterioridad al siglo XI, pero que sólo en éste y por su mano cobran su pleno significado científico que hacen de esos árabes y musulmanes españoles los adelantados de una nueva mecánica celeste que alcanzó sus verdaderas dimensiones merced a Copérnico.

Pero no es menos innegable que la fundamentación ideológica de todas estas innovaciones, tanto en Oriente como en Occidente, arrancan de la influencia de AVERROES: en el mundo musulmán, ALPETRAGIO y NASIR AL-DIN TUSI y sus continuadores se inspiraron en la obra de aquél para formular nuevos artificios matemáticos que unificasen los mecanismos celeste y terrestre del Estagirita; en el mundo cristiano, el polaco PALLACZ ha demostrado, hace escasamente un año, que COPÉRNICO es incomprensible sin conocer el desarrollo de las doctrinas averraístas en Cracovia, ciudad en la que, en sus años mozos de estudiante, se encontraba ya traducida, y se explicaba en las aulas, la brillante producción hispanoárabe en el campo de la filosofía y de la ciencia.

Si lo dicho ha conseguido despertar una sombra de duda sobre el pretendido origen monolítico y occidental de la obra copernicana, espero que se me perdone por el abuso de paciencia. Si, además, he conseguido apuntalar en el corazón del lector —y por esta palabra entiendo el doble significado que tiene el árabe *lubb* corazón e inteligencia a la vez— la idea de que la revolución copernicana depende en buena parte de la labor de los científicos españoles del medioevo, me daré por satisfecho.

BIBLIOGRAFÍA

Puede verse reunida en los dos volúmenes de *Bibliografía Kopernikowska* (Varsovia, 1958 y 1973) de H. BARANOWSKI; se consultará con provecho E. ROSEN; 3 *Copernican Treatises* (Nueva York, 1959), sumamente polémico; buena, lírica y documentada biografía (en español) de J. ADAMCZEWSKI: *Nicolás Copérnico y su época* (Varsovia, 1972). La discusión de algunos de los extremos expuestos en este trabajo podrá verse en J. VERNET: *Copérnico* (Barcelona, 1974).