

NICOLAS COPERNICO

1473 ~ 1973

siglo veintiuno de españa editores, sa



Reseña

Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo polaco, es conocido por su teoría Heliocéntrica que había sido descrita ya por Aristarco de Samos, según la cual el Sol se encontraba en el centro del Universo y la Tierra, que giraba una vez al día sobre su eje, completaba cada año una vuelta alrededor de él.

Fue un gran estudioso de los autores clásicos y además se confesó como gran admirador de Ptolomeo cuyo Almagesto estudió concienzudamente. Después de muchos años finalizó su gran trabajo sobre la teoría heliocéntrica en donde explica que no es el Sol el que gira alrededor de la Tierra sino al contrario.

Índice

[Prólogo.](#) *José Babini*

1. [Copérnico, su tierra y el medio en que vivió.](#) *Stanislaw Herbst*
2. [Nicolás Copérnico, su vida y su obra.](#) *Jerzy Dobrzycky*
3. [Un astrónomo entre dos épocas.](#) *Aleksander Birkenmajer*
4. [Nicolás Copérnico, creador de una nueva astronomía.](#) *Wladzimierz Zonn*
5. [De Copérnico a Einstein.](#) *Leopold Infeld*
6. [Nicolás Copérnico, gran sabio del Renacimiento.](#) *Waldemar Voise*
7. [La importancia de Copérnico para el desarrollo de las ciencias naturales y humanas.](#) *Bordan Suchodolski*
8. [Copérnico como economista.](#) *Edward Lipinski*
9. [Controversia en torno al heliocentrismo en la cultura europea.](#) *Barbara Bienkowska*

[Bibliografía copernicana escogida.](#) *Jerzy Dobrzycky*

[Cronología de la vida y obra de Copérnico.](#) *Jerzy Dobrzycky*

[Los autores](#)

Prólogo

Cuando se habla del origen de la ciencia moderna se alude generalmente a la “revolución científica” del siglo XVII, aunque en verdad aquel proceso excede los límites del siglo en ambos sentidos, ya en lo que se refiere a los forjadores de la nueva ciencia, ya en lo que atañe a las obras que introdujeron las nuevas ideas. Así, entre los sobresalientes científicos del periodo, el más próximo a nosotros o, si se quiere, el más joven es Newton que fallece en 1727, mientras que el más alejado, o el más viejo, es Copérnico, que nace en 1473; con un lapso entre ambas fechas de un cuarto de milenio; mientras que entre las obras cumbres, la primera, cronológicamente, es *De revolutionibus* de Copérnico de 1543 y la última: los *Principia* de Newton de 1687, a un siglo y medio de distancia de la anterior.

Hoy, a otro cuarto de milenio de la muerte de Newton, los esfuerzos de aquellos pioneros adquieren su cabal valor ante el extraordinario progreso de la ciencia actual: sin la concepción heliocéntrica de Copérnico y la ley de la gravitación de Newton, no hubiera sido factible el descenso del hombre en la Luna; y digamos de paso que fue precisamente Copérnico quien destronó a la Luna de su elevada y errónea categoría de planeta que gozó hasta sus tiempos para convertirla en la eterna acompañante de la Tierra; y que fue Kepler quien dejó inconcluso un *Sueño* con detalles, algunos hoy impresionantes, de un viaje espacial a la Luna.

Pero volvamos a Copérnico, de quien se cumple este año el quinto centenario de su nacimiento. Sin duda, en este caso, más relevante

es la fecha de la muerte que coincidió con la publicación de su obra magna, pero hace treinta años, en el cuarto centenario de esos acontecimientos, el mundo no estaba en condiciones de brindar el debido homenaje: Occidente en guerra y Polonia ocupada por los alemanes que, a su vez, habían anexado a Copérnico convirtiéndolo en una gloria alemana. Circunstancias tanto más lamentables por el hecho de cumplirse en el 43 el centenario de otra obra famosa: *De humani corporis fabrica* del anatomista Vesalio, publicada en 1543 a pocos meses de distancia de la obra de Copérnico, con la cual no deja de tener ciertas connotaciones comunes, que Voisé pone de relieve en el trabajo que aparece en este libro y que entre nosotros merecieron un artículo de Aldo Mieli (1879-1950): *Rivoluzione nelle rappresentazioni del macrocosmo e microcosmo nell'anno fatídico 1543* escrito en 1943 y publicado en el libro colectivo: *Homenaje a Julio Rey Pastor*. Tomo I, pp. 117-127, Rosario (Argentina), 1945.

Si en 1943 las circunstancias impidieron a los polacos rendir homenaje a Copérnico en el cuarto centenario de su muerte y de la publicación de su obra astronómica, trataron de salvar esa omisión diez años después cuando la Academia polaca de ciencias consagró una solemne sesión "a la vida y a la obra del más grande de los hijos de la nación polaca: Nicolás Copérnico". Los resultados de esa sesión aparecieron en *Sesja Kopernikowaka. 15-16-IX-1953*, Varsovia, 1955, lujoso volumen en el cual las comunicaciones presentadas y las alocuciones pronunciadas por los numerosos representantes extranjeros se publicaron en cuatro idiomas: polaco,

ruso, francés e inglés, amén del idioma original si es diferente de los anteriores.

Dado el carácter, ambiente y participantes de esa sesión, no ha de extrañar cierta atmósfera política imperante en ella; con todo sus comunicaciones son de interés; por su originalidad destacamos una breve nota sobre Copérnico y la botánica, en la que se da cuenta de la existencia de varias especies del género *Copernicia* de palmeras sudamericanas a las que desde comienzos del siglo pasado se ha dado el nombre del astrónomo en su recuerdo y homenaje. A este respecto, aunque más vinculado con la botánica médica, cabe agregar una información del historiador Rosen acerca de un detalle más bien curioso de la iconografía copernicana. En efecto, uno de los retratos de Copérnico, bastante difundido, muestra a un hombre joven, con ropa civil y un ramillete de lirios del valle en la mano.

Según Rosen ese retrato, aún existente, sería la copia de un autorretrato, perdido, que Copérnico habría pintado, "aún viva en su memoria la impresión de las inimitables realizaciones en bellas artes del Renacimiento italiano", durante su permanencia en el palacio episcopal de Warmia atando, entre otras tareas, practicaba medicina; práctica que Copérnico simboliza en los lirios, en virtud de las propiedades curativas de muchas liliáceas.

Otra obra colectiva dedicada a Copérnico apareció en Varsovia en 1965. Es la dirigida por Józef Hurwic y comprende ocho *Ensayos monográficos*, de los cuales tres: los de Zonn, Infeld y Lipinski, se han incorporado a este libro, nueva selección de estudios monográficos sobre Copérnico, dirigida por Bárbara Bienkowska,

compilada y publicada con motivo del quinto centenario del nacimiento del gran astrónomo, y de la cual esta versión al castellano quiere significar también la expresión de una adhesión argentina a ese homenaje.

Esta selección de trabajos, que la calidad de sus autores enaltece, constituye sin duda una excelente puesta al día de los conocimientos actuales acerca de Copérnico, de su obra y del papel que uno y otra han desempeñado en la historia de la ciencia.

El primer trabajo, de Herbst, describe el mundo físico y el ambiente humano bajo los cuales transcurrió la vida de Copérnico en Polonia, al compás de los acontecimientos históricos de su tiempo, así como las ciudades en las que habitó, con sus arquitecturas y las obras de arte que las adornan. Nos habla de las "patrias" de Copérnico: la patria grande, el reino de Polonia; la patria chica, Prusia y en especial Warmia; y la patria sin confines, la ciencia y la cultura renacentistas. Metáforas aparte, mucho se ha discutido el tema. Por supuesto que hablar de nacionalidades en un país como Polonia, hoy mismo multinacional, y en una época en que las nacionalidades estaban aún enlarvadas, no tiene mayor sentido. La ciudad natal de Copérnico: Torun, veinte años antes de su nacimiento estaba en poder de la Orden Teutónica, cuando nace Copérnico los polacos se la habían arrebatado. De ahí que Copérnico es un súbdito polaco de habla germana, aunque escribió, casi sin excepción, en latín. Una excepción fue uno de sus escritos sobre la moneda, destinado a la Dieta prusiana y por tanto redactado en alemán.

Por otra parte, Copérnico fue súbdito de un Estado más poderoso que el polaco: la Iglesia, la Iglesia de Roma, a la que se mantuvo fiel cuando llegaron a sus playas las olas luteranas. Aun sin disponer de documentación directa, es muy posible admitir que, en el problema de la Reforma, Copérnico siguiera como buen intelectual las huellas de Erasmo: reformar la Iglesia desde adentro sin violencias; desgraciadamente los hechos obraron en sentido contrario y Copérnico tuvo que aceptar la expulsión violenta de los reformados de su diócesis.

De atenernos a Copérnico mismo, que en una ocasión alude a la patria más bien en el sentido etimológico de "tierra de los padres", consideraba como su patria a Warmia, la pequeña región acostada sobre el Báltico enclavada en tierras prusianas; región en la que pasó la mayor parte de su vida.

Los cuatro trabajos siguientes de este libro aluden más estrictamente a Copérnico y a su obra astronómica. Aun con las inevitables repeticiones, esos trabajos se complementan: las monografías de J. Dobrzycki y A. Birkenmajer, dos profundos conocedores de Copérnico, son obra de historiadores que describen el sistema copernicano, ateniéndose directamente a los textos y a los conocimientos de la época; mientras que el trabajo de Zonn, en cierto sentido más elemental, encara el tema desde un punto de vista más amplio, de acuerdo con resultados de la ciencia de hoy y con referencias a la astronomía postcopernicana.

A modo de complemento agreguemos algunos detalles a la escueta referencia de Dobrzycki a una obra no astronómica de Copérnico: la

traducción de las *Epístolas* de Teofilacto Simocatta. El asunto viene de lejos, pues puede remontarse a 1483 cuando, a la muerte del padre, la familia de Copérnico encuentra apoyo y protección en Lucas Watzenrode, tío materno que llegó a ser obispo de Warmia y personaje de gran influencia política. Es posible que, ante la viva inteligencia de Copérnico, el tío haya visto en él un futuro sucesor de su carrera política o eclesiástica, o de ambas, como era en su propio caso. El hecho es que en su formación, Copérnico seguirá las huellas del tío: Cracovia, Bolonia..., y al regreso de Italia, en lugar de dirigirse a ocupar su cargo de canónigo en Frombork, Copérnico permanecerá casi ocho años al lado del tío, en el palacio episcopal de Lidzbark, como asesor y médico. Pero ya entonces la astronomía o, mejor, la nueva astronomía presiona y el deseo del tío naufraga. Hay que tomar una decisión y elegir entre la política y la astronomía, entre el poder y el saber, entre la tierra y el cielo, y Copérnico elige el cielo: ocupará su cargo de canónigo en el brumoso Báltico y dispondrá así de tiempo para sus observaciones y reflexiones. Pero de alguna manera deberá retribuir al "tío Lucas" todos los favores recibidos; lo hará, a la manera de los humanistas, dedicándole un trabajo literario consistente en la traducción del griego al latín de un escrito de un poeta bizantino menor: las *Epístolas* de Teofilacto Simocatta del siglo VII. Según la costumbre de la época esa traducción iba precedida por un largo poema del humanista alemán Rabe, de apellido latinizado Corvinos, amigo de Copérnico y su maestro en Cracovia. Esta traducción, única contribución de Copérnico a las letras clásicas, no tiene mayor

importancia; en cambio el poema de Corvinus asume un gran interés por el hecho de contener una alusión a las actividades astronómicas de Copérnico y ayudar de esa manera a tratar de resolver uno de los importantes problemas históricos que plantea el sistema copernicano: el de averiguar cuándo la nueva astronomía germinó en la mente de Copérnico o, más concretamente, cuándo redactó el esbozo del sistema conocido más tarde como el *Commentariolus* que circuló manuscrito. Hoy se sabe que ese manuscrito existía en 1514, de modo que su redacción fue anterior. Aquí interviene el poema de Corvinus, escrito en 1508, donde se dice que Copérnico discute el curso de “la Luna y el movimiento alternado de su hermano”. Rosen interpreta con razón que este “hermano” no puede ser sino el sol, de manera que la astronomía a la que alude Corvinus es aún la vieja astronomía geocéntrica. Claro es que Copérnico pudo mantener oculto su pensamiento aun al mismo amigo Corvinus, de ahí que se explique los distintos pareceres respecto de la fecha de la redacción de *Commentariolus*, que de cualquier manera es anterior a 1514, con lo cual queda definitivamente disipado el error que se mantuvo muchos años al fijar esa fecha alrededor de 1530. Por otra parte la fecha anterior a 1514 se confirma con una frase, de otro modo enigmática, que figura en la “Dedicatoria” al Papa del *De Revolutionibus*, donde Copérnico dice que mantuvo su trabajo en secreto, no meramente nueve años, sino hasta el cuarto de esos períodos (así traduce Rosen y no “cuatro veces nueve años” como figura en otras traducciones), de manera que, si se considera que la “Dedicatoria”

es de 1542, quedaría comprobado que el origen del sistema debe remontarse a una fecha anterior a 1515. La alusión a los “nueve años” es otro rasgo del Copérnico humanista que gusta beber en aguas clásicas, pues es una cita de Horacio al recomendar a los poetas jóvenes que no se apresuren a publicar sus escritos.

Los siguientes trabajos que completan este volumen se refieren a temas especiales, todos de interés, y sólo cabe recomendar su lectura. Señalamos, sin embargo, el trabajo de B. Bienkowska como un excelente ejemplo de una investigación en el campo de la historia de la ciencia que no se ocupa únicamente de biografías y bibliografías de científicos, sino del devenir del saber en todos sus aspectos; en este caso es la historia de una idea y de una idea controvertida: el heliocentrismo, con sus vagas referencias antiguas, su advenimiento en forma concreta con Copérnico, la natural exposición de toda idea nueva, en este caso de contornos propios, y su final imposición en conexión con el progreso científico y en concordancia con especiales factores sociales y culturales.

También nos interesa destacar el sólido estudio de E. Lipinski sobre Copérnico economista, en especial por el hecho circunstancial de ofrecer el primer trabajo completo en nuestro idioma sobre un aspecto poco conocido de las actividades de Copérnico; este aspecto es sin embargo muy importante por el espíritu moderno que anima las reflexiones de Copérnico sobre la moneda, reflejado en la conducta empírica, racional, de estricta obediencia frente a los hechos. Espíritu que, en consonancia con la nueva visión de la

naturaleza y de las cosas que aportó el Renacimiento, dio lugar a la ciencia moderna, de la cual Copérnico fue uno de sus iniciadores.

Buenos Aires, en el quinto centenario del nacimiento de Copérnico.

José Babini

Capítulo 1

Copérnico, su tierra y el medio en que vivió

Stanislaw Herbst



Copérnico nació en Torun; probablemente recibió su primera enseñanza en la vecina Chelmno, y excepto cinco años de estudios en Cracovia y odio en Italia, pasó toda su vida adulta en lo que constituía entonces la diócesis de Warmia, de la cual era canónigo. Residió al principio en la corte episcopal en Lidzbark, luego en Olsztyn, donde tenía su sede la administración de los bienes capitulares que le fue encomendada, y durante un período más prolongado, vivió en su canonjía junto a la catedral de Frombork. De allí viajaba a menudo para tomar parte en las dietas provinciales de Borussia, Pomerania y Pomerelia, en dos ocasiones viajó a la

capital del Reino, Cracovia, y quizás una vez lo haya hecho a Poznan.

La patria chica de Copérnico era la antigua Prusia Real, que comprendía su ciudad natal de Torun y toda la diócesis de Warmia, pertenecientes desde 1454 al Reino de Polonia, la patria grande del astrónomo. Pero podemos hablar también de una patria más extensa, la república universal de la ciencia y de la cultura europeas de los siglos XV y XVI.

§. I. La tierra de Copérnico

El Reino de Polonia, unido desde 1386 al Gran Ducado de Lituania y gobernado por la dinastía de los Jagellones, era el país más extenso de Europa en la segunda mitad del siglo XV, La declinación del comercio mediterráneo después de la toma de Constantinopla por los turcos, en 1453, hizo que el centro de gravedad de la economía europea se trasladase a las ciudades del Báltico, a las cuales afluían los productos naturales de las llanuras de Polonia y Lituania, atravesadas además por grandes rutas mercantiles que unían Rusia con el Occidente. El desarrollo demográfico y la creciente producción de Europa Occidental originaba una demanda cada vez mayor de cereales, fibras textiles y maderas. Alrededor del año 1480, se produce un importante cambio en el comercio báltico. Los comerciantes de Europa occidental, sobre todo los holandeses, rompen el monopolio comercial de las ciudades hanseáticas en el Báltico y establecen relaciones directas con los puertos del Báltico oriental, especialmente con los puertos polacos de Gdansk, Elblag y

Braniewo. El precio de los cereales aumenta continuamente, estimulando así su producción, lo que dará origen al desarrollo de la gran propiedad rural, capaz de obtener excedentes exportables. Al este del Elba, el latifundio fundado en la servidumbre logra que los precios de los productos agrícolas se eleven a un ritmo incomparablemente más rápido que el de los precios —y los salarios— en el sector artesanal. En la segunda década del siglo XVI esta tendencia se vuelve constante, sobre todo porque la artesanía tradicional de esta parte de Europa queda al margen del progreso de organización de la producción, que en Occidente se encamina hacia la manufactura. Ello es natural, pues las manufacturas exigen inversiones que sólo pueden ser proporcionadas por el capital mercantil o por la gran propiedad rural.

El extenso Estado polaco-lituano constituía un organismo en lento proceso de fusión, muy diferenciado desde el punto de vista geográfico, económico, nacional y religioso. Junto a polacos, el sector mayoritario, vivían allí importantes grupos de rutenos ortodoxos y lituanos, y grupos menores de armenios, tártaros mahometanos, judíos, caraítas, etc. La burguesía de las más grandes ciudades estaba constituida en buena parte por alemanes asimilados a la cultura polaca. En las ciudades pequeñas la población era casi exclusivamente polaca.

En todo el ámbito del dominio de los Jagellones, la situación de las tierras boruscas y pomeranas era muy particular. Conquistadas en el siglo XIII por la Orden Teutónica y parcialmente colonizadas por los alemanes, en buena parte sus habitantes eran esclavos y

boruscos bálticos. Geográficamente, Borussia y Pomerania comprenden dos regiones claramente demarcadas: una estrecha franja litoral, en su mayor parte muy fértil, y la cuenca lacustre del interior, que hasta el día de hoy permanece en su mayor parte cubierta por bosques. Estas dos franjas están atravesadas por el ancho valle del Vístula, densamente poblado ya en aquellos tiempos, debido a su gran fertilidad, y por el delta de este río, que aumenta constantemente de superficie y cuyas depresiones son defendidas del mar mediante técnicas elaboradas por los holandeses.

En razón de la belicosidad de sus oprimidos habitantes autóctonos, toda Borussia y Pomerania estaban cubiertas por un denso sistema de defensa: había más de 120 castillos, en parte de la Orden Teutónica y en parte episcopales, a cuya sombra protectora medraban las ciudades. Durante los sucesivos levantamientos, los habitantes de las ciudades destruían los castillos teutónicos a la par que reforzaban las fortificaciones urbanas.

En el siglo XV surgió un conflicto entre los nuevos habitantes de Borussia y Pomerania, que se habían radicado allí a partir del siglo XIII, y la Orden Teutónica. Los hidalgos y los burgueses, sin distinción de nacionalidad, se levantaron en armas, en 1454, contra la opresión económica de la Orden y la crueldad de sus gobernantes; en esa ocasión llamaron en su ayuda al rey de Polonia, país con el cual estas tierras permanecían estrechamente vinculadas cultural y económicamente.

Esta guerra, en la que intervinieron ejércitos mercenarios y que requirió un gran esfuerzo financiero por parte de los boruscos,

pomeranos y del Reino de Polonia, tuvo además un importante significado ideológico, ya que los teutones, como orden de caballería de carácter religioso, representaban una institución eclesiástica tradicional, y, a la vez, el Estado, que ella había constituido políticamente, formaba parte del Sacro Imperio Romano Germánico. Por esta razón las ciudades boruscas y pomeranas podían ser acusadas de herejía aunque se rebelasen sólo contra la autoridad secular de la orden. El argumento religioso que tanto necesitaban los sublevados, lo obtuvieron de los teólogos polacos, quienes elaboraron una tesis sobre el derecho de los súbditos a rebelarse contra la autoridad injusta. El Reino de Polonia y las tierras de Borussia y Pomerania superaron la crisis provocada por la excomunión que la Orden había obtenido arteramente de la entonces sobornable curia romana y, después de trece años de guerra, la paz firmada en 1466 selló definitivamente la suerte de la Orden. El Gran Maestro logró salvar una parte de sus tierras y sus poderes, pero tuvo que declararse vasallo del rey polaco.

El límite entre el Reino y el estado tributario era bastante arbitrario; el obispado de Warmia constituía prácticamente un enclave, ya que estaba unido a la Prusia Real únicamente por una estrecha franja de litoral, de manera que quedaba prácticamente rodeado por territorios de la Orden.

Trece años de guerra —1454-1466— librada en un territorio tan pequeño y con ejércitos a veces numerosos, llevaron el país a la ruina. La población disminuyó a menos de la mitad y fueron necesarios cien años para reparar esta pérdida. Pero, por otra parte,

la excelente coyuntura económica, la unión con la inagotable fuente de recursos naturales que era entonces el Reino Polaco, los privilegios concedidos por el soberano y una amplia autonomía contribuyeron al rápido restablecimiento y reestructuración de la economía de la Prusia Real. La ola de migración que se produjo a raíz de estos acontecimientos incluyó al padre de Nicolás Copérnico, quien llegó de Cracovia a Torun antes del año 1458, y se emparentó con familias de la aristocracia urbana contrayendo matrimonio con Bárbara Watzenrode, hermana del canónigo Lucas Watzenrode, futuro obispo de Warmia.

El comercio entre el interior de Polonia y los puertos bálticos favoreció especialmente a cuatro ciudades situadas a orillas del Vístula, la principal vía de comunicación del reino: Torun, Chelmno, Gdansk y Elblag, las dos últimas ubicadas en la desembocadura del río. La burguesía de estas ciudades dominaba la vida económica y política de la provincia que era al mismo tiempo la más urbanizada de Polonia. La autonomía de las tierras de Prusia Real, las ventajas económicas de la unión con Polonia —que representaba a la vez su única garantía de independencia, en vista de los continuos intentos de reivindicación por parte de la Orden— y por último, la atracción cultural que ejercía Polonia, determinaron que la alianza establecida en 1454 y afianzada durante la guerra, resultase firme y duradera.

En vista del estancamiento económico de las regiones orientales de Alemania y la decadencia de las ciudades hanseáticas, el desarrollo del comercio trajo influencias culturales de los Países Bajos. De ellos llegaron la *devotio moderna* y los Hermanos de la Vida en

Común, quienes se dedicaban principalmente a la instrucción de los jóvenes burgueses. Sus enseñanzas estaban imbuidas de seriedad, sencillez y laboriosidad, cualidades que complementaban los hábitos mercantiles de cálculo y audacia. Fundaron una escuela en Chelmno, en la cual enseñaban también latín y literatura clásica. Por su sobriedad, este establecimiento contrastaba notablemente con las escuelas dominicanas y franciscanas de la época, cuya principal preocupación era la de formar predicadores. Buena acogida tuvo en Prusia la pintura flamenca, que inspiró también a los artistas locales.

La diócesis de Warmia, donde Copérnico vivió, salvo breves intervalos, durante cuarenta años, constituía una parte autónoma de la Prusia Real, y sus bienes se hallaban divididos entre episcopales y capitulares. Su ciudad y centro comercial más grande era Braniewo, de la cual dependían económicamente las demás ciudades. El obispo tenía su residencia en el magnífico palacio episcopal de Lidszbark, que existe hasta hoy, mientras que la catedral y la sede del capítulo se encontraban en Frombork, pequeña ciudad portuaria sobre el estuario del Vístula. La catedral era a la vez fortaleza y se encuentra en lo alto de una elevación del terreno, desde la cual se domina todo el estuario, divisándose a lo lejos la línea de negros bosques que cubren la estrecha península, detrás de la cual se halla el mar abierto. Cien kilómetros más al sur, en medio de lagos, collados y espesos bosques, sobre la elevada costa del río Lyna, se encuentra la ciudad de Olsztyn, en cuyo

castillo tenían su sede los administradores de las tierras capitulares, actualmente capital de la provincia homónima.

Mientras la franja litoral de Warmia con sus fértiles tierras labrantías estaba poblada en su mayor parte por alemanes y prusianos germanizados, los pobladores de la zona del sur y de Olsztyn procedían de Polonia. Después de las guerras con la Orden, en 1454-66 y 1520-21, la administración capitular estableció en las assoladas tierras a colonos polacos. Fue esta una de las tareas que le cupieron a Copérnico como administrador de las tierras del capítulo, cuando en cumplimiento de su misión hizo numerosos viajes por la comarca y confeccionó detalladas actas de los asentamientos de nuevos arrendatarios. El carácter polaco de las áreas rurales tuvo por consecuencia la polonización de la población urbana del Sur de Warmia.

§. II. El medio en que vivió

La infancia, que pronto habría de ser orfandad, de Nicolás Copérnico transcurrió en Torun, una de las grandes ciudades de Pomerania, que después de la guerra de los trece años comenzó a desarrollarse con gran vitalidad, aunque pronto sería eclipsada por Gdansk.

Torun fue fundada, como centro esencialmente comercial, por la Orden Teutónica en 1231, sobre la margen del Vístula, en tierras polacas que lindaban con las habitadas por los antiguos pomeranos. En 1280 surgió en su inmediata vecindad la Nueva Torun, en la cual se desarrolló rápidamente la artesanía. La ciudad floreció

durante todo el siglo XIV, gracias al comercio de productos agrícolas polacos. Este desarrollo se vio entorpecido desde principios del siglo siguiente a raíz de las guerras entre Polonia y la Orden Teutónica. Torun ha conservado hasta hoy muchos de sus imponentes edificios de aquella época, contruidos en ladrillo rojo, entre ellos varias iglesias, el ayuntamiento y las murallas y torres que la defendían. Conserva también notables obras de escultura y pintura.

Los años de tranquilidad que siguieron a la guerra de los trece años, terminada en 1466, marcaron una nueva fase de desarrollo del estilo gótico en su arquitectura. Desaparecieron las estructuras verticales y surgieron formas más compactas, de paredes lisas y divididas en niveles horizontales. Un buen ejemplo de este tipo de arquitectura gótica es la iglesia parroquial de San Juan Bautista, enorme pabellón reconstruido en los años 1468-72, visible desde toda la ciudad y donde se halla la pila de bronce en la cual fue bautizado, en 1474, el hijo de un comerciante domiciliado en la Ciudad Vieja, a quien se le dio el nombre de Nicolás, en homenaje al patrono de los mercaderes. El inteligente niño recibió, gracias al apoyo de su emprendedor tío, que era canónigo —y desde 1489 obispo— de Warmia, una educación mucho más vasta que la que acostumbraba darse a los hijos de los burgueses, aunque el ambiente mismo en que se crió le inculcó el gusto por el cálculo, la costumbre de medir el tiempo según el calendario astronómico —y no de acuerdo con las fiestas religiosas— y el conocimiento del dinero. Entre los buenos burgueses de aquella época despertaban mucho interés los fenómenos astronómicos y, naturalmente, los

problemas internos del municipio. Estaban acostumbrados a pensar en términos económicos; sentían un profundo respeto por el trabajo y no retrocedían ante un razonable riesgo.

Copérnico, cuyo tío pensaba encaminarlo por la carrera eclesiástica y universitaria, se habría trasladado de Torun a Chelmno, donde existía un *studium particulare* de nivel mucho más elevado que la escuela parroquial de Torun.

Chelmno, sobre la margen del Vístula, a un día de camino de Torun, otrora una gran ciudad, después de la guerra había decaído económicamente. Tenía en cambio antiguas tradiciones escolares, y fue allí donde en el siglo XIV se intentó fundar la Universidad de Pomerania. Los Hermanos de la Vida en Común proporcionaban además, a sus alumnos, incentivos y conceptos morales, diferentes del ideal de enriquecerse a toda costa, que imperaba en la ciudad natal de Nicolás.

En otoño de 1491, a los 18 años, Copérnico se matriculó en la Universidad de Cracovia, en lugar de hacerlo, como la mayoría de los jóvenes de la provincia, en la Universidad de Rostock o en la recién fundada de Greifswald. Probablemente lo decidieron razones familiares y la fama de Cracovia, que era el centro universitario de más prestigio en la Europa Central de entonces.

Cracovia era no sólo la capital de un gran reino, sino también una metrópoli comercial, centro de una importante región agrícola y minera. Era asimismo la ciudad más populosa del reino; a sus habitantes polacos se asimilaban muchos burgueses alemanes y había también numerosos italianos. Como en todas las ciudades

polacas de entonces, la alta burguesía de la ciudad no era del todo independiente de los aristócratas y magnates locales. Los horizontes políticos estaban definidos por los cuatro Estados sujetos a la soberanía de la dinastía de los Jagellones: Polonia, Lituania, Bohemia y Hungría, que se extendían hasta el Mar Negro y el Adriático. Los problemas del Báltico eran relegados a un segundo plano en vista de la creciente amenaza por parte del imperio otomano. La bandera de los Jagellones tuvo que ser arriada en los puertos del Mar Negro: Kaffa-Feodosia en Crimea, en 1475, Kitia y Belgorod en Ata Iulia, en las bocas del Danubio, en 1484. Se pensaba ya en la expedición de reconquista que habría de terminar desafortunadamente en 1497. Cracovia tenía un aspecto muy diferente al de las ciudades de Pomerania. En la construcción se empleaba más piedra blanca y menos ladrillo, que era el único material utilizado en el Norte. A la llegada de Copérnico, la ciudad comenzaba a adoptar una nueva variante del estilo gótico decadente, llegado desde el centro de Europa a través de Sajonia y Silesia, y de Hungría septentrional, Eslovaquia.

Precediendo a la nueva arquitectura, llegaron la pintura y la escultura de carácter monumental, los grandes altares que revelaban al forastero de Torun o Chelmno el arte de las poderosas composiciones con decenas de figuras humanas, características del gótico tardío (el estupendo "Descendimiento de la Cruz" de Torun data sólo del año 1495). Al mismo tiempo, alcanzaba su perfección el arte de las miniaturas.

La pintura, el tapiz, la escultura y la orfebrería componen el interior de las Iglesias, buscándose sobre todo el efecto decorativo, con el espíritu del que diseña una alfombra, pero sin rehuir la representación de la figura humana. La mentalidad ahistórica de aquella época inducía a representar las escenas religiosas como si fueran contemporáneas: además de imágenes de santos, se les dedica cada vez más espacio en los cuadros a los hombres de la época y a los objetos de uso cotidiano. De aquí va surgiendo paulatinamente una imagen más completa del hombre contemporáneo, de su apariencia, sus gestos, su manera de vestirse, su trabajo, con todas las diferencias antropológicas, sociales y hasta psíquicas, propias de un ser humano concreto. Favorecen esta corriente los cambios que se están operando en la mentalidad polaca, precisamente en esta época: "el descubrimiento del mundo y del hombre". Los colores, hasta ahora simbólicos y reducidos en número, al igual que las formas hieráticas, empiezan a diferenciarse para representar de manera cada vez más verídica el color de la luz y la forma de la vida, a fin de impresionar más profundamente al espectador.

El ámbito en el que la nueva pintura se abría paso con más dificultad era la decoración monumental de los altares, debido a los impedimentos técnicos y al arraigo de las costumbres. Estos obstáculos no incidieron sobre el desarrollo de las miniaturas, arte que se desarrolló magníficamente en Cracovia en los primeros años del siglo XVI y encontró su mejor expresión en numerosos libros litúrgicos y devocionarios de la época. Estos fueron convertidos en

cabales obras de arte, con elementos no sólo religiosos, ya que los artistas, al ilustrar los libros, introducían elementos puramente personales —como eran las vivencias individuales de un hombre refinado y el ambiente mundano que lo rodeaba—, los encantos de vastos paisajes y detalles sentimentales. La obra más singular y totalmente laica es el “Codex Picturatus”, hecho por encargo del escribano de la ciudad, Baltazar Behem. Se trata de una recopilación de los estatutos de las corporaciones artesanales cracovianas, adornada con 28 miniaturas, especie de sonetos pictóricos que representan escenas del trabajo de diferentes artesanos. Los interiores de los talleres, los amplios paisajes —el simbolismo y el lirismo del invierno nevado y del caluroso verano— forman en conjunto una especie de enciclopedia que trata de la vida de las ciudades de entonces, escrita con oro puro, pero sobre todo con sutiles composiciones del blanco, negro, amarillo limón y celeste. La misma gama que veremos, 150 años más tarde, en los cuadros de Vermeer.

La pintura y la escultura, con el brillo del oro y la profundidad de los colores puros, lo dramático de la narración y lo sagrado de los temas, ejercía una influencia poderosa y duradera en el sentir de la gente, estimulando a la vez el desarrollo intelectual.

El arte cracoviano se manifestó en aquella época en los trípticos y polípticos, tallados y pintados, enmarcados en la arquitectura gótica de las iglesias. El tríptico, abierto durante las ceremonias, debía maravillar a los fieles con su riqueza, y dar mayor brillo al acto religioso. Debido a su función litúrgica, el tríptico mantuvo su

antigua forma; de ahí el gesto hierático y el fondo dorado sobre el cual aparecían escenas y personajes bíblicos y hagiografía». Las alas exteriores de los trípticos, visibles cuando el altar era cerrado estaban cubiertas con obras de pintores más jóvenes, generalmente más Innovadores. En ellas remaba un mundo normal, sin excesos de oro. Desde el surgimiento del primer gran tríptico cracoviano en 1467, en la iglesia de los dominicos, se va profundizando constantemente el realismo de sus tallas y pinturas; entre sus motivos se hacen cada vez más abundantes la flora y la fauna, en ocasiones muy semejante a la que abundaba en la región de Cracovia. Acontecimientos muy lejanos geográfica y cronológicamente son representados como si se produjeran aquí y ahora, en la casa de al lado, en presencia de los vecinos, los pastores y sus rebaños, los artesanos y mercaderes. En las copas de los árboles cantan las pájaros; entre la hierba y las flores se advierte un topo, y un ángel semejante a una gran mariposa, cruza el cielo nocturno cual estrella fugaz.

Copérnico presencié la gestación de la más valiosa obra de arte de esos años en Europa: el retablo de la iglesia de Nuestra Señora de Cracovia, políptico cincelado, pintado y dorado pacientemente durante doce años por el tallador alemán Wit Stosz. La obra fue pagada con dinero reunido por la alta burguesía de la ciudad e insumió más oro que cualquiera de los altares europeos de su época, pero a la vez, pocas obras de este género han dado ocasión a tantas y tan intensas emociones artísticas.

La parte central presenta la Dormición de la Virgen María, que se desliza suavemente entre las manos de los alarmados Apóstoles que la sostienen. El sufrimiento de cada uno de ellos es diferente; lo expresan sus rostros, sus manos y sus vestiduras, agitadas por el viento. Quizá presencian doloridos la muerte de su propia época y de todo el orden medieval. Los relieves policromos de las alas del tríptico constituyen no sólo un relato de la vida de la Madre y la Pasión del Hijo, sino también una completa síntesis de los hombres, los objetos, las glorias y las miserias del Medioevo.

La fama de este Donatello del Norte le abrió las puertas de la corte real. En la catedral del castillo real de Wawel, labró en mármol rojo la hermosa estatua yacente del rey Casimiro Jagellón, muerto en 1492. El estremecedor realismo del rostro que representa una máscara mortuoria, y la figura entera crispada por la agonía que yace sobre la tumba, adornada con las acostumbradas plañideras, se contrapone al cielo, simbolizado por un formidable baldaquín, formado por las entrecruzadas ojivas de los pilares que lo sostienen. El gran escultor pasó sus años más venturosos y fecundos (1477-1496) en Cracovia. Posteriormente, de regreso a Nüremberg —trágico período de su vida—, ejecutó aún una escultura para Polonia, fundida en bronce por Peter Vischer, de la misma ciudad, a manera de lápida sepulcral de Felipe Calimaco, que fue colocada en la catedral de Cracovia. Calimaco (Felipe Buonaccorsi), historiador y humanista italiano, consejero político de dos reyes consecutivos de Polonia, era propietario de la residencia vecina a la casa de la familia Copérnico, en la Ciudad Vieja de Torun.

Wit Stosz tuvo en Cracovia numerosos alumnos e imitadores, que luego se dispersaron por casi todo el país y perpetuaron en sus obras, de ningún modo mediocres, el aspecto de Polonia y sus habitantes, a principios del siglo XVI.

La pintura cracoviana siguió produciendo obras excelentes, entre las cuales merece especial mención la "Dormición de María", de Martin Czarny, del tríptico de Bodzentyn (1508), con la figura de su fundador, el obispo de Cracovia Jan Konarski.

La existencia de la Universidad impulsó el desarrollo de la imprenta, que difundió el acceso a la ciencia. La Universidad de Cracovia, en la que Copérnico estudió artes liberales durante cuatro años, tenía magníficas tradiciones, establecidas en la primera mitad del siglo y seguía siendo un centro de estudios lleno de vitalidad que atraía a estudiantes de toda Europa, y especialmente de su parte central. Gracias a sus cursos de literatura clásica, la Universidad mantenía un contacto muy estrecho con el humanismo italiano. Baste mencionar que en 1492 se dictaron diez cursos sobre los clásicos: Cicerón, Ovidio y Virgilio (sobre *Las Bucólicas*, *Las Geórgicas* y *La Eneida*). En el ámbito de las Ciencias Naturales, se seguía aquí la interpretación buridamana de la física aristotélica, especialmente la teoría del impulso (*impetus*) cuyo enfoque del movimiento físico favoreció el desarrollo de la astronomía y la física modernas. Buridan preconizó también la necesidad de observar el mundo. La Matemática y la Astronomía alcanzaron en Cracovia un alto grado de desarrollo. Es probable que el sobrino del obispo y político haya tenido oportunidad de trabar conocimiento con el "segundo círculo",

el de la cultura intelectual extrauniversitaria, que además de prelados, políticos y diplomáticos, incluía a los humanistas peregrinantes.

Copérnico no obtuvo en Cracovia ningún grado universitario, aunque es indudable que asimiló gran cantidad de conocimientos, sobre todo matemáticos, que, unidos a sus primeras observaciones, le hicieron ver las contradicciones de la teoría geocéntrica del universo. Partió a Italia en 1496, llevando en su mente la duda, y la intención de seguir estudiando, para lo cual se hallaba muy bien preparado.

Llegó a Italia a tiempo para contemplar la revolución que se operaba en el arte militar desde 1495, cuando los sabios y artífices de muchos países buscaban con premura alguna solución a la desproporción entre la resistencia de las fortificaciones y el poder demoleedor de la artillería, a la par que trataban de darle a ésta mayor movilidad, para utilizarlas en las batallas en campo abierto. Precisamente el Gran Capitán Gonzalo Fernández de Córdoba probaba la eficacia de la táctica española, utilizando a Italia como polígono. No está descartado que el joven estudiante, llegado del Reino de Polonia hubiera adquirido algún conocimiento de estos problemas durante su estada en Italia, que bien pudo serle de utilidad en años posteriores. Mientras tanto, Copérnico estudiaba Medicina y Derecho, que eran el motivo oficial de su viaje, y admiraba a Bolonia, Ferrara, Padua y la Roma de Alejandro VI. Además de contemplar ruinas, joyas del arte antiguo y las nuevas obras de perspectiva pictórica, Copérnico seguía dedicando su

tiempo a pacientes cálculos y a la escrupulosa verificación de los resultados de la observación de las esferas celestes.

En 1503, obtuvo apresuradamente su título de Doctor en Derecho Canónico (los "decretos") y partió de regreso a Warmia, donde vivió hasta el fin de sus días. Hasta la muerte de su tío, en 1512, residió con éste en el castillo de Lidzbark, acompañándolo en dos ocasiones a Cracovia y probablemente a Poznan. Percibió seguramente los cambios que se operaban en la arquitectura de la capital: junto a las bóvedas estalactíticas del nuevo gótico del Collegium Maius de la Universidad, terminado en 1497, surgían las primeras obras de los arquitectos reales, procedentes de Italia, que representaban el más puro Renacimiento toscano. Junto a las últimas obras de Wit Stosz, y a la copiosa producción escultórica de sus discípulos, aparecían las primeras obras renacentistas de los florentinos. Copérnico observó el desarrollo de las técnicas y el progreso económico del remo y su capital. En esta ocasión, pudo también renovar viejos lazos de amistad, entre ellos con toda seguridad los que lo unían con Bernard Wapowski, excelente cartógrafo e historiador, con quien desde entonces mantuvo correspondencia. Cracovia era también la única ciudad en la cual podía imprimir su primer libro, las "Epístolas" de Teofilacto Simocatta, traducidas por él del griego al latín.

Con seguridad, no alcanzó a conocer a los grandes humanistas polacos de la generación nacida alrededor del año 1500, a excepción de Hozjusz, canónigo de Warmia desde 1538, y más tarde cardenal. En cambio, pudo conocer más de cerca los problemas políticos

internos de los estados gobernados por los Jagellones, y sobre todo el movimiento de los llamados “pequeños nobles” que exigían mayores privilegios económicos a medida que se enriquecían, independizándose de los magnates. También conoció los problemas de su tierra natal, vistos desde la capital.

Viajó frecuentemente, en compañía de su tío, a las dietas provinciales de Pomerania y Borussia, en muchas de las cuales fue delegado por el capítulo, después de 1512. Era, pues, asiduo huésped de Gdansk, Torun, Grudziadz y Elblag, y sobre todo en Malbork, la antigua capital del estado de la Orden Teutónica, cuyo castillo, una de las fortalezas más formidable de Europa, otrora residencia del Gran Maestre de la Orden, domina hasta ahora las aguas del Nogat, en el Delta del Vístula. En las dietas provinciales se granjeó el respeto de todos los representantes, aristócratas, eclesiásticos, hidalgos y representantes de la alta burguesía, gracias a sus conocimientos en materia de política y economía. Cabe recordar que en aquella época la ideología caballeresca proclamaba que los dos pilares sin los cuales el mundo se tornaría un caos, eran *chevalerie et Science, qui moult bien conviennent ensemble*. Al título doctoral se le concedían derechos equivalentes a la nobleza de sangre.

También la fisonomía de su patria chica, la Prusia Real, evolucionaba lentamente. En Warmia, se introducían asimismo los efectos de claroscuro de la bóveda estalactítica y las formas suaves del Renacimiento. Las esbeltas ojivas de las construcciones de ladrillo se fueron redondeando bajo la influencia de los arquitectos

holandeses que llegaban por la ruta del Báltico, o de los sajones llegados de Leipzig, entonces metrópoli comercial del centro de Europa. Los oídos de los venerables canónigos, reunidos en capítulo de Frombork, no permanecían sordos a las preocupaciones de la nobleza pomerana y borusca, cuyo vocero era el nuevo obispo de Warmia, educado en Italia, Fabian de Lossainen (1512-1523) sucesor de Lucas Watzenrode. Los intereses de la alta burguesía de Gdansk estaban bien representados por el futuro obispo de Warmia, el despótico y falto de escrúpulos Mauricio Ferber (1523-1537), en tanto que los intereses políticos de la corte de Cracovia estaban en manos de Jan Dantyszek, poeta cortesano, durante muchos años embajador en la corte de Carlos V en Valladolid, más tarde corresponsal y protector de Erasmo de Rotterdam, y también obispo de Warmia desde 1537 hasta 1548.

El capítulo del cual Copérnico formaba parte desde 1495 se diferenciaba de otras instituciones del género por su composición, casi exclusivamente burguesa.

La mayoría de sus miembros poseía grados académicos, si bien eran pocos los que habían recibido las órdenes superiores. Entre sus miembros se contaban notables humanistas, como el eximio poeta y diplomático Jan Dantyszek y Tiedemann Giese, íntimo amigo de Copérnico, corresponsal de Erasmo de Rotterdam, y de Felipe Melanchton y obispo de Chelmno, desde 1538 y de Warmia desde 1549. Los numerosos beneficios de que gozaban los miembros del capítulo en diferentes partes del reino, las misiones que les encomendaba el rey y finalmente los viajes de estudios al exterior

eran la causa de que de los 16 canónigos del capítulo nunca estuvieran presentes más de la mitad. Aunque en Frombork permanecían aún vivas las tradiciones de la vida comunitaria de los canónigos, los miembros del capítulo eran ya más “señores de Frombork” que eclesiásticos. Su principal preocupación consistía en la marcha de los negocios en sus tierras particulares y en la administración de las propiedades comunes del capítulo. Copérnico, aunque tenía amigos, llevaba una vida más bien retraída, puesto que dedicaba todo el tiempo que le dejaban libre las obligaciones capitulares a la observación y los cálculos, que no interrumpió ni siquiera durante la guerra, cuya cambiante fortuna no influía sobre los movimientos celestes. Merecen mencionarse los vínculos de amistad que lo unían con Tiedemann Giese. Durante muchos años fue éste el único sacerdote miembro del capítulo, razón por la cual Copérnico lo instaba a trabarse en duelo polémico con el luteranismo. En este aspecto es posible que lo guiase un espíritu erasmiano. Giese se interesó por la Astronomía y, ya como obispo de Chelmno, indujo a Copérnico a escribir y publicar toda su obra, mientras que éste estaba dispuesto a publicar únicamente las tablas.

La mayor parte de la vida cotidiana de estos hombres transcurría en el recinto de la singular fortaleza catedralicia. Esta estaba dispuesta en forma de pentágono irregular con gruesos muros reforzados con bastiones, en lo alto de una empinada colina nivelada artificialmente. El ángulo noreste está ocupado por un templo gótico, que es quizás el más bello en su género, al este del Vístula,

construido en los años 1329-1388, al estilo de las iglesias cistercienses, con una larga nave rematada en sus ángulos con esbeltas torrecillas. La regularidad de sus paredes laterales, interrumpida únicamente por las altas ventanas, contrasta con la profusión ornamental de la fachada, dividida por arcadas y ventanas tapiadas. Los elementos de piedra —arenisca traída de la isla de Gotland— están ricamente esculpidos. La longitud de la nave (86 metros junto con el presbítero) está acentuada por el “nervio maestro” que corre a través de toda la bóveda. El elemento más importante del suntuoso interior era el gran retablo del altar mayor, fundado por el obispo Watzenrode en 1504, es decir instalado en presencia de Copérnico. Esta obra, de un escultor de Torun, representa la imagen un tanto sensual de la Virgen con el Niño.

El mayor motivo de preocupación de Warmia y Prusia Real, y por lo mismo de Polonia, era la Inmediata vecindad de los teutones. La Orden Teutónica de la Santísima Virgen María podía contar, a principios del siglo XV, con la ayuda de centenares de hermanos y miles de cruzados de casi todos los países de Europa, que por sus propios medios acudían a defender con las armas la mal entendida causa de la cristiandad. En cambio durante la Guerra de los Trece Años, la Orden contaba únicamente con tropas mercenarias, en su mayoría de infantería. El contraste entre la ideología y la práctica se tornó particularmente violento a principios del siglo XVI, cuando la Orden trataba por todos los medios de no perder sus colonias y mantener el “hospital de la caballería alemana” en tierras extrañas, debido a que en su propio país había perdido toda razón de ser.

Contrariamente a lo establecido en el tratado de 1466, la Orden se obstinaba en no admitir entre sus miembros a caballeros polacos y trataba de librarse del tributo impuesto por el rey polaco y de reivindicar todas las tierras prusianas. Muy diferente era la situación de las órdenes españolas, como las de Santiago, Alcántara y Calatrava, que después de la Reconquista se habían convertido en instituciones honoríficas y dependientes de su rey. Eligiendo al Gran Maestro entre las más poderosas familias alemanas —Federico de Sajonia de 1510 a 1517, Albrecht Hohenzollern de 1510 a 1525, pariente del elector de Brandeburgo—, la Orden trataba de obtener ayuda alemana y de vincular su causa a la lucha de los diferentes electores, por la hegemonía en el mundo germánico. Esto afectaba directamente los intereses de la población prusiana, cuya libertad y prosperidad dependían de su unión con el organismo económico polaco. Afectaba los intereses de Polonia, por cuanto implicaba un peligro para su salida al mar y por lo mismo para su comercio con los mercados occidentales. Tampoco la autoritaria mentalidad de la Orden concordaba con las tendencias más democráticas de la nobleza polaca, que obtenía una creciente participación en los gobiernos de un estado tan extenso y de tan heterogénea organización económica.

Uno de los problemas más candentes era el que causaba la moneda de inferior calidad acuñada por la Orden, que desplazaba a la moneda polaca. Pero el peligro más grave era sin duda el que se cernía sobre la autonomía de Prusia Real, en particular sobre la del

obispado de Warmia, casi totalmente rodeado por posesiones de la Orden.

Aun después de la muerte de su tío, tan dedicado a la política, en 1512, al hacerse cargo de su canonjía de Frombork, Copérnico debió seguir ocupándose de las vastas constelaciones políticas, de las que formaba parte el conflicto con la Orden. Con tanto mayor razón debió preocuparle la seguridad de Warmia y su economía agrícola cuando el capítulo lo nombró administrador de sus bienes. Sus obligaciones eran múltiples: como médico velaba por la salud de sus colegas; como jurista buscaba la manera de sanear el tambaleante sistema monetario; como administrador debía ocuparse del asentamiento de nuevos arrendatarios en las desiertas granjas y como matemático y técnico debió dirigir la construcción de modernos bastiones de artillería en los castillos de Lidzbark, Reszel, Olsztyn y probablemente Frombork.

Al estallar la última de las guerras con el estado de la Orden (1519-1521) y dispersarse los canónigos de Frombork, conquistado por el Gran Maestre, fue la ciudad de Olsztyn, administrada por Copérnico, el más importante foco de resistencia, además del castillo de Lidzbark. Sobre Copérnico recayó, pues, la misión de pactar con el Gran Maestre, de poner a salvo el tesoro del capítulo, y preparar el castillo y la ciudad para resistir la invasión. Copérnico hizo traer a Olsztyn mercenarios polacos y dirigió la defensa durante la audaz incursión del Gran Maestre.

Los años de guerra y luego los cuatro años de tregua, quedaron cerrados con el tratado de Cracovia de 1525 y el homenaje rendido

al rey polaco por el Gran Maestre Albrecht Hohenzollern, el cual, tras una conversación con Lutero, abandonó la túnica eclesiástica y se convirtió en príncipe secular de la Prusia llamada Ducal. En este período se consumaban otros cambios no menos importantes: se extendía la Reforma, y estallaban cruentos alzamientos contra los poderosos de este mundo, seculares y eclesiásticos. La tensión particularmente fuerte que existía entre la plebe y la alta burguesía de las ciudades prusianas creaba condiciones muy propicias para la expansión de la Reforma, que podía difundirse rápidamente gracias a la imprenta y las prédicas. La Reforma suministraba la necesaria justificación ideológica para los levantamientos de la plebe de las ciudades, que acogía calurosamente la idea de una iglesia menos onerosa en Gdansk, Elblag y Torun. Las revueltas eran reprimidas por la autoridad real, quien a su vez trataba de poner coto a los excesos de los burgueses, concediéndole a una representación de plebeyos el derecho de controlar la economía de las ciudades. El descontento popular culminó en 1525, cuando los cruentos motines de Gdansk, Elblag y Torun se extendieron también a Braniewo, en Warmia, a diez kilómetros de Frombork.

Mucho más amenazador parecía el levantamiento de los campesinos en el vecino principado de Prusia Ducal, que estalló en Sambia, también en 1525, contra la creciente opresión que —cosa singular—, coincidía cronológicamente con el paso al bando de la Reforma del Gran Maestre Albrecht Hohenzollern, contra los deseos de muchos Hermanos de la Orden. El príncipe protestante ahogó en sangre la revuelta campesina, obteniendo para ello la ayuda de los magnates

polacos y del obispo de Warmia, Ferber, que permaneció fiel a Roma.

El rey de Polonia, Segismundo el Viejo, prohibió so pena de muerte, la difusión de la nueva fe, lo cual no le impidió reconocer la ruptura con Roma del príncipe prusiano.

De Copérnico sabemos únicamente que permaneció en la vieja Iglesia hasta el final, al igual que su contemporáneo Erasmo de Rotterdam, gran humanista y crítico de los excesos eclesiásticos. Es claro que ello no se debió únicamente al deseo de conservar su canonjía, que le permitía vivir y continuar su labor científica. Pues para la gente de las postrimerías de la Edad Media, tan acostumbrada a las excomuniones, ni siquiera la de Lutero significaba la escisión definitiva de la cristiandad. Siempre quedaban esperanzas de reconciliación. Al igual que la mayoría de los humanistas, Copérnico era seguramente creyente y veía en la vieja Iglesia, despojada de sus errores, la garantía del orden social tan caro a la alta burguesía, de la que procedía, y también el sostén de la unidad del mundo intelectual al que pertenecía. Como Erasmo, no halló seguramente su Camino n Damasco. Por otra parte, con el correr de los años se consagró cada vez más a concluir la obra de su vida; además, poco a poco también sus fuerzas se iban agotando.

Capítulo 2

Nicolás Copérnico, su vida y su obra

Jerzy Dobrzycky

I

El nivel logrado en el siglo XV por la astronomía matemática, o al menos por sus más ilustres representantes, no permitía eludir la respuesta a dos problemas de fundamental importancia. El primero de ellos concernía a la realidad de las teorías astronómicas, problema heredado de la filosofía natural de la Antigüedad. Por lo demás, la disputa sobre el convencionalismo de las teorías científicas estaba destinada a conservar su vigencia durante toda la Edad Moderna, aunque variase el objeto mismo de la disputa. El segundo se refería al crédito intelectual de las autoridades científicas y derivaba de la contradicción entre las antiguas teorías y las modernas observaciones.

Un elemento inseparable de la visión aristotélica del mundo era su sistema astronómico: un universo construido de esferas cristalinas concéntricas que sostenían el Sol, la Luna y los planetas, describiendo círculos alrededor de la Tierra, inmóvil en su centro, o sea dotados del único movimiento perfecto y eterno. Tras largos siglos de dominación de la doctrina aristotélica, este sistema, que recibió su forma matemática ya en el siglo IV a. de J.C., quedó firmemente arraigado en la conciencia humana, y en todos los niveles de educación, como el único acorde con la filosofía de la

naturaleza y con las más elementales observaciones, que, en definitiva, confirmaban la forma esférica de la bóveda celeste.

El sistema de esferas concéntricas demostró sin embargo ser insuficiente para explicar la irregularidad del movimiento de los planetas, debido a que sus órbitas eran en realidad elípticas y no circulares. Tampoco explicaba la variabilidad de la distancia entre los planetas y la Tierra, que se manifestaba en cambios de luminosidad, en evidente desacuerdo con las distancias constantes de las esferas planetarias concéntricas. Los astrónomos trataban de hacer coincidir el modelo geométrico y las observaciones por medio de ingeniosas construcciones. Hiparco, en el siglo n a. de J.C., concibió el centro de la órbita solar como un punto exterior a la Tierra, lo cual suplía satisfactoriamente el movimiento elíptico real, mientras que aprovechando los trabajos geométricos de Apolonio, se introdujo el concepto de epiciclo, es decir, el círculo descrito por el planeta en movimiento uniforme y cuyo centro recorre, también con movimiento uniforme, el perímetro del círculo principal —llamado deferente— de la órbita. El movimiento del planeta sobre el epiciclo era una representación geométrica del verdadero movimiento de la Tierra. En el *Almagesto* de Ptolomeo, que resume las conquistas de la Antigüedad en materia de descripción geométrica del Universo, encontramos además otra diferencia con la doctrina aristotélica primitiva: la formulación del ecuante, según la cual la velocidad angular del centro del epiciclo, en su movimiento por el deferente, era uniforme, no con respecto al centro del deferente, sino con respecto a un “punto de ecuación”

(ecuante), que no coincidía con el centro del deferente ni con el de la Tierra.

La divergencia entre la práctica astronómica, que se servía de un complejo sistema de movimientos circulares, y de la filosofía, en la cual seguía siendo válida la jerarquía de las esferas planetarias concéntricas, constituyó durante siglos enteros el problema capital de la astronomía. Las primeras tentativas de conciliar estos dos sistemas fueron emprendidas ya en tiempos de Ptolomeo, pero no condujeron a resultados satisfactorios; de ahí que se procurase resolver el dilema, reconociendo el carácter convencional de las tesis de la Astronomía matemática. El postulado platónico, consistente en explicar los fenómenos reduciéndolos a movimientos circulares básicos, se convirtió en la fórmula para "salvar los fenómenos". De este modo, se ponía en evidencia el carácter convencional de los modelos matemáticos, reducidos a recetas de cálculo. Esta opinión había de desempeñar luego un papel muy importante en la historia de la aceptación de la teoría heliocéntrica.

El segundo problema se tornaba agudo a medida que incrementaba el interés por los textos antiguos originales. Ocurre que el sistema esférico de referencia, en el cual se establecía la posición de los cuerpos celestes, fue definido en el *Almagesto* con valores numéricos lo suficientemente inexactos como para impedir su conciliación con los resultados logrados en las observaciones de los siglos posteriores. En consecuencia, la astronomía medieval práctica debió abandonar la teoría numéricamente deficiente del "movimiento de la octava esfera", debida a Ptolomeo, para

sustituirla, o modificarla, con esquemas más complejos. Los compendios de astronomía de los siglos XIII al XV también dejaban la cuestión sin resolver, limitándose únicamente a registrar las discrepancias entre las afirmaciones de Ptolomeo y de los autores más modernos. Y sin embargo, la teoría del “movimiento de la octava esfera”, que describía los fenómenos de precisión, tiene esencial importancia para los cálculos astronómicos básicos. Junto con el desarrollo de las observaciones, y en vista de que en los siglos XV y XVI empezó a urgir la reforma del calendario, esta teoría se convirtió en el nudo gordiano de la astronomía matemática. Las condiciones para reemprender la solución de estos problemas aparecieron en el siglo XV, con el desarrollo de la capacidad profesional de los astrónomos. Éste se hizo evidente en la primera mitad del siglo XV, con la aparición de la “escuela vienesa de astronomía”, a la cual pertenecieron los autores de las obras más importantes de la época: Georg von Peurbach, y su alumno y colaborador Johann Müller de Königsberg, en Franconia, conocido con el nombre latinizado de Regiomontano. Si bien ambos científicos murieron prematuramente y no lograron cumplir con su propósito de limpiar el *Almagesto* de los errores acumulados durante los siglos de asimilación de la obra, traducida repetidas veces al latín por intermedio del árabe, supieron dar una síntesis de los conocimientos astronómicos de la época en obras como la *Teoría de los planetas*, de Peurbach, y el *Epitome in Almagestum*, de Peurbach y Regiomontano. En los escritos matemáticos de

Regiomontano, la astronomía matemática ascendió a un peldaño superior de competencia.

A fines del mencionado siglo el centro de astronomía más activo del continente era la Universidad de Cracovia. En torno a las dos cátedras astrológicas permanentes de la academia, se desarrolló la "escuela astronómica cracoviana", que agrupaba a una pléyade de científicos, de los cuales se puede mencionar a Martin Bylica, colaborador de Regiomontano, y a Wojciech de Brudzewo, autor de tablas astronómicas y comentarios a la obra de Peuerbach.

El desarrollo de la escuela astronómica de Cracovia, en la segunda mitad del siglo XV, es un elemento importante en la historia de la ciencia europea. Las inquietudes creadoras y los propósitos científicos de Nicolás Copérnico, tuvieron allí posibilidades concretas de realización.

El creador de la astronomía moderna nació en Torun el 19 de febrero de 1473, en el seno de una familia burguesa, clase social que desempeñaba un papel muy importante en la vida política y económica de la época. La familia Copérnico era oriunda de Silesia, de la aldea Kopernik (actualmente Koperniki), cerca de Nysa. De la rama de la familia asentada en Cracovia provenía el padre del astrónomo, el comerciante Nicolás Copérnico. El comercio del cobre lo mantenía en constante contacto con las ciudades boruscas y pomeranas y tomó parte en las acciones que llevaron a la creación de la Federación Borusca (1454). Algunos años más tarde se trasladó definitivamente a Torun, donde se casó con Bárbara, hija del comerciante Lucas Watzenrode, más tarde, madre del

astrónomo. La familia Watzenrode, también oriunda de Silesia, vivía en Torun desde hacía varias generaciones, y pertenecía a la burguesía local. El padre de Bárbara, abuelo de Nicolás Copérnico, era “mayor” del tribunal del burgo, uno de los principales promotores de la Federación Borusca y había tomado parte personalmente en las guerras contra la Orden Teutónica. Lucas Watzenrode (1447-1512), tío de Copérnico, después de estudiar en Cracovia, Colonia y Bolonia, ocupó numerosos cargos eclesiásticos y fue desde 1489 obispo de Warmia. Fue uno de los más brillantes políticos de la época y gozaba del favor de los Jagellones, razón por la cual su voz era una de las más importantes en la política de esta dinastía con respecto al estado teutónico. Después de la muerte del padre de Nicolás —alrededor de 1483—, Lucas Watzenrode se hizo cargo de su hermana y a partir de entonces habrá de influir decididamente sobre la carrera de su sobrino.

La primera infancia de Copérnico transcurrió en la casa familiar, ubicada primero en la calle de Santa Ana —actualmente calle Copérnico— desde 1480 junto a la Plaza Mayor de la Ciudad Vieja. Lo que aún no se ha podido precisar con certeza son las escuelas en que recibió su primera enseñanza. Es opinión general que hizo sus primeras letras en la escuela municipal adyacente a la catedral de San Juan. Esta escuela poseía algunas tradiciones en la enseñanza de la astronomía y durante varios años había sido dirigida por Lucas Watzenrode. Luego Copérnico siguió estudiando probablemente en la escuela de los Hermanos de la Vida en Común, en Chelmno.

En el año 1491, inducido indudablemente por su tío, y siguiendo su ejemplo, Copérnico comenzó a estudiar en la Universidad de Cracovia. Durante sus cuatro años de permanencia en esta Universidad estudió en la facultad de artes liberadas (*artium*), pero sin obtener ningún grado académico. El programa de la facultad de *artium*, que podía considerarse básico para la formación universitaria, incluía una sólida preparación matemática. Copérnico pudo también asistir a clases de astronomía sobre los *Sphaera* de Juan Sacrobosco (elementos de cosmografía) y sobre *Theoricae novae planetarium*, de Peurbach, con comentarios de Wojciech de Brudzewo (exposición descriptiva de la astronomía teórica) y a los cursos preparatorios para la aplicación de las tablas astronómicas, por ejemplo, de la versión cracoviana de las *Tabulae resolutae*, las tablas de eclipses de Peurbach, las de efemérides de Regiomontano, etc. Como coronación de las clases de astronomía, se dictaba un curso astrológico, según el *Quadripartitum*, de Ptolomeo, y el tratado astrológico de Alí Aben Ragel. Con mayor o menor certeza, conocemos los nombres de los profesores a cuyas clases asistió Nicolás Copérnico gracias a las investigaciones de L. A. Birkenmajer; en esa época, daban clases sobre las *Tabulas eclipsium* y el *Quadripartitum* de Ptolomeo, Bernard de Biskupi y Wojciech Krypa de Szamotuly. Probablemente haya asistido también a las clases de Wojciech de Pniew, Szymon de Sierpec, Michal de Wrodaw (Astronomía), y Jan Glogoweczyk (Geografía). Wojciech de Brudzewo comentó en 1493, en las aulas de esa Universidad, el tratado de Aristóteles: *De caelo*.

Sin duda no hay que sobresumar el nivel de la enseñanza contenida en las clases de Astronomía de la época. Las *Theoricae novae* daban una descripción simplificada de los mecanismos orbitales, sin el desarrollado aparato matemático que encontramos en Ptolomeo, y haciendo caso omiso de los métodos que llevaban de la observación a la generalización geométrica. Las clases sobre las tablas astronómicas proporcionaban recetas de cálculo para satisfacer necesidades inmediatas, sobre todo astrológicas, pero sin remitirse a la teoría contenida en tales tablas. Pero para la formación científica de Copérnico, lo importante fue la adquisición de conocimientos matemáticos y el descubrimiento de las contradicciones existentes en la teoría astronómica enseñada. Tampoco se debe subestimar la influencia que sobre su futura actividad habría de tener el clima científico del lugar. La Academia de Cracovia era famosa en Europa precisamente por las matemáticas. En sus contactos directos con los astrónomos de Cracovia. Copérnico tuvo oportunidad de conocer, en el nivel más elevado, los problemas de la astronomía geocéntrica. Asistía a las clases extrauniversitarias de Wojciech de Brudzewo, y de manera similar, adquirió seguramente los necesarios conocimientos sobre el arte de la observación astronómica.

De esta forma, toda la obra posterior de Copérnico, nace orgánicamente de la tradición de la "escuela cracoviana de astronomía". De esto era consciente el mismo astrónomo. Una relación universitaria de 1542 menciona a Copérnico, quien "todo lo digno de admiración que ha escrito sobre asuntos matemáticos, y lo

que aún se propone publicar, lo tomó de esta, nuestra Universidad, como de una fuente, y esto él no lo desmiente: al contrario, él mismo reconoce que todo ello se lo debe a nuestra Academia”.

En 1495 Copérnico abandonó Cracovia para emprender viaje a Frombork, nombrado canónigo del capítulo de Warmia, con residencia junto a la catedral de Frombork. De esta manera, el obispo Lucas Watzenrode, con seguridad, promotor del nombramiento, ganaba a un colaborador de confianza en el capítulo, mientras que Nicolás Copérnico quedaba a salvo de preocupaciones pecuniarias gracias a las prebendas inherentes a la canonjía. El cargo de canónigo no exigía las sagradas órdenes, y nada indica que Copérnico haya sido ordenado sacerdote. Su permanencia en Warmia no fue prolongada, ya que en 1496, nuevamente gracias al apoyo de su tío y siguiendo su ejemplo, partió para estudiar Derecho en la célebre «secuela de juristas de la Universidad de Bolonia. Sus estudios allí se prolongarían hasta el año 1500, pero sin absorber por completo su atención, en detrimento de sus estudios humanistas y de la pasión de su vida, la Astronomía. Durante su estada en Bolonia, Copérnico trabó conocimiento con el profesor de Astronomía Domenico María Novara. Es significativa la observación efectuada por Copérnico el 9 de marzo de 1497, probablemente en compañía de Novara, de quien era “no tanto alumno, como ayudante y testigo de las observaciones”¹: la Luna cubrió entonces a la estrella de primera magnitud, Aldebarán, en la constelación Tauro. Esta era una buena

¹ Según la relación de Rheticus en Narrado prima, Gdansk, 1540.

oportunidad para verificar la teoría de Ptolomeo sobre el movimiento de la Luna, que contenía un error esencial en lo que respecta a los cambios de distancias entre ésta y la Tierra. Esta observación, aprovechada luego en su obra cumbre, demostró que la paralaje de la Luna, y en consecuencia su distancia de la Tierra durante los cuartos, no cambiaba con relación a la fase llena, contrariamente a lo previsto en el modelo de Ptolomeo. Demostrar un error, en la vieja teoría, no equivalía, por supuesto, a derribar el sistema geocéntrico. Sin embargo, era un paso muy importante en la vida científica de Copérnico: probaba que era posible poner en duda las afirmaciones de reconocidas autoridades, apoyándose en los resultados de observaciones realizadas racional y premeditadamente. Según el citado relato de Rheticus, Copérnico inició, también en este período, las observaciones estelares necesarias para crear una teoría que explicase la incógnita del "movimiento de la octava esfera".

Después de una corta estancia en Roma (1500), relacionada probablemente con un período de práctica legal en la Curia, Copérnico regresó a Polonia para solicitar al capítulo una autorización para seguir estudiando en Padua, famosa entonces por su escuela de Medicina. Dos años de estudios lo prepararon para ejercer la profesión, cosa que habría de hacer hasta los últimos años de su vida. Pero lo más provechoso de su estada en Padua fue sin duda su contacto con la filosofía y la filología humanista, de las cuales esta ciudad era un importante centro. Precisamente allí conoció la lengua griega y profundizó sus conocimientos de literatura clásica. El aprendizaje del griego era la cumbre del ideal

de la formación humanista, a la par que permitía conocer la literatura antigua en su versión original, no distorsionada por las traducciones. El celo por restituir la fidelidad a los textos, muy importante en lo referente a la cronología, está documentado en las numerosas correcciones que apuntó Copérnico de su puño y letra, al margen de sus propios libros.

Fue alrededor de esta época cuando comenzó la fase constructiva de la "revolución copernicana", es decir, la búsqueda de soluciones geométricas que, aplicadas a la astronomía, cumpliesen con los postulados de homogeneidad y armonía del Cosmos² y librasen a esta ciencia de incoherencias como la del ecuante. Al terminar en 1503 sus estudios en Italia, cuya culminación fue el doctorado en derecho canónico, obtenido en Ferrara, Copérnico tenía ya clara conciencia de una nueva imagen del mundo, acorde con los mencionados postulados, en favor de la cual podía citar a sus precursores, cuyas obras conocía gracias a los estudios de literatura clásica. La detallada descripción de la nueva teoría debía estar ya preparada, al menos en parte, puesto que algunos años más tarde, Copérnico hizo circular entre sus amigos íntimos, un esbozo manuscrito de su teoría heliocéntrica.

Vuelto de Italia, Nicolás Copérnico residió en el castillo de Lidzbark, sede del obispo de Warmia. Según las actas del capítulo, por sus conocimientos de medicina debió ejercer allí el cargo de médico de cabecera del obispo, aunque en realidad, se contaba

² Al exponer posteriormente, en la introducción a *De revolutionibus*, los motivos que le incitaron a emprender este trabajo, Copérnico criticó a sus antecesores, quienes "no lograron descubrir o derivar de ello lo más importante: el sistema del universo y el orden establecido de sus partes".

fundamentalmente entre los más íntimos colaboradores de Lucas Watzenrode, a quien ayudaba en la administración de la diócesis y en la intensa actividad política, en una situación de incesante conflicto con la Orden Teutónica. En calidad de consejero de confianza del obispo, Copérnico lo acompañaba en muchas reuniones políticas, y viajaba con éste a las dietas del reino, o a las dietas provinciales, boruscas y pomeranas. Acerca de los litigios fronterizos con la Orden, confeccionó alrededor del año 1510 un mapa de la Prusia Real³. Más tarde Copérnico seguiría la línea política de Watzenrode en el capítulo de Frombork, donde fijó definitivamente su residencia, tal vez poco antes de la muerte del obispo, en 1512. Desde 1510, Copérnico cumplía ya funciones de canciller y administrador de los bienes del capítulo.

Durante su estada en la corte episcopal de Lucas Watzenrode, Copérnico demostró su talento literario, dando prueba de su interés por la filología. Tradujo, del griego al latín, las *Epistolae morales, rurales et amatoriae*, del escritor bizantino Teofilacto Simocatta, que fueron impresas por Jan Haller, en Cracovia, en 1509. La obra, dedicada al obispo Watzenrode, estaba precedida por un poema de Wawrzyniec Korwin, amigo de Copérnico y maestro suyo en Cracovia.

Con su permanencia en Lidzbark está relacionado un acometimiento de gran importancia en la historia de la ciencia. Fue allí donde preparó Copérnico sus *Fundamentos de la Astronomía*,

³ Este mapa no se ha conservado. Las aficiones cartográficas de Copérnico se confirman a través de informaciones procedentes de los años posteriores de su vida.

pequeño tratado que era, a la vez, la primera exposición de la teoría heliocéntrica.

No conocemos a ciencia cierta, ni las circunstancias ni la fecha exacta en que surgió esta obra. Tampoco podemos estar seguros sobre su título original. Las copias de fechas posteriores que se han conservado tienen un título de dudosa autenticidad: *Nicolás Copernici de hypothesibus motuurn coelestium a se constitutis commentariolus*.

El tratado no lleva fecha alguna. Sólo gracias a los estudios de L. A. Birkenmajer, se pudo establecer con aproximación la época en que apareció. La fecha *adquem* está dada por la noticia sobre la disertación “en la cual se sostiene que la Tierra se mueve y el Sol permanece en reposo”, en el inventario de la biblioteca de Maciej de Miechów, en 1514. Las relaciones entre el texto del *Commentariolus* y el *Epitome in Almagestum* de Juan Regiomontano, publicado en 1496, así como la alusión en el texto del primero a las tablas astronómicas de 1502, permiten precisar la fecha *post quem*. Otra alusión al *Commentariolus* se puede encontrar en el ya mencionado verso de Korwin, en el cual se dice que Copérnico “sabe explicar las causas ocultas de los fenómenos con razones dignas de admiración”. Wawrzyniec Korwin, que vivía en Wrodaw, residió en Torun entre los años 1506 y 1508. Esto permite suponer que el *Commentariolus* fue redactado alrededor del año 1507. No estaba destinado a la Imprenta, sino que circuló en unas pocas copias manuscritas principalmente —si no exclusivamente— en Cracovia.

El *Commentariolus* contiene al comienzo una referencia al “principio fundamental del movimiento absoluto” —es decir del movimiento uniforme— y una crítica de los sistemas astronómicos imperantes hasta entonces. Recordemos que las esferas concéntricas de Calipo y Eudoxo no alcanzaban a explicar los cambios de distancia entre la Tierra y los cuerpos celestes; además, el sistema epicíclico de Ptolomeo, si bien concordaba numéricamente con los fenómenos celestes, no dejaba de suscitar serias dudas. Los creadores de este mecanismo sólo lograron explicar el fenómeno de manera satisfactoria, por medio de la introducción de círculos ficticios llamados ecuantes, por los cuales el planeta no se movía uniformemente en su órbita, ni tampoco en relación con el centro de su epiciclo. Por esta causa, esa idea no parecía ni muy segura ni muy resistente a la prueba de la razón. Precisamente, la crítica de este aspecto de la astronomía de Ptolomeo, ocupa, en el *Commentariolus* el lugar más destacado, como punto de partida para la reconstrucción de la astronomía: “Visto lo cual comencé a preguntarme si no sería posible idear un sistema de círculos más acertado, en el cual fuese posible explicar cualquier irregularidad aparente del movimiento con el uso de los solos movimientos uniformes, como lo exige el principio fundamental del movimiento absoluto”⁴.

En esta formulación encontramos un testimonio de la importancia que atribuía Copérnico —al menos con respecto al lector del *Commentariolus*— al postulado de respetar el principio apriorístico

⁴ Los fragmentos del *Commentariolus* han sido tomados de la versión inglesa publicada en el trabajo de E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York, 1959.

del movimiento rotiforme al crear teorías astronómicas. Este es un elemento muy importante en relación con la génesis del descubrimiento copernicano.

La detallada exposición de la teoría heliocéntrica va precedida de siete postulados, cuya aceptación ha de facilitarle a Copérnico la solución de la tarea propuesta "con un aparato bastante más exiguo y más adecuado que aquel que para el mismo fin fue ideado anteriormente":

1. No existe un centro único de todos los círculos o esferas celestes.
2. El centro de la Tierra no es el centro del Universo, sino sólo de la gravedad y de la esfera lunar.
3. Todas las esferas giran alrededor del Sol, que es su punto medio, y por ello el Sol es el centro del Universo.
4. La razón entre la distancia de la Tierra al Sol y la altura del firmamento es tan inferior a la razón entre el radio de la Tierra y su distancia al Sol, que la distancia de la Tierra al Sol es Imperceptible frente a la altura del firmamento.
5. Todo movimiento que parezca realizar el firmamento, no proviene del movimiento del firmamento mismo, sino del de la Tierra. La Tierra, junto con los elementos que la rodean, realiza una rotación completa alrededor de sus polos fijos en un movimiento diario, mientras que el firmamento y el cielo superior permanecen inmutables.
6. Los que se nos presentan como movimientos del Sol no provienen de sus movimientos, sino del movimiento de la

Tierra y de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del Sol como cualquier planeta. La Tierra tiene, pues, más de un movimiento.

7. Los movimientos aparentes retrógrado y directo de los planetas no provienen de su movimiento, sino del de la Tierra. Por tanto, el movimiento de la Tierra por si solo es suficiente para explicar tales desigualdades aparentes de los cielos.

La formulación y el orden de los mencionados postulados podrían parecer a primera vista arbitrarios. Sin embargo, se los puede explicar fácilmente, por medio de la analogía con las correspondientes afirmaciones que preceden a la exposición astronómica de Ptolomeo, en el *Almagesto*, o más exactamente, con la forma que les confirió Peurbach en el *Epitome in Almagestum*. Así, por ejemplo, cuando Peurbach afirma con Ptolomeo que “la Tierra en relación al firmamento es como un punto”, Copérnico traslada esta tesis —en el cuarto postulado— a la órbita terrestre, sosteniendo con toda audacia las enormes dimensiones de la esfera de las estrellas fijas, incomparablemente mayores que la distancia Tierra-Sol. Esto es, digámoslo de Inmediato, consecuencia de haber aceptado la movilidad de la Tierra. El fundamental descubrimiento del triple movimiento de la Tierra está incluido en el *Commentariolus* muy a propósito, con intenciones quizá didácticas, en orden natural para los lectores doctos; el autor comienza aquí por rechazar el geocentrismo —en el segundo postulado: “el centro de la Tierra no

es el centro del Universo"...—, contrariamente a la tesis de Ptolomeo, según la cual "la Tierra se halla en el centro del firmamento".

La parte detallada del *Commentariolus* está desprovista de demostraciones matemáticas, destinadas a un tratado más extenso. Comienza con una descripción del sistema heliocéntrico, el primero en la historia de la ciencia con el ordenamiento de los planetas de acuerdo con su distancia respecto del Sol. Esto le permitió a Copérnico comprobar la relación, por el momento sólo cualitativa, entre la velocidad del movimiento de traslación del planeta y su distancia del Sol: "...un planeta supera a otro en la velocidad de su recorrido según sean mayores o menores los arcos de circunferencia que describa".

Para explicar el movimiento aparente del Sol, es decir el movimiento real de la Tierra, Copérnico aplica un mecanismo geométrico, que no se diferencia del empleado para el Sol por Ptolomeo. La órbita de la Tierra es pues una circunferencia excéntrica al Sol. Tanto la dirección de las líneas de los ápsides como la excentricidad de la órbita, son consideradas constantes por Copérnico, que, sin embargo, cambia los valores dados por Ptolomeo. El movimiento uniforme de la Tierra sobre su órbita circular alrededor del Sol es el "primer movimiento de la Tierra" según la terminología del *Commentariolus*. El "segundo movimiento" es la rotación alrededor del eje terrestre "en el curso de una jornada... de occidente a oriente, movimiento a causa del cual el mundo entero parece girar en rápido movimiento. De esta manera, todo el cuerpo terrestre,

junto con las aguas que lleva y el aire vecino, efectúa un movimiento de rotación". Con esta formulación. Y tal como en los postulados anteriores, Copérnico sale al encuentro del tradicional argumento contra el movimiento terrestre, según el cual, todos los cuerpos que no estuviesen firmemente unidos a la Tierra deberían sufrir un cataclismo a causa de la rotación.

El tercer movimiento de la Tierra propuesto por Copérnico —la "desviación" o "declinación"— tenía no menos importancia para el desarrollo de la astronomía que los dos descritos anteriormente. Este movimiento explicaba el hecho de que el eje terrestre, inclinado unos 66° con respecto al plano de la órbita, mantiene su dirección en el espacio durante el movimiento del planeta alrededor del Sol. Copérnico se servía aquí de la tradicional idea de movimiento circular, como movimiento de una esfera, con el cuerpo celeste fijo en ella. En este mecanismo el eje terrestre cambiaría su dirección en el espacio durante el período de un año. Este cambio está compensado precisamente por un movimiento del eje terrestre en sentido contrario, el "tercer movimiento" de Copérnico. En la segunda mitad del siglo XVI se comenzó a comprender que para mantener la dirección del eje de rotación, no son necesarios mecanismos foronómicos especiales, y no es allí donde reside la importancia de la idea de Copérnico. Dándole al "tercer movimiento" del eje terrestre un periodo escasamente menor al año sideral, aquél explicó por primera vez los fenómenos del "movimiento de la octava esfera" de manera concordante con la realidad, es decir, como movimiento de precisión del eje terrestre. La irregularidad de este

movimiento, transmitida por la tradición medieval, indujo a Copérnico a adoptar la esfera de las estrellas fijas, invariablemente inmóvil, como sistema fundamental de referencia para la descripción de los fenómenos astronómicos.

Las nuevas bases de la astronomía, o sea el triple movimiento de la Tierra y el sistema planetario heliocéntrico, no modifican los detalles de la teoría del movimiento de la Luna. Sin embargo, la vieja teoría adolecía de errores ya advertidos por Copérnico y cuya crítica era al menos uno de los puntos de partida para la formulación de la nueva astronomía. La órbita del satélite terrestre descrita en el *Commentariolus* se diferencia también esencialmente del modelo de Ptolomeo. Estaba compuesta por tres círculos. El círculo mayor, o deferente, tenía su centro en el centro de la Tierra. El deferente es recorrido por una circunferencia menor, el epiciclo, en el período de un mes. El perímetro de ese epiciclo es recorrido a una velocidad similar, pero en dirección contraria, por el centro de otro epiciclo menor. Esta composición de movimientos por el deferente y el epiciclo responde a una órbita circular excéntrica. El segundo epiciclo, recorrido por la Luna durante dos semanas, determina que las máximas desviaciones del satélite en relación con la posición medía coincidan aproximadamente con el primer y el tercer cuarto. De esta manera se explica la irregularidad del movimiento de la Luna, advertida ya por Ptolomeo, sin recurrir a cambios de distancia ficticios y sin introducir ecuantes a la manera de Ptolomeo⁵.

⁵ La eliminación del ecuante de la teoría de la Luna fue ya efectuada con anterioridad: Ibn al Shatir de Damasco, astrónomo del siglo XVI, describió una construcción geométrica de la órbita

En el *Commentariolus*, también fueron libradas del ecuante las órbitas de los planetas. Desaparecieron de la teoría de los planetas los grandes epiciclos, que en la astronomía geostática suplían a la órbita terrestre. Al igual que para la Luna, Copérnico introduce para los planetas un pequeño epiciclo que, junto con el deferente, cumple con la función de círculo excéntrico. El segundo epiciclo, de radio tres veces menor y recorrido por el planeta dos veces durante una revolución alrededor del Sol, aproxima la órbita real del planeta a la elipse kepleriana. Este mecanismo es matemáticamente equivalente al ecuante y cumple con el citado “principio fundamental del movimiento absoluto”, ya que el movimiento del planeta es en él la resultante de movimientos circulares uniformes⁶. La órbita de Mercurio exigía construcciones adicionales.

Todas las órbitas planetarias del *Commentariolus* se caracterizan por la constancia de excentricidades —es decir, dimensiones constantes del epiciclo, a excepción de Mercurio— y por una posición constante de la línea de los ápsides. Copérnico habría de abandonar pronto estos postulados, tomados de la astronomía medieval. Tampoco se tardaría en comprobarse que la anunciada presentación detallada de la nueva teoría exigía un aparato más complejo que el bosquejado en el *Commentariolus*. Al final de éste, Copérnico expresa su convicción de que son suficientes 34 “libros”

de la Luna idéntica al modelo presentado en el *Commentariolus*, con pequeñas diferencias en lo que respecta a los valores numéricos.

⁶ Del mismo modo que en el caso de la Luna, al eliminar aquí los ecuantos, Copérnico tenía precursores entre los astrónomos orientales: el ya mencionado Ibn as Shatir y la escuela astronómica anterior de Nasir al Din de Maragha (siglo ira). Cf. E. S. Kennedy, V. Hoberts, *The Planetary Theory of Ibn as-Sbatir*, *Isis*, vol. 50, 1959, p. 227-235; E. S. Kennedy, *late Medieval Planetary Theory*, *Isis*, vol. 57, 1966, p. 365-378.

para “explicar todo el mecanismo del mundo y todas las revoluciones de las estrellas errantes”.

II

Residir en Frombork —desde 1512— era para Copérnico sinónimo de mayores tareas administrativas, ya fuese en el mismo capítulo o en las propiedades de éste en la región de Melzak, Pieniezno y Olsztyn. Como administrador de los bienes del capítulo, vivió varios años (1516-19 y 1520-21) en el castillo de Olsztyn. También se ocupó de problemas económicos, preparando un proyecto de reforma monetaria. Los conflictos fronterizos con el Estado de la Orden Teutónica conferían a la actividad administrativa interna considerable significación política, y aumentaban la responsabilidad por decisiones en apariencia poco importantes. El conflicto entre Polonia y la Orden fue agudizándose, hasta convertirse en la guerra que asoló a Warmia durante los años 1519 a 1521. Un mes después de abiertas las hostilidades, en enero de 1520, fue arrasada la residencia de Copérnico en Frombork, que se hallaba fuera de las murallas de la catedral fortificada, y Copérnico se trasladó a Olsztyn. Como administrador capitular, debió preparar la defensa de Olsztyn contra el Inminente ataque del Gran Maestro, en enero de 1521. Al firmarse el armisticio, fue designado comisario de Warmia.

Precisamente en circunstancias tan desfavorables, comenzó a escribir la obra cumbre de su vida, una amplia exposición de la astronomía heliocéntrica, continuando al mismo tiempo sus

observaciones, cuyo método no se diferenciaba demasiado de los usados generalmente en la época, y en la cual empleaba los instrumentos tradicionales. Tres de ellos fueron descritos por él en *De revolutionibus...* Para medir las declinaciones, empleaba el cuadrante solar y el Instrumento paraláctico, este último especialmente en las observaciones lunares. La esfera amular permitía establecer directamente las coordenadas angulares de la Luna y del Sol, como también de otros cuerpos celestes. Todos estos Instrumentos eran conocidos en la Antigüedad, y sus descripciones se basan en los correspondientes fragmentos del *Almagesto* de Ptolomeo. Un invento de Copérnico fue en cambio la tabla solar, ideada alrededor de 1517 en el castillo de Olsztyn, que se ha conservado parcialmente hasta hoy. En este instrumento, la luz solar reflejada por un espejo horizontal caía sobre la pared del claustro. Las líneas trazadas sobre la pared permitían precisar la posición del Sol con respecto al ecuador celeste, y marcar el período que mediaba entre la fecha de la observación y el equinoccio.

En el medio centenar de observaciones que conocemos, gracias a *De revolutionibus*, y a las pocas notas del astrónomo que se han conservado, no se observan formulaciones muy precisas. Es evidente, en cambio, que todas las observaciones responden a un programa previamente establecido, y a necesidades específicas de orden teórico. Así, por ejemplo, una serie de observaciones del Sol realizadas entre 1515 y 1516, que debían precisar la teoría del movimiento aparente del Sol, permitieron a Copérnico verificar la variación de la excentricidad de la órbita terrestre, y el

desplazamiento de las líneas de los ápsides. Así pues, comprobó que las tesis geométricas del *Commentariolus* exigían correcciones. Esto se puede ver en la modificación de la órbita terrestre que presentó Copérnico en *De revolutionibus...*, donde el movimiento de la Tierra fue representado no ya por medio de un círculo concéntrico con epiciclos, sino mediante círculos excéntricos. Esta solución permitía representar más sencillamente los cambios de los parámetros de la órbita descubiertos por Copérnico.

No es casualidad que las observaciones y las especulaciones de Copérnico sobre la teoría del movimiento aparente del Sol hayan coincidido con el reanudamiento de la discusión acerca de la reforma del calendario. El error que afectaba al calendario juliano, debido a una inexacta apreciación de la duración del año, llegó en el siglo XVI a diez días. De su corrección se ocupó, en el Concilio de Letrán, una comisión especial convocada a instancias del obispo Pablo de Middelburgo y dirigida por él. Pablo de Middelburgo fue también autor de dos memoriales, de los años 1513 y 1516, que se referían a la reforma. En el segundo memorial se hace referencia a los sabios e instituciones que enviaron su parecer sobre la necesidad y la manera de llevar a cabo la reforma, uno de cuyos autores mencionados es Nicolás Copérnico. Se desconoce el contenido preciso de la declaración de éste. No obstante, a la luz de su afirmación, en el *Commentariolus*, de que el año trópico — magnitud básica para la corrección del calendario— “del cual observaciones efectuadas en diversos tiempos indicaban diversa longitud”, no es una magnitud constante, y ante su notoria

insistencia sobre las observaciones solares a partir de 1514, se puede suponer que Copérnico consideraba prematura la reforma y proponía continuar la investigación. Confirma esto un fragmento de la Epístola Dedicatoria, escrita en 1542 y publicada al comienzo de la primera edición de *De revolutionibus*: "...cuando en el Concilio de Letrán se debatía el problema de la corrección del calendario eclesiástico, se dejó la cuestión sin resolver únicamente a causa de que no se disponía aún de mediciones suficientemente exactas de los años y los meses, como tampoco de los movimientos del Sol y la Luna". Esto significó para Copérnico un estímulo para profundizar el estudio del nuevo sistema que regía el mundo: "Desde aquel tiempo, animado por el ilustre varón Pablo, obispo de Fossombrone, que por entonces dirigía este asunto, comencé a esforzar la mente para examinar estas cosas con exactitud".

Desde 1521, Copérnico residió con breves intervalos en Frombork, hasta los últimos años de su vida, cumplió numerosas funciones que le fueran encomendadas por el capítulo. Durante la breve vacante episcopal de 1523, fue también administrador general de la diócesis. La actividad de Copérnico excedía en muchas ocasiones el marco estrictamente local. Así ocurrió con los asuntos económicos de la provincia. Ya en 1517, preparó un memorial acerca de las medidas tendientes a contrarrestar la devaluación de la moneda que circulaba en Prusia Real. Como delegado del capítulo al congreso de los estados prusianos de Grudziadz, en 1522, presentó en él su proyecto de reforma monetaria, fundado en ideas precursoras y dirigido a sanear la moneda y, paralelamente, a consolidar la

unidad de las tierras boruscas y pomeranas con el Reino de Polonia. Como médico debió gozar Copérnico de la estima de sus contemporáneos, ya que recurrían a sus servicios los obispos de Warmia, y en 1541, a pedido del Gran Duque Albrecht, hizo un viaje a Königsberg para curar a un cortesano.

Aunque la actuación pública de Copérnico da un claro mentís al apodo de "solitario de Frombork" que se le ha dado, el número de amigos que lo rodeaba era escaso, en su mayoría canónigos del mismo capítulo. Su amigo más allegado era Tiedemann Giese, desde 1528 obispo de Chelmo, probado amigo de Copérnico, con quien éste compartía inquietudes intelectuales. Fuera de Warmia, el vínculo más duradero fue el que lo unió al cracoviano Bernard Wapowski, fallecido en 1535. Precisamente, a instancias de Wapowski, escribió, en 1524 una crítica al tratado *Del movimiento de la octava esfera*, escrito en 1522 por el astrónomo y matemático Juan Werner de Nüremberg. El tratado de Copérnico contra Wernerum, titulado *De octava sphaera*, pero más conocido como "Carta a Wapowski" es, aparte del *Commentariolus* y *De revolutionibus*, el único texto astronómico debido a su pluma, conservado hasta hoy. Contrariamente a los otros dos, éste no contiene ningún elemento de astronomía heliocéntrica. Copérnico criticó severamente los errores metodológicos y astronómicos de la obra juzgada, absteniéndose sin embargo de presentar su propia teoría de la precesión. Se conformó con anunciar vagamente la preparación de su obra magna: "Lo que pienso sobre el movimiento de la esfera de las estrellas fijas (...) a eso le destino otro lugar".

Precisamente en esta época, teniendo ya preparados en borrador los primeros libros de *De revolutionibus*, estaba escribiendo Copérnico el libro cuarto⁷, dedicado a la teoría de la precesión y al movimiento aparente del Sol. Los cambios introducidos en los esquemas geométricos del *Commentariolus* no se redujeron en *De revolutionibus* a la ya mencionada modificación de la órbita solar, sino que se hicieron evidentes en el resto de la obra. La movilidad de las líneas de los ápsides planetarios, que descubrió Copérnico al comparar sus propias observaciones —comenzadas con la observación de Marte en 1523— con las cifras de Ptolomeo, lo indujo a desechar la opinión expresada en el *Commentariolus* según la cual la orientación de las órbitas planetarias en el espacio permanece invariable. En el libro sexto, dedicado al movimiento de los planetas en longitud, estableció para los planetas órbitas compuestas por un círculo excéntrico con un epiciclo, en lugar del círculo concéntrico con dos epiciclos. La movilidad de las líneas de los ápsides podía ser representada ahora simplemente como un movimiento circular uniforme del centro del círculo excéntrico.

Alrededor del año 1530 ya era posible considerar concluido el manuscrito de *De revolutionibus*. Pero Copérnico no tenía aún intenciones de darlo a Imprimir. Como reconoció él mismo más tarde, temía las críticas incompetentes: “el miedo a la burla, que cabía esperar debido a la novedad difícilmente comprensible de mi obra, me inclinó casi enteramente a abandonar los propósitos que

⁷ Cambios posteriores en la distribución de la obra redujeron el número de libros: en consecuencia, la teoría de la precesión y del movimiento de la Tierra fueron incluidos en el Libro III.

había tenido con respecto a la presente obra". Como argumento citaba a los pitagóricos, quienes no publicaban sus obras para que "aquellas cosas más bellas, fruto de largas y arduas Inquisiciones de grandes hombres, no se viesan expuestas a la humillación y el desprecio de aquellos que escatiman trabajo honesto para cualquier estudio que no les reporte beneficios, o (...) tienen mente obtusa y circulan entre los verdaderos sabios como zánganos en medio de las abejas" (Epístola Dedicatoria).

En 1535, durante la visita de Bernard Wapowski en Frombork, Copérnico accedió a publicar únicamente el almanaque que contenía la posición de los cuerpos celestes para un determinado período, calculada sobre la base de las tablas de *De revolutionibus*. La muerte del promotor del proyecto en ese mismo año impidió llevar a cabo estos propósitos. El manuscrito con los cálculos de Copérnico se perdió.

A pesar de la parquedad de Copérnico, las noticias sobre sus descubrimientos y sobre la obra en preparación se difundían fuera de las fronteras de Polonia. En 1533 se discutieron los descubrimientos de Copérnico en la corte papal; tres años más tarde, Copérnico recibió una carta del cardenal Nicolás Schönberg, procurador general de la orden de Santo Domingo, quien lo había conocido durante un viaje diplomático a Polonia en 1518. Schönberg proponía a Copérnico que publicara sus descubrimientos, y prometía divulgarlos. En 1539 llegó a Frombork el joven profesor de Wittenberg, Georg Joachim de Porris, más

conocido como Rheticus⁸. Este matemático y astrónomo, protegido de Melanchton, que entonces contaba con 25 años, llegó a Frombork a causa del interés que las noticias sobre Copérnico habían suscitado en Alemania. No tardó mucho en convertirse en entusiasta partidario de la nueva astronomía. El estímulo de tan fructífera visita hizo que el sabio retornara a su trabajo, en el manuscrito de *De revolutionibus*. Le ayudaron en esto los libros traídos por Rheticus, particularmente la edición griega de la obra de Ptolomeo (Basilea, 1538), mucho más correcta que la traducción latina del *Almagesto* (Venecia, 1515) de la que disponía Copérnico, y la obra trigonométrica de Regiomontano *De triangulis omnimodis* (Nüremberg, 1533). Copérnico modificó la disposición de su obra, dividiéndola en seis libros en lugar de los siete anteriormente proyectados, y amplió el texto de los capítulos sobre trigonometría y astronomía esférica, así como también los pasajes dedicados a la fijación de las latitudes uranográficas de los planetas. Estaba ya decidido a aceptar que se imprimiera su obra. Del propósito opuesto lo disuadieron, como él mismo lo dijo en su Epístola Dedicatoria: “mis amigos. Entre ellos, en primer lugar Nicolás Schönberg, cardenal de Capua, generalmente conocido por su sabiduría, y junto a él mi cordial amigo el obispo de Chelmno, Tiedemann Giese, que el movimiento de la Tierra puede causar, o al menos explicar de la manera con el más grande ardor tanto a la Teología como a todas las demás ciencias nobles. *Este me animaba, y a veces, en medio de amargos reproches, me pedía que publicase la obra que*

⁸ Existe una extensa obra monográfica dedicada a Rheticus: K. H. Burmeister, Georg Joethim Rhelikut. Vine fiiio-bibliographie. Wicsbadcn. 1967-1968, t. 1-3.

profundamente guardada había esperado oculta no ya nueve años, sino cuatro veces nueve. (...) Lo mismo pedían de mí, más de un destacado sabio..."

Rheticus, después de conocer la teoría de Copérnico y el manuscrito de *De revolutionibus*, elaboró un extenso resumen del libro, que fue editado en Gdansk en 1540, con el título de *De libris revolutionum Nicolai Copernici narratio prima*. En *Narratio prima*, que contenía una entusiasta descripción de los descubrimientos de Copérnico, son particularmente interesantes los fragmentos en los cuales el autor relata los hechos y opiniones que le son articularmente conocidos, como, por ejemplo los argumentos de Giese en favor de la publicación de *De revolutionibus*. De singular importancia es la enumeración de los motivos que indujeron a Copérnico a aceptar los movimientos de la Tierra:

"En primer lugar, la indudable precesión de los puntos equinocciales... y los cambios de inclinación de la eclíptica indujeron a mi maestro (Copérnico) a aceptar que el movimiento de la Tierra puede causar, o al menos explica de la manera más cómoda, numerosos fenómenos observados en el cielo.

"Segundo, la disminución de la excentricidad de la órbita solar se refleja (...) en las excentricidades de los demás planetas (...)

"Tercero, los centros de los deferentes de los planetas, como se puede juzgar, están ubicados en el Sol, como en el centro del mundo (...)

"Cuarto, mi maestro advirtió que sólo de esta manera todas las revoluciones de las esferas del universo pueden llevarse a cabo de

acuerdo con la propiedad del movimiento circular alrededor de sus propios centros, y no de otros.”

El quinto argumento tiene carácter teológico. En favor de la aceptación de una “conveniente teoría del movimiento de la Tierra” habla el hecho de que “basta ella para crear una fundamentada ciencia sobre los cuerpos celestes (...)”.

El último argumento se remite a la armonía del mundo. Los antiguos maestros “no referían con suficiente precisión sus teorías y reglas al principio de que el orden y el movimiento de las esferas del mundo deben concordar en un sistema absoluto (...)”.

La *Narratio prima* estaba redactada en forma de carta a Johann Schöner, de Nüremberg, astrónomo y editor de muchas obras astronómicas y astrológicas. Rheticus visitó Nüremberg aún antes de su viaje a Polonia, en 1538. Es muy probable que haya discutido allí, en rueda de amigos, entre quienes se contaban el editor Juan Petrelus y el teólogo luterano Andrés Osiander, el proyecto de publicar el manuscrito de Copérnico.

Cuando Rheticus abandonaba Frombork en 1541, el manuscrito de *De revolutionibus* no estaba aún totalmente pulido; las correcciones y enmiendas introducidas en el manuscrito de puño y letra de Rheticus confirman que éste debía llevar a cabo la corrección final del manuscrito antes de imprimirlo.

Inmediatamente después del regreso de Rheticus a Wittenberg, se puso de manifiesto que la publicación de la obra de Copérnico sufriría una demora. Por un lado, influyó aquí la actitud crítica de Melanchton, quien, como Lutero batía unos años, había rechazado

decididamente la teoría de Copérnico como contraria a las Sagradas Escrituras⁹; por su parte, el mismo Rheticus se vio absorbido en el semestre de invierno de 1541-42, por las obligaciones de decano. En este periodo publicó únicamente una Trigonometría de Copérnico, poco susceptible de causar controversias (*De lateribus et triangulorum... libellus*), que en *De revolutionibus* constituía la parte final del primer libro.

La Trigonometría de Copérnico, junto con obras análogas de Regiomontano y Werner —cuyo tratado permaneció inédito hasta nuestro siglo— constituye una interesante contribución a la matemática de la época. Escrita independientemente de las dos restantes, posee sin embargo muchas analogías, deludas al uso de las mismas fuentes antiguas: Ptolomeo y Jabir ibn Aflah o “Geber”. Una trigonométrica nueva en la ciencia europea, la secante, cuyas tablas, después de calcularlas, las anotó Copérnico al margen de uno de los libros de su biblioteca, quedó excluida del texto Impreso. En la primavera de 1542 Rheticus viajó a Nüremberg y en el taller de Petreius se comenzó a Imprimir *De revolutionibus*. Es de señalar aquí un error cometido por Rheticus, quien entregó a Petreius un manuscrito mal pulido y con una serie de errores numéricos, pero consecuencias mucho más graves tuvo el hecho de que Rheticus abandonara Nüremberg al cabo de dos meses escasos, dejando la publicación de la obra en manos de Andrés Osiander.

Osiander, quien anteriormente había demostrado su interés por *De revolutionibus*, mantenía correspondencia con Copérnico y Rheticus

⁹ Previniendo en cierto modo estas acusaciones, un amigo de Copérnico, el obispo Tiedemann Giese, escribió un tratado apologético sobre la obra de Copérnico, que no se ha conservado.

va en 1540. Sugirió entonces a Copérnico que para aplacar a los “peripatéticos y teólogos cuya oposición temas”, presentase la nueva teoría como hipótesis formal, y no como descripción real del cosmos. Copérnico rechazó esta proposición con toda firmeza, fundamentando su actitud sin ambages en la Epístola Dedicatoria, escrita en junio de 1542, y enviada al impresor. Esto no influyó mayormente sobre la actitud de Oslander, quien ya fuera por sagacidad, ya en razón de sus criterios fenomenalistas de abordar las teorías astronómicas, introdujo arbitrariamente cambios en la obra. Agregó en primer lugar un prefacio anónimo “Al lector sobre los propósitos de esta obra” en el cual reducía el contenido de *De revolutionibus* a la categoría de hipótesis: “...no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas o siquiera probables, basta sólo que presenten un cálculo acorde a las observaciones (...). Está suficientemente claro que esta ciencia simplemente desconoce de manera total las causas de las aparentes desigualdades de los movimientos (...). Que nadie espere, pues, de la astronomía nada seguro en relación con hipótesis, ya que ella nada seguro puede dar en esto...” La falsificación alcanzó también al título del libro, que se amplió en el impreso, quedando convertido en *De revolutionibus orbium coelestium*. Finalmente, fue eliminada la introducción de Copérnico al libro primero, elogio a las ciencias astronómicas, que “se ocupan de las maravillosas revoluciones en el universo y-de la marcha de las estrellas (...) como también de las causas de todos los demás fenómenos en el cielo, y que finalmente aclaran todo el sistema del mundo”.

La Impresión de la obra de Copérnico finalizó en marzo de 1543, poco antes de la muerte del astrónomo que por entonces tenía ya 70 años. Después de larga enfermedad, Nicolás Copérnico falleció en Frombork, el 24 de mayo de 1543.

“Seis libros de Nicolás Copérnico de Torun sobre las revoluciones de las esferas celestes” (*Nicolás Copérnico Thoruniensi de revolutionibus orbium coelestium libri VI*) es el título completo de la primera edición, precedida del prefacio de Osiander y de la mencionada carta del cardenal Nicolás Schönberg a Copérnico. A ésta le sigue la Epístola Dedicatoria al papa Paulo III, de la cual hemos citado algunos fragmentos acerca de los titubeos del autor con respecto a la publicación del libro y de la iniciativa de sus amigos. En los últimos párrafos de la Epístola, Copérnico describe los motivos por los cuales “contra la opinión aceptada por los matemáticos y contra la convicción casi general” tuvo el valor de “imaginar algún movimiento de la Tierra”. Este es el tenor del importante pasaje:

“Por esto deseo que Tu Santidad sepa bien que para emprender la idea de otro principio de calcular los movimientos de las esferas del mundo no me movió otra cosa que la sola observación de que los matemáticos en sus estudios sobre aquéllos estaban en contradicción consigo mismo. Ante todo en lo que a los movimientos del Sol y la Luna se refiere, tienen tantas dudas que ni siquiera son capaces de fijar y calcular la magnitud constante del año trópico. Luego, al establecer los movimientos de estos dos planetas como de los cinco restantes, no se sirven de los mismos postulados y premisas ni tampoco de las mismas demostraciones para explicar

las revoluciones y movimientos observados. Unos aceptan solamente círculos concéntricos, otros a su vez círculos excéntricos y epiciclos, lo que no les permite sin embargo obtener resultados del todo satisfactorios. Aquellos que se apoyaron en círculos concéntricos, si bien demostraron que se puede componer de ellos ciertos movimientos irregulares, no pudieron sobre esta base establecer nada que conviniese con toda certeza a los fenómenos observados. En cambio aquellos que inventaron los círculos excéntricos, aunque con ayuda de ellos parecieran dar cifras adecuadas a la mayoría de los movimientos observados, aceptaron sin embargo demasiados supuestos en evidente discordia con los principios fundamentales de la uniformidad del movimiento. Tampoco lograron descubrir o deducir de los anteriores lo más importante, es decir el sistema del universo y el orden establecido de sus partes, sino que les ocurrió lo mismo que a alguien que tomase de aquí y allí manos, piernas, cabeza y otras partes del cuerpo y las pintase, aunque correctamente, pero de manera que no se convinieran mutuamente con las proporciones de un mismo cuerpo, surgiendo más bien algún monstruo que la imagen de un hombre".

Encontramos aquí los elementos más importantes de la génesis del descubrimiento de Copérnico. Primero, calcular la duración del año trópico, tarea que exigía una correcta y detallada teoría de la precesión, sobre la cual habla en primer lugar Rheticus en su *Narratio prima*. Segundo, contradicción con los principios fundamentales del movimiento uniforme, mencionada también en el

Commentariolus y probablemente advertida por Copérnico durante sus estudios en Cracovia. Finalmente, el “sistema del Universo y el orden establecido de sus partes”, argumento de origen seguramente posterior, reforzado por la armonía que los movimientos de la Tierra Introdujeron en la descripción del mundo. De la misma manera hace referencia a los antiguos precursores: “... me di el trabajo de leer nuevamente todas las obras de los filósofos que estuviesen a mi alcance, a fin de cerciorarme si por casualidad alguno de ellos no había expresado sobre los movimientos de las esferas celestes opinión diferente de las que dan por ciertas los profesores de ciencias matemáticas. Efectivamente, hallé primero una mención en Cicerón¹⁰ de que Nicetas juzgaba que la Tierra se mueve. Luego encontré más nombres de personas de similar juicio en Plutarco, cuyas palabras he decidido citar aquí para conocimiento de todos. Según la convicción general la Tierra está en reposo. Pero el pitagórico Filolao considera que ella gira alrededor del fuego sobre un círculo inclinado, de igual modo que el Sol y la Luna. Heráclides del Ponto y el pitagórico Ecfanto reconocen por cierto que la Tierra efectúa un movimiento, pero no de avance, sino de revolución, a la manera de la corona de una rueda, de occidente a oriente, alrededor de su propio centro¹¹. De aquí sacando estímulo comencé también yo a reflexionar sobre el movimiento de la Tierra”.

En el pasaje final de la Epístola, Copérnico advierte acerca de acusaciones de índole teológica sobre la disconformidad de la nueva ciencia con las Sagradas Escrituras: “bien puede ser que haya

¹⁰ Cicerón, Academia priora. II, 123.

¹¹ Plutarco, De placitis philosophorum, III, 13.

quienes, que gustando de desvariar y a pesar de desconocer totalmente las ciencias matemáticas, atribuyéndose el derecho de emitir juicios sobre ellas, en base a algún pasaje de las Sagradas Escrituras, interpretado mal y tortuosamente de acuerdo a sus propósitos, se atrevan a condenar y perseguir esta teoría mía. Pero no cuido de ellos, a tal punto que su juicio me merece desprecio por ligero". Y por último, subraya el valor utilitario de su trabajo para la reforma del calendario.

Como sabemos, los editores de Nüremberg eliminaron la introducción al Primer Libro del texto propiamente dicho de *De revolutionibus*, seguramente debido a la convicción expresada allí por el autor acerca del valor gnoseológico de la astronomía. En el texto impreso desapareció también un pasaje que ilustra sobre la actitud de Copérnico hacia sus predecesores en la astronomía: "...confieso abiertamente que expondré aquí muchas cosas de manera distinta de quienes me precedieron, si bien fundándome en sus logros, pues fueron los primeros en abrir el camino a los estudios sobre estos problemas".

Los capítulos iniciales del Libro Primero tratan de los fundamentos de la Astronomía, en el orden que conocemos de la obra de Ptolomeo. Antes de introducir la idea del movimiento de la Tierra, comprueba Copérnico que, dadas las enormes dimensiones del universo, esta idea no es discordante con las observaciones, "ya que todo cambio de lugar que divisamos surge a causa del movimiento del objeto observado o a causa del movimiento del observador". Rechazando pues los argumentos de Aristóteles y Ptolomeo respecto

de la inmovilidad de la Tierra, reconoce su movimiento de rotación, junto con la atmósfera circundante como natural —en sentido aristotélico— y que no requiere causa externa. Basándose en argumentos astronómicos —la necesidad de explicar la irregularidad del curso de los planetas induce a considerar la Tierra como uno de ellos— Copérnico modifica el concepto peripatético de peso, identificado con la gravedad hacia el centro del mundo: “Sea como fuere, considero personalmente que el peso no es otra cosa que alguna tendencia natural con que la divina providencia del Creador del universo proveyó a las partes para que se uniesen en un todo, juntándose en forma de esfera. Y es cosa digna de crédito que semejante tendencia existe asimismo en el Sol, en la Luna y otros planetas luminosos...”

Atribuyéndole movimiento a la Tierra, prosigue el autor, “se llegará finalmente a la conclusión de que el centro del mundo está ocupado precisamente por el Sol. Todo esto nos enseña la ley del orden en que estos cuerpos se suceden unas a otros y la armonía de todo el mundo”. Esta ley del orden es uno de los principales argumentos contra el sistema de Ptolomeo, en el cual cada planeta es estudiado independientemente del resto del sistema, y en el cual es también imposible siquiera un ordenamiento racional de los planetas por su distancia del Sol. Este argumento está desarrollado en el famoso capítulo décimo, con su descripción del sistema heliocéntrico, sistema en el cual ha sido revelado “el maravilloso orden del mundo y la relación establecida y armónica entre el movimiento y la magnitud de las esferas, Imposibles de hallar de otra manera”.

“La primera y más alta de todas es la esfera de las estrellas fijas, que se contiene a sí misma y a todo el mundo y por ello inmóvil, como lugar del conjunto al cual se puede referir el movimiento y la posición de todos los restantes cuerpos celestes. (...) Sigue el primero de los planetas, Saturno, el cual cumple su revolución en el curso de treinta años. Detrás de él Júpiter, que efectúa su revolución en doce años. Luego Marte, que recorre su órbita en dos años. El cuarto lugar en esta serie lo ocupa una esfera de recorrido anual, en la cual, como ya hemos dicho, se encuentra la Tierra con la esfera de la Luna a la manera de un pequeño epiciclo. En quinto lugar, Venus, vuelve a su posición de origen cada nueve meses. Finalmente el sexto lugar lo ocupa Mercurio, que efectúa la revolución en ochenta días.

Y en el medio de todos tiene su sede el Sol. (...) (De *revolutionibus I*, 10).

La parte descriptiva de *De revolutionibus* termina con una “Justificación del triple movimiento de la Tierra” (en el capítulo 11): el diario, el anual y el de Inclinación del eje terrestre que conocemos del *Commentariolus*.

Los últimos dos capítulos del primer libro constituyen una exposición de trigonometría plana y esférica. Habían sido publicados como tratado aparte por Rheticus, en 1542. Como dijimos anteriormente, Copérnico elaboró su trigonometría a partir de obras antiguas y medievales (*Almagesto*, *Epitome*, *Elementa astronómica* de Geber).

El segundo libro de *De revolutionibus* trata esencialmente temas de astronomía esférica, sin vinculación directa con las tesis básicas de Copérnico. La astronomía esférica, sin vinculación directa con las tesis básicas de Copérnico. La astronomía esférica aparece en la obra como un elemento de la exposición completa de astronomía, por analogía con los correspondientes capítulos del *Almagesto*. Esta analogía no se extiende, sin embargo, al capítulo final del segundo libro, que contiene un catálogo de las estrellas fijas. El *Almagesto*, en cambio, contiene al final la teoría del Sol, que establece el sistema de referencia para el análisis del movimiento de la Luna y los planetas, y para trazar las coordenadas de las estrellas en la "octava" esfera móvil. Copérnico se opone a ello, considerando como sistema de referencia fundamental para toda la astronomía matemática la esfera inmóvil e invariable de las estrellas fijas. Refirió, pues, las coordenadas de las estrellas (longitudes eclípticas) del catálogo del segundo libro, a una de las estrellas (gamma de Aries) en lugar de hacerlo, como era costumbre general entre los astrónomos, a los puntos equinocciales, cuyo movimiento Copérnico consideraba no uniforme, a la luz de las observaciones de la Antigüedad y el Medioevo. Las longitudes de las estrellas, en el catálogo de Copérnico, se diferencian de las cifras dadas por Ptolomeo en una magnitud constante (equivalente a la coordenada de gamma de Arles). Otros datos fueron, al menos en principio, tomados de Ptolomeo, al igual que el ordenamiento mismo del catálogo y la cantidad de estrellas indicadas.

En el libro siguiente, Copérnico refiere al sistema formado por la esfera de las estrellas fijas, los fenómenos relacionados con el movimiento aparente del Sol. La primera parte del Libro Tercero está dedicada, pues, a exponer detalladamente la teoría copernicana de la precesión. Comienza por dar un resumen crítico de las tentativas habidas hasta entonces de explicar los fenómenos del “movimiento de la octava esfera” y sus consecuencias: los cambios de las longitudes eclípticas de las estrellas y las diferencias entre el año trópico y el sideral. “Para estos fenómenos algunos Inventaron la novena, y otros la décima esfera, y creyeron que gracias a ellas esto sucede así, y sin embargo, no supieron demostrar lo que prometían. Hasta comenzó a vislumbrarse una undécima esfera, pero por el movimiento de la Tierra demostraré fácilmente lo superfluo de tal número de esferas”.

El descubrimiento de las verdaderas causas de los fenómenos observados en el movimiento de precesión del eje terrestre, es uno de los elementos más importantes de la nueva astronomía de Copérnico. La teoría del “tercer movimiento de la Tierra”, con esmerada demostración matemática, está basada en más de 1800 años de observaciones, desde las efectuadas por Timocares hasta las observaciones propias de Espiga, la estrella más luminosa de la constelación de Virgo, en los años 1515 y 1525. Esto permitió establecer con gran exactitud la velocidad del movimiento de precesión, o más exactamente, el valor medio de ésta, ya que los resultados de las observaciones, aprovechados por Copérnico, indicaban la irregularidad del fenómeno, y lo indujeron a considerar

la “trepidación” periódica como un fenómeno real. Explicó la trepidación aceptando desviaciones armónicas del eje terrestre de su posición media (análogamente ocurrirían los supuestos cambios del ángulo de Inclinación de la eclíptica). El principio de representar los fenómenos exclusivamente por medio de movimientos circulares uniformes fue respetado aquí, gracias a la descomposición del movimiento armónico lineal en dos movimientos circulares. “La trepidación” del eje terrestre debía acarrear necesariamente las correspondientes perturbaciones en la precesión de los puntos equinocciales. La magnitud básica de la teoría del Sol —que ocupa la segunda parte del Tercer Libro de *De revolutionibus*— era el año sideral (el período entre dos pasos consecutivos del Sol por la misma estrella), en lugar del año trópico, medido entre los pasos consecutivos del astro por los puntos equinocciales en Irregular traslación. Copérnico representa la órbita solar por medio de un círculo excéntrico; de esta manera el centro del círculo por el que se mueve uniformemente la Tierra no corresponde exactamente al mismo Sol. Es posible también, como dice Copérnico, explicar el movimiento de la Tierra con ayuda de un epiciclo sobre un círculo concéntrico al Sol, es decir, con una construcción que aparece en el *Commentariolus*. Al mismo tiempo demuestra la equivalencia de ambas soluciones: “...entre estas eventualidades no hay diferencia alguna, siempre que la distancia entre los centros sea igual al radio del epiciclo. No es fácil decidir, por lo tanto, cuál de estos dos casos se produce en el ciclo”. Al notar el movimiento de las líneas de los ápsides de la órbita terrestre (perigeo y apogeo de la órbita aparente

del Sol), Copérnico completó la sencilla construcción, confiriéndole al centro del deferente (círculo excéntrico) un movimiento sobre un pequeño arillo alrededor de la posición media. También aquí admitía la posibilidad de una solución alternativa (círculo concéntrico con dos epiciclos). “Y cuando tantos métodos conducen al mismo resultado, no me sería fácil decir cuál es el que tiene lugar... ”

El Libro Cuarto contiene la teoría del movimiento de la Luna y los métodos para calcular los eclipses. En la descripción de la teoría lunar ptolemeica que inicia el libro, Copérnico desarrolla los argumentos contra ella esbozados ya en el *Commentariolus*. Se trata aquí, por supuesto, de la efectiva irregularidad del movimiento en la teoría de Ptolomeo (que aparece tanto en el movimiento del epiciclo por el deferente como en el movimiento de la misma Luna). Otro argumento era el concerniente a los cambios de distancia del satélite, que según la teoría del *Almagesto* podía acercarse a la Tierra a la mitad de su distancia máxima. La crítica de este error, contenida en *De revolutionibus*, se remite al hecho evidente de que el disco lunar visible no muestra mayores cambios de diámetro. La teoría de Copérnico constituye un desarrollo de la idea expuesta en el *Commentariolus*. El deferente concéntrico a la Tierra lleva un epiciclo mayor recorrido por un epiciclo menor. Por el perímetro de este último se mueve la Luna a una velocidad dos veces mayor que la velocidad del epiciclo por el deferente. Los epiciclos causan desviaciones de la posición de la Luna, debidos al carácter elíptico de la órbita real y también (el epiciclo menor) a la desigualdad

descubierta ya por Ptolomeo, la evección. Manteniendo los valores de ambas desigualdades establecidos por Ptolomeo, Copérnico estableció los parámetros de la órbita lunar, en base a las observaciones anotadas en el *Almagesto*, y a las efectuadas por él mismo en el periodo 1500-1523. La observación del eclipse de Aldebarán, efectuada en Bolonia cuando éste estaba ocultado por la Luna, la aprovechó para confirmar sus cálculos relativos a la paralaje, y por lo mismo a la distancia de la Luna.

Al igual que en el caso del Sol, Copérnico sugiere otras soluciones geométricas igualmente válidas: "Se puede también, manteniendo las debidas proporciones, explicar lo mismo con ayuda de círculos excéntricos, como lo hice con la trayectoria del Sol".

La explicación de la trayectoria lunar, que acabamos de presentar, no aparece por primera vez en los escritos de Copérnico. En el siglo XIV, el astrónomo de Damasco, Ibn as Shatir (1304-1376) propuso una solución idéntica (concéntrico con dos epiciclos) con proporciones muy similares entre los diferentes elementos de la órbita, hecho que no debe extrañar, puesto que ambos astrónomos partían prácticamente de los mismos datos. En cuanto a la solución misma, no hay indicio alguno de que Copérnico la haya copiado. Se puede suponer que la coincidencia surgió en razón de haberse apoyado ambos sabios en los mismos principios, en particular en el movimiento calcular uniforme, como único admisible en la cinemática de los cuerpos celestes.

En este mismo principio se origina la sustitución del ecuante ptolomeico por un pequeño epiciclo, común a Copérnico y a sus

predecesores árabes, Ibn as Shatir y otros anteriores (del siglo XIII), del famoso centro de astronomía de Nasir al Dina, en Maragha¹².

A los planetas están dedicados los dos últimos libros de *De revolutionibus*. En el Libro Quinto considera Copérnico el movimiento de los planetas en el plano de la eclíptica. Tal como habían hecho sus predecesores, analizó por separado el movimiento de los planetas en latitud, debido a las diferentes inclinaciones de las órbitas planetarias; estos problemas fueron tratados en el Libro Sexto y último.

Antes de exponer sus propias soluciones, Copérnico comentó escuetamente los modelos de Ptolomeo, criticando una vez más el uso del ecuante. El capítulo siguiente describe los fenómenos observados en el movimiento de los planetas a causa del movimiento de la Tierra. El sistema planetario heliocéntrico se libera de los grandes epiciclos, con ayuda de los cuales la astronomía geocéntrica explicaba los lazos descritos en el firmamento por los planetas, a consecuencia de los cambios de posición del observador en movimiento junto con la Tierra.

Faltaba explicar aquellas desviaciones del movimiento uniforme de los planetas causadas por el carácter elíptico y no circular de su órbita real. Como ya mencionamos anteriormente, la solución geométrica anterior dada por Copérnico en el *Commentariolus* (círculo concéntrico con dos epiciclos), fue reemplazada en *De revolutionibus* por un círculo excéntrico (el deferente) con un único epiciclo pequeño. Admitiendo velocidades angulares iguales para el

¹² Cf. nota 6. Huelga agregar que los astrónomos árabes modificaban la teoría del movimiento de los planetas en el marco del sistema geocéntrico.

planeta en el epiciclo y para el epiciclo en el deferente, y tomando también las debidas dimensiones y proporciones del excéntrico y el radio del epiciclo, se obtiene una órbita que representa el movimiento del planeta con igual exactitud que la órbita ptolomeica con el ecuante.

Es interesante la comparación entre este modelo y el anterior del mismo Copérnico, efectuada por él en el capítulo cuarto del Libro Quinto. A la par que comprueba su equivalencia, Copérnico prefiere, sin embargo, el modelo del excéntrico y el epiciclo, debido a que en este caso la excentricidad de los planetas se establece con respecto al Sol real. Las órbitas planetarias son fijadas, por el contrario, con respecto al sol medio —es decir con respecto al centro de la órbita terrestre—, lo cual es evidentemente un vestigio de la vieja apreciación geocéntrica de los fenómenos planetarios. Algo similar ocurre con el sistema de las tablas numéricas destinadas al cálculo de las posiciones visibles de los planetas. Copérnico no aprovechó aquí las simplificaciones aportadas por el sistema heliocéntrico de coordenadas y conservó la forma ptolomeica de las tablas, con la cual, al precio de la exactitud, se obtienen posiciones geocéntricas de los planetas.

Los diferentes planetas son estudiados según su distancia decreciente del Sol, de Saturno a Mercurio. Aprovechando las observaciones de los antiguos, citadas en el *Almagesto*, y las suyas propias, Copérnico pudo establecer los parámetros de las órbitas, verificando al mismo tiempo la movilidad de los perihelios y estableciendo la velocidad del movimiento de la línea de los ápsides.

Este modelo de órbita era suficiente para explicar el movimiento de los planetas superiores: Saturno, Júpiter y Marte. Para los planetas inferiores —Venus y Mercurio— resultaban indispensables ciertas modificaciones, dado que la referencia del movimiento de los planetas al Sol medio motivaba perturbaciones, según la posición de la Tierra, particularmente visibles en el movimiento de Venus, el más cercano a nosotros.

Operaciones adicionales requería la órbita de Mercurio. Recordemos que debido a la gran excentricidad de esta órbita y a la imposibilidad de observar este planeta fuera de los periodos de su mayor distancia angular del Sol, se lograba obtener representaciones aproximadas de su movimiento, únicamente para los momentos cercanos a la mayor elongación del planeta. Copérnico aceptó para Mercurio, al igual que para Venus, una órbita excéntrica, con deferente oscilante en un período de medio año. En este mismo período el planeta se desplazaba a lo largo del radio vector con movimiento armónico, análogo al introducido por Copérnico en el Libro Tercera. Para establecer los parámetros de la órbita aprovechó, además de las observaciones de los antiguos, los datos de las observaciones efectuadas por Bernard Walter, entre los años 1491 y 1504¹³. La comparación de ambos conjuntos de datos le permitió establecer el movimiento del perihelio de Mercurio,

¹³ Bernard Walter, burgués de Nüremberg, fue discípulo y heredero del legado científico de Regiomontano. El mismo Copérnico no disponía de apropiadas observaciones de Mercurio. Como escribió en *De revolutionibus* (V. 30) refiriéndose a este aspecto, a los astrónomos antiguos "les ayudaba la claridad de su cielo, donde el Nilo, según dicen, no exhala nieblas tales como el Vístula en nuestras partes... además, Mercurio no es visible con tanta frecuencia como allá, a causa de la inclinación de la esfera" (o sea, de la elevada latitud geográfica de Frombork).

equivalente a 1° en 63 años “si dicho movimiento es uniforme”. Para decirlo más exactamente, Copérnico propuso en *De revolutionibus* dos modelos para la órbita de Mercurio. La alternativa consiste en trasladar el movimiento armónico del planeta mismo, al centro del deferente. Es característica de Copérnico la forma de presentar esta alternativa, cuando el sabio señala que procederá a “exponer otro sistema, no menos digno de crédito, que puede causar y explicar aquellas oscilaciones”.

Tenemos aquí un elemento muy importante para definir la actitud de Copérnico hacia sus teorías matemático-astronómicas. Él defendía con toda firmeza sus descubrimientos fundamentales: el triple movimiento de la Tierra, y el sistema heliocéntrico, como imagen real del munda contra la interpretación de Osiander. En lo que respecta a los modelos geométricos detallados, la actitud de Copérnico es diferente. Hemos visto que tanto en el caso del Sol, como en el de la Luna y Mercurio, Copérnico propone dos sistemas, señalando su igual validez para “representar los fenómenos”, pero — y esto es lo más importante— sin prejuzgar cuál de los dos modelos propuestos corresponde a la realidad. Seguramente no los consideraba como soluciones definitivas, sino como pruebas de solución en el marco del sistema heliocéntrico.

En la teoría del movimiento de los planetas en latitud (Libro VI) se notan evidentes vestigios de la astronomía geocéntrica, en forma de oscilaciones periódicas de las órbitas planetarias, reguladas por el movimiento anual de la Tierra. Una innovación esencial — consecuencia de la teoría heliocéntrica— es, en cambio, la

inclinación de las órbitas planetarias enteras al plano de la eclíptica, en lugar de la variable inclinación de los epiciclos, adoptada por Ptolomeo. Además de esto, en la exposición del tema, Copérnico sigue fielmente el modelo del *Almagesto*.

Hemos observado analogías con el *Almagesto* en toda una serie de pasajes de *De revolutionibus*, Pero sería injusto conceder la razón a algunos autores que atribuyen a la obra de Copérnico un carácter imitativo. Se trataba más bien de algo intencionado, de demostrar, mediante un tratado de Astronomía completo, que todos los fenómenos pueden ser representados y explicados sin restarles exactitud en el marco de la doctrina heliocéntrica, y que ningún fenómeno contradice esta doctrina. Además, hemos visto que la estructura del *Almagesto* no fue mecánicamente copiada en *De revolutionibus*. Allí donde lo exige la nueva concepción del sistema de referencia, Copérnico cambia con toda intención el orden de la exposición (Libros II y III).

Un desarrollo exhaustivo de todos los problemas astronómicos y una buena documentación del proceso que medía entre los resultados de las observaciones y la teoría, hicieron que Copérnico, en su condición de autor de *De revolutionibus*, fuese reconocido como renovador de la Astronomía, aun antes que los más destacados sabios de la transición de los siglos XVI y XVII adquirieran plena conciencia del significado y las consecuencias de los descubrimientos fundamentales del astrónomo de Frombork.

Capítulo 3

Un astrónomo entre dos épocas

Aleksander Birkenmajer

A grandeza de Copérnico y su significación decisiva para la historia de la astronomía pueden resumirse en pocas palabras: gracias a él la humanidad obtuvo la clave para descifrar un enigma que constituyó un desafío a su curiosidad e ingenio durante miles de años. Desde los tiempos más remotos, desde que el *homo sapiens* dirigió su mirada inteligente al firmamento que se extendía sobre su cabeza, vio allí luces y lucecitas en constante y curiosa peregrinación. Observándolas más detenidamente se convenció de que la gran mayoría de estos cuerpos cuestos —a los que llamó estrellas fijas— se trasladaban en grupo, siempre en la misma dirección, como si todos ellos estuviesen fijados de modo permanente a una enorme esfera que girase con invariable velocidad alrededor de la Tierra; otros, en cambio, concretamente el Sol, la Luna y las estrellas errantes, o sea los planetas, si bien participaban en este movimiento de rotación, estaban dotados además de ciertos movimientos individuales por obra de los cuales cambiaba su situación con relación a las estrellas fijas. La observación ulterior de estos movimientos demostró que eran extraordinariamente complicados: sus trayectorias cruzaban la bóveda celeste al sesgo, formando a veces lazos. Además, los planetas se trasladaban sobre estas trayectorias unas veces más rápido, otras más lentamente, unas veces de Oriente a Occidente —

con relación a las estrellas fijas—, otras en sentido contrario, etc. De modo que los hombres empezaron a preguntarse cómo desentrañar y cómo explicar estos movimientos tan complejos que advertían en el firmamento. La solución de este enigma ocupó a innumerables sabios babilonios, griegos, árabes y medievales; surgieron sucesivamente los más diversos “sistemas astronómicos”, cada vez más complicados y que, sin embargo, no alcanzaban a explicar cabalmente todos los fenómenos observados. Hasta que apareció un pensador que entregó a la humanidad sorprendida e incrédula el hilo de Ariadna que habría de ser guía infalible en el laberinto celeste. Este pensador genial fue Nicolás Copérnico de Torun.

Para juzgar con toda Imparcialidad, como corresponde a un historiador, la significación del cambio de rumbo que Copérnico imprimió a la ciencia astronómica y rendir el debido homenaje a su gran capacidad intelectual, que fue poderosa, pero también humana y por lo tanto falible, debemos referir brevemente cómo eran las teorías astronómicas sobre la estructura del universo aceptadas y enseñadas en los siglos XV y XVI. Es posible dividir las en dos grandes grupos. Ambos tuvieron su origen en el pensamiento griego, pero mientras que un grupo se apoyaba en las obras de Aristóteles y sus comentaristas el otro seguía a Ptolomeo y sus sucesores. Los dos grupos de teorías coincidían en ciertas tesis fundamentales, de las cuales dos merecen mencionarse: la primera tesis sostenía que la Tierra era inmóvil y ocupaba el centro del Universo, ya que de esto —según se afirmaba— nos convence la experiencia cotidiana de nuestros sentidos. La segunda tesis derivaba de ciertas premisas

apriorísticas del campo de la Física —o más bien de la Metafísica— formuladas ya por Platón. Este filósofo, y con él toda la filosofía y la física antigua y medieval, distinguía dos tipos esenciales de movimientos: los movimientos rectilíneos que observamos en la Tierra y en su inmediata vecindad, y los movimientos circulares que son propios de los cuerpos celestes, o sea de las estrellas y los planetas entre los cuales se incluían naturalmente el Sol y la Luna. Se creyó que los cuerpos celestes, por poseer una naturaleza mucho más perfecta que las cosas de la Tierra, debían estar dotados del más perfecto de los movimientos posibles, o sea de movimiento circular y además uniforme, es decir aquel que se efectúa con velocidad constante. Sólo tales movimientos —decía Platón— son “admisibles” para los cuerpos celestes. Precisamente esta afirmación, que para mayor concisión llamaremos “axioma platónico”, constituía la segunda tesis fundamental, común a ambos “sistemas del universo”. El axioma platónico puede expresarse también de la siguiente manera: “Todos los movimientos observados de los cuerpos celestes, aunque se presenten a nuestros ojos en forma a veces muy Intrincada, tienen que dejarse reducir a una combinación de movimientos uniformes de trayectoria circular”. Estos supuestos fueron el fundamento sobre el cual los pensadores griegos edificaron sus teorías astronómicas, heredadas luego por la cultura mahometana y por la Europa cristiana del Medioevo. El propio Platón, y sobre todo sus sucesores directos —Eudoxo, Calipo, Aristóteles— construyeron sobre la base de estos principios un sistema astronómico que en la historia de esta ciencia lleva el

nombre de "sistema de esferas homocéntricas", es decir, concéntricas. Sus componentes esenciales son los siguientes: la Tierra, inmóvil, está fijada en el centro del universo; alrededor de ella giran esferas homocéntricas, cuyo centro coincide con el de la Tierra. La mayor de estas esferas, o sea la exterior, gira con velocidad angular invariable alrededor del "eje del mundo", de Este a Oeste, y esto es suficiente para el movimiento de las estrellas fijas "adheridas" a aquella esfera. En cambio, para explicar los movimientos de los planetas, se precisa un mecanismo más complejo, compuesto de varias esferas concéntricas con la Tierra. Todas estas esferas giran con velocidad uniforme, pero cada una de ellas lo hace alrededor de un eje diferente, con distinta velocidad angular y a veces hasta en sentido contrario al de la esfera más próxima. Si atribuimos a estos ejes apropiadas inclinaciones, y a las velocidades adecuados valores numéricos, podremos en efecto reproducir en forma aproximada el movimiento irregular de los planetas en el firmamento.

Aristóteles, como hemos dicho, fue justamente partidario de tal sistema astronómico y lo expuso a grandes rasgos en sus obras. Pero ya en los tiempos de los discípulos directos del Estagirita, y tal vez aun antes, los astrónomos griegos llegaron a la conclusión de que este sistema no alcanzaba a explicar todos los fenómenos que se observan en el cielo. Ante todo, este sistema no podía explicar de manera alguna el hecho de que algunos cuerpos celestes se encontrasen a veces más cerca de la Tierra, y otras veces más lejos, como lo prueba la circunstancia de que los eclipses del Sol sean

unas veces totales y otras anulares. De modo que fue necesario inventar para el movimiento de los cuerpos celestes algún otro mecanismo que concordara mejor con los fenómenos observados. Este nuevo mecanismo recibió en la historia de la ciencia el nombre de "sistema de excéntricos y epiciclos", pero es más conocido con el nombre de "sistema de Ptolomeo", dado que Claudio Ptolomeo, autor del *Almagesto*, fue el representante más famoso de esta teoría astronómica. El mecanismo de los movimientos planetarios expuesto en el *Almagesto* se compone de círculos —o esferas— de dos clases: los excéntricos —llamados también círculos deferentes—, con órbitas circulares cuyos centros no coinciden exactamente con el centro de la esfera de las estrellas fijas y, por consiguiente, tampoco con el centro de la Tierra que permanece inmóvil en el medio del universo; y los epiciclos, que son círculos cuyos centros se desplazan sobre aquellas órbitas excéntricas. Así, por ejemplo, el planeta Marte recorre el epiciclo en determinado lapso llamado "revolución sinódica del planeta"; simultáneamente el centro del epiciclo recorre el círculo deferente en un período fijo denominado "revolución zodiacal del planeta". El movimiento de Marte alrededor de la Tierra es por lo tanto un movimiento compuesto, resultante de dos movimientos circulares, o tres, si agregamos la revolución diaria de todo el firmamento.

El sistema de excéntricos y epiciclos resultó mucho más adecuado para explicar los fenómenos observados en el cielo que el sistema de esferas homocéntricas. No es extraño, pues, que casi todos los astrónomos profesionales que vivieron entre Ptolomeo y Copérnico

fueran partidarios de este sistema, procuraran perfeccionarlo y fundaran en él sus tablas y sus cálculos. Con todo, este sistema nunca logró desplazar totalmente y sumir en el olvido el sistema de esferas homocéntricas. Esta extraña paradoja histórica se explica por el enorme prestigio de que gozó a través de muchos siglos la filosofía peripatética y la física de Aristóteles. No viene al caso describir aquí la constante pugna que, siglo tras siglo, se libraba entre los partidarios de los dos mecanismos contradictorios del movimiento de los astros; baste señalar que alrededor del año 1200 esta pugna se trasladó al ámbito de la Europa cristiana. También aquí se enfrentaron dos bandos: el de los “astrónomos” que seguían a Ptolomeo, y el de los “filósofos” que seguían a Aristóteles. Tanto el uno como el otro conquistaron y mantuvieron fuertes posiciones en la enseñanza universitaria. El sistema de esferas homocéntricas era expuesto al comentarse las obras de Aristóteles; el sistema de excéntricos y epiciclos constituía la base de la enseñanza profesional de la astronomía. Esto, naturalmente, involucraba contradicciones entre las clases dictadas por uno y otro profesor, pero por algo la Edad Media y particularmente el siglo XV—que es el que más nos interesa— fue una época de sincretismo científico, capaz de tolerar y “explicar” aparentemente, muchas veces de una manera estrambótica, más de una contradicción de este género.

Pero esta divergencia fundamental entre el mecanismo aristotélico y ptolomeico del movimiento de los astros no era, ni mucho menos, el único obstáculo lógico con que debió tropezar Copérnico ya en los años de su juventud. La astronomía de la época, tras haber

Incorporado diferentes doctrinas de proveniencia griega, hindú, árabe y occidental, llevaba en su seno muchos otros elementos discordantes a semejanza de los que hemos mencionado. Sin embargo, lo más importante era que el propio “príncipe de los astrónomos” de la Antigüedad, Ptolomeo, no siempre había estado de acuerdo consigo mismo. Hemos señalado ya que Ptolomeo, al igual que Aristóteles, creyó en el axioma platónico, según el cual los únicos movimientos admisibles en el cielo son los movimientos circulares de velocidad uniforme; además, en el tercer libro del *Almagesto* leemos una definición totalmente correcta de tal movimiento, en la que éste es descrito como un movimiento circular donde el radio vector trazado desde el centro del círculo describe ángulos iguales en períodos iguales. No obstante, cuando el autor pasa a describir en detalle las revoluciones planetarias, el asunto se presenta de una manera algo diferente: el centro del epiciclo recorre el excéntrico de modo que los ángulos iguales en tiempos iguales son descritos por el radio vector trazado, no desde el centro del excéntrico, sino desde otro punto del espacio al que se dio luego el nombre de “centro del ecuante”, o sea centro del “círculo equilibrador de los movimientos”. Este mismo punto regula también —en el sistema de Ptolomeo— el movimiento del planeta sobre el epiciclo.

De modo que los movimientos circulares analizados por Ptolomeo no son en realidad uniformes, sino “aparentemente uniformes”. Entre el axioma platónico, aceptado sin reservas por el astrónomo alejandrino, y la aplicación práctica de este axioma existe una

contradicción indudable que los sucesores de Ptolomeo no pudieron dejar de notar, procurando en cambio restarle importancia o encubrirla con toda clase de sutilezas dialécticas.

Y aquí llegamos al germen mismo de *De revolutionibus* de Nicolás Copérnico. El remoto origen de esta obra fue el momento en que este astrónomo rechazó todos los sofismas destinados a probar que las contradicciones internas del sistema de Ptolomeo eran aparentes. Contra todo lo que se enseñaba en las universidades, Copérnico osó afirmar que las contradicciones existían y reclamaban una modificación a fondo del sistema, o aun su reconstrucción completa. Este primer paso que dio Copérnico en el camino que iba a llevarlo a la reforma de la astronomía, se fundaba en premisas lógicas, como él debió de haber advertido y comprendido que la teoría del movimiento de los astros, aceptada como verdad en aquella época, estaba marcada por el pecado original de la falta de coherencia.

Mas ésta no fue la única razón intelectual que predispuso a Copérnico en contra de la ciencia contemporánea sobre la estructura del universo y que despertó en su mente la "insatisfacción creadora" que, según una opinión que considero justa, es el motor más importante del progreso científico en general. Porque dejando a un lado el hecho de que debió chocarle aquella profunda discordancia entre los peripatéticos ortodoxos y los astrónomos profesionales, es menester añadir qué en sus tiempos, quien más quien menos, todos sabían que la concordancia entre el *Almagesto* y lo que acontecía en el firmamento no era sino

aproximada. En el segundo siglo de J.C., cuando vivió Ptolomeo, dicha concordancia fue bastante grande, pero iba empeorando con el correr del tiempo, como lo evidenciaban las nuevas observaciones. Bajo la presión de los datos proporcionados por la observación, ya los árabes empezaron a corregir y completar la obra del astrónomo alejandrino, seguidos más tarde por los sabios europeos de lengua latina. Las correcciones introducidas se limitaban a pequeñas modificaciones numéricas de magnitudes concretas tomadas por Ptolomeo (tales como la longitud del año trópico, la inclinación de la elíptica con respecto al ecuador, etc.). Los agregados, en cambio, consistían en incorporar nuevos círculos y circuidlos al "sistema de excéntricos y epiciclos". El mecanismo de los movimientos de los cuerpos celestes se volvía por consiguiente cada vez más complicado y confuso, creciendo al mismo tiempo las divergencias entre los astrónomos, porque mientras unos aceptaban cada "corrección" o "complemento", otros la rechazaban o introducían sus propias modificaciones. La astronomía teórica se sumía cada vez más en el caos y las observaciones demostraban a cada rato la falta de conformidad entre las tablas astronómicas y el cielo. A Copérnico no le faltaron, pues, estímulos intelectuales para tratar de buscar una salida de este atolladero, al parecer desesperante. Pero no poca importancia tuvieron en su caso las razones estéticas, como bien puede verse en aquel párrafo de *De revolutionibus* donde, parafraseando a Horacio, dice de sus antecesores que *"accidit eis perinde ac si quis e diversis loéis manus, pedes, caput aitaque membra optime quidem, sed non umus corporis comparatione depicta*

sumeret, nullatenus invicem sibi respondentibus, ut monstrum potius quam homo ex Mis contponeretur»¹⁴.

Tales fueron pues los motivos intelectuales y emocionales que llevaron al joven Copérnico a la conclusión de que el cosmos, sinónimo de orden y regularidad, estaba construido de otro modo que aquel en que lo presentaban tanto los partidarios del príncipe de la filosofía peripatético-escolástica, como por los imitadores del príncipe de la astronomía profesional. Con esta conclusión terminó en Copérnico el período de crítica y negación y empezó la etapa de investigación positiva con miras a construir sobre las ruinas de los viejos sistemas uno nuevo, verídico y coherente. Puede suponerse que durante cierto tiempo Copérnico no comprendía cómo debían exactamente ser las ideas rectoras de tal sistema nuevo. Como él mismo lo refiere, se entregó fervorosamente a la lectura de obras de diferentes escritores antiguos —latinos y griegos— para averiguar si habían existido anteriormente concepciones acerca de la construcción del mundo diferentes de aquéllas. Durante sus estudios de la historia de la astronomía antigua encontró, primero en Cicerón, y luego en Plutarco y en otros autores, vagas menciones acerca de que algunos pensadores griegos, especialmente los pitagóricos, habían sostenido que la Tierra no era inmóvil. Precisamente estas menciones, con las que Copérnico tropezó no antes del año 1498, le sugirieron la idea de tomar el movimiento de

¹⁴ "Les ocurrió lo mismo que a alguien que hubiera tomado de diversas partes, manos, pies, cabeza, y otros miembros del cuerpo y los hubiese juntado perfectamente, pero que al no corresponder al mismo cuerpo compone un monstruo más que un ser humano." De reVoUt-Siombut... "Epístola dedicatoria" al Papa Pablo III.

la Tierra, cualquiera que fuese su carácter, como una de las piedras angulares del nuevo sistema.

En este punto abramos un paréntesis y preguntémonos cuál fue la verdadera importancia que aquellas menciones sobre los pitagóricos tuvieron para el desarrollo del pensamiento de nuestro astrónomo. Resulta adecuado plantear esta pregunta, dado que algunos de sus biógrafos atribuyen excesiva significación a tales menciones y pretenden encontrar en textos del propio Copérnico la confesión de que él no fue en realidad el creador del sistema heliocéntrico, sino que se limitó a resucitar las concepciones cosmológicas de Nicetas, Filolao, Heráclides, Ecfanto y especialmente Aristarco de Samos. Más adelante procuraré demostrar, al menos parcialmente, la improcedencia de esta opinión. Ahora quiero referirme a aquellos biógrafos que, por el contrario, consideran su deber "salvar" la originalidad de Copérnico, despreciando lo que él mismo dice acerca de los estímulos que encontró en sus lecturas de Cicerón o Plutarco. Estos biógrafos ponen en duda el propio relato de Copérnico sobre aquellos Incentivos y opinan que estas menciones fueron insertadas en la introducción a *De revolutionibus* con el único fin de restarle carácter revolucionario a la obra, apoyándola *ex post* en la autoridad de pensadores antiguos. Cultamente, debe rechazarse también esta opinión, y no sólo porque de ese modo se pone en duda la veracidad de nuestro astrónomo, sino sobre todo porque se lo hace sin necesidad alguna. Quien se compenetre con la mentalidad de Copérnico, se convencerá sin lugar a dudas de que era un típico representante de una época de transición: por un lado,

fue un Innovador audaz que abrió nuevos horizontes a la ciencia, pero por otro, a pesar de su genialidad, no supo librarse totalmente de las trabas de la tradición, aun en los casos en que ésta resultaba engañosa por estar fundada en razonamientos apriorísticos. Lo veremos en seguida al referirnos al aspecto cinemático del modelo copernicano del universo. Sin embargo quiero señalar aquí que el padre de la astronomía moderna sintió verdadera fascinación por la Antigüedad clásica, y sobre todo por los extraordinarios adelantos de los matemáticos y astrónomos griegos. Y es así como en una de las primeras páginas de su obra rinde caballeresco homenaje a su —si cabe la expresión— antagonista principal, Ptolomeo, por su *“admiranda sollertia et diligentia”*¹⁵, y en otro lugar la llama *“vir ille mathematicorum eminentissimus”*¹⁶, del mismo modo que a Hiparco lo califica de *“vir mirae sagacitatis”*¹⁷. De manera que Copérnico sentía gran admiración por los autores antiguos, y no sólo porque era cabalmente hombre de su época, época del humanismo y del Renacimiento, sino también porque las obras de los sabios antiguos habían nutrido su propia mente, y él se consideraba simplemente discípulo de ellos. En este contexto, resulta completamente lógico que buscando *“certior ratio motuum machinae mundi”*¹⁸, haya recurrido a ellos en busca de consejo. De modo que no es necesario buscar segundas intenciones de aquel relato suyo, sino que se lo debe aceptar tal como es, o sea como una confesión —digna del

¹⁵ “Ingenio y diligencia dignas de admiración”. *De revolutionibus...* Libro 1, Introducción.

¹⁶ “Varón eminentísimo entre los matemáticos”. *De revolutionibus...*, Libro 2, cap. 14.

¹⁷ “Varón de admirable sagacidad”. *De revolutionibus...*, Libro 3, cap. I.

¹⁸ “Explicación más precisa de los movimientos del mecanismo del (mundo)”. *De revolutionibus* ... Epístola dedicatoria.

mayor respeto— de que fueron las opiniones de los pitagóricos, mencionadas por Cicerón y Plutarco, las que llamaron su atención hacia la posibilidad de rechazar el dogma de la Tierra inmóvil.

Pero esto no quiere decir, ni mucho menos, que “aquellas contadas menciones, sobremanera escuetas, que muchos habían leído antes, teniéndolas seguramente por curiosidades aberrantes”¹⁹ hayan convencido inmediatamente a Copérnico de que era preciso dotar a la Tierra de algún movimiento. La primera actitud de nuestro astrónomo hacia esta idea está claramente caracterizada en el pasaje siguiente, donde leemos que “*quamvis absurda opinio videbatur*”²⁰, se decidió “*ut experiretur, an potito terrae aliquo motu firmiores demonstrationes,.. inveniri in revolutione orbium coelestium postent*”²¹, y que sólo “*multa et longa observatio*”²² lo llevó a la conclusión de que de este supuesto, aparentemente absurdo, podían derivarse no sólo todos los fenómenos observados en el cielo, sino además un orden en el universo “*ut in nulla sui parte possit transponi aliquid sine reliquarum partium ac totius universitatis confusione*”²³. He aquí un comportamiento digno de un moderno investigador de la naturaleza: Copérnico admite la posibilidad del movimiento de la Tierra, pero por el momento sólo como una

¹⁹ M. Ernst, “Mikolaj Kopernik jako astronom” (Nicolás Copérnico como astrónomo) en: *Mikolaj Kopernik*, Lvov, 1924, p. 4.

²⁰ “Aunque tal opinión parecía absurda”. *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

²¹ “Para probar si, suponiendo algún movimiento de la Tierra, sería posible hallar explicaciones más seguras de las revoluciones de las esferas celestes”. *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

²² “Amplia y prolongada observación”. *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

²³ “Que en ninguna de sus partes nada pueda transponerse sin confusión en las demás partes y en todo el universo”. *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

hipótesis de trabajo, aceptándola como verdadera únicamente cuando ésta ha revelado toda su fecundidad.

Por lo tanto, Copérnico rechaza el dogma de Aristóteles y Ptolomeo acerca de la inmovilidad de la Tierra, desplazándola del centro del cosmos para colocar allí el Sol, y ordenando, tanto a la Tierra como a los demás planetas, girar alrededor de él. Pero no rechaza el segundo principio fundamental de la astronomía escolar, aquel "axioma de Platón" según el cual toda la cinemática del cosmos se reduce a movimientos uniformes de trayectoria circular. En consecuencia, ambos modelos heliocéntricos del universo creados sucesivamente por Copérnico poseen —si cabe la expresión— un mecanismo de reloj, compuesto de ruedas y ruedecillas que dan vueltas con velocidad invariable; en otros términos, también aquí hallaron aplicación aquellos círculos deferentes y epiciclos que he mencionado al referirme al sistema ptolomeico. Pero la diferencia entre Ptolomeo y Copérnico estriba no sólo en que el mecanismo de los movimientos se toma más simple y claro en el sistema heliocéntrico, sino también —y en primer lugar— en que desaparecen de una vez por todas los ecuantos y con ellos, esos movimientos "aparentemente uniformes" que los creadores del sistema antiguo introdujeron calladamente en él.

He dicho hace un momento que Copérnico creó sucesivamente dos sistemas del movimiento planetario, ambos heliocéntricos y ambos totalmente acordes con el "axioma platónico". El hecho es que el único vestigio que queda del primero es un esbozo a grandes rasgos, y que sólo contiene generalidades, titulado *Nicolai Copernici de*

bypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus y escrito a más tardar en la segunda década del siglo XVI, pero no publicado entonces porque el autor lo destinó a un estrecho círculo de sus amigos más íntimos. No me detendré aquí a analizar las diferencias entre el primer esbozo del sistema heliocéntrico y su forma desarrollada en *De revolutionibus*, la cual en muchos aspectos, especialmente en el geométrico, debe considerarse realmente como una nueva configuración de ese sistema. En cambio, vale la pena considerar el porqué y las consecuencias de la decisión de Copérnico de emprender, casi inmediatamente después de haber terminado el *Commentariolus*, la redacción de una obra de envergadura incomparablemente mayor sobre el mismo tema.

Copérnico dedicó más de veinte años a escribir y completar *De revolutionibus*.

Lo escribía sobre todo para sí mismo, dado que —como se sabe— vaciló mucho tiempo sobre si debía publicarlo o no; pero también para otros, al menos para los mismos lectores a los que había destinado el *Commentariolus*. Debió, por consiguiente, tomar en cuenta que, pese a todas las precauciones adoptadas, la noticia de su revolucionaria teoría astronómica cundiría tarde o temprano entre sus contemporáneos, lo que efectivamente ocurrió. Y en tal caso, no podía serle indiferente *"quid alii de illis iudicaturi sint"*²⁴; en particular, debió abrigar temores de que su tesis sobre el movimiento de la Tierra fuera rechazada sin discusión por hombres que no lograrían comprender la simplicidad y lógica interna del

²⁴ "Qué opinarán otros de ellas" (es decir, de "Revoluciones"). *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

sistema heliocéntrico, sino que optarían por aferrarse a la antigua opinión, consagrada por la tradición de tantos siglos y fundada en el testimonio “evidentísimo” de los sentidos. Para combatir eficazmente estos prejuicios; para hallar crédito siquiera entre aquellos “matemáticos” *“ingeniosi atque docti”*²⁵. era menester demostrar en detalle que el sistema heliocéntrico resolvía efectivamente aquel enigmático problema del movimiento de los astros que inquietaba a la humanidad desde los albores de su historia. Por ello, la segunda mitad de la vida de Copérnico transcurrió en medio de un intenso trabajo de observación y de cálculo, aplicado a la redacción de una obra que fuese capaz de llegar a ser un nuevo *Almagesto*, pero mucho más perfecto que el original.

La elaboración detallada de aquel mecanismo del mundo que Copérnico había de exponer en su obra principal le costó años de ardua, paciente y solitaria labor. La fatiga que implicó esta obra fue incomparablemente mayor que la que precedió al *Commentariolus*, aunque quizás haya sido menor la tensión intelectual y el esfuerzo de la imaginación que los requeridos para la pronta creación del sistema heliocéntrico. El estudio de esta segunda mitad de la vida de Copérnico despierta en algunos historiadores de la astronomía “un sentimiento de profundo pesar” hacia la “tragedia de una vana fatiga”²⁶. La consideran “vana” porque Copérnico —como ya sabemos— siguió siendo hasta el fin de sus días fiel Partidario del “axioma de Platón” y aceptó sin una palabra de crítica el apriorístico supuesto de que los movimientos de los cuerpos celestes tenían que

²⁵ “Ingeniosos y sabios”. *De revolutionibus...* Epístola dedicatoria.

²⁶ M. Ernst, op. cit- pp. 10 y 13.

dejarse reducir a una combinación de movimientos uniformes de trayectoria circular. Y es así como transcurridas siete escasas décadas de la muerte de Copérnico, Juan Ketier se convencerá de que estos movimientos no se dejan subordinar a aquel postulado metafísico; rechazará pues el “axioma de Platón” reemplazándolo por sus célebres tres leyes, de las cuales la primera y la más importante —publicada en 1609— establece que la órbita de cada planeta es una elipse en cuyo foco se encuentra el Sol. El ingenioso reloj, cuya construcción y regulación le costó a Copérnico casi 30 años de intenso trabajo, dejó de funcionar antes de que pasaran tres cuartos de siglo.

Pero, ¿nos autoriza esto a calificar de “vana fatiga” el trabajo de una gran parte de la vida de Copérnico? Con toda seguridad, no. Porque si Copérnico se hubiese contentado con exponer su concepción heliocéntrica en términos generales, si hubiese escrito y publicado únicamente el *Commentariolus*, su obra habría podido correr la misma suerte que le cupo a aquellos pitagóricos que casi dos mil años antes de él habían admitido la posibilidad de una Tierra en movimiento, cuyas ideas fueron consideradas por sus contemporáneos y por las generaciones posteriores como meras fantasías que suelen citarse como curiosidad, pero que nadie toma en serio. El riesgo era real como bien lo prueba la historia del sistema copernicano en los siglos XVI y XVII. Ocurrió precisamente lo que había temido Copérnico y lo que deseaba prevenir al escribir su famosa epístola dedicatoria a Paulo III; sus concepciones fueron calificadas de absurdas, y lo que es más, heréticas, y sólo un

puñado de desprejuiciados investigadores de la naturaleza tuvieron el valor de compartirlas. ¿Y qué fue lo que había convencido a aquel puñado de sabios? Sobre todo el hecho de que las tablas astronómicas calculadas por Copérnico concordaban mejor con el cielo que las tablas de sus predecesores.

De modo que no fue vano el trabajo de observación y cálculo al que Copérnico dedicó la segunda mitad de su vida y cuyo fruto es *De revolutionibus*. Por cierto, las elaboradas construcciones geométricas de las que se sirvió en esta obra para explicar los movimientos de los astros, no se mantuvieron por mucho tiempo. Las derribó justamente Kepler, el mismo que escribirá en su ejemplar de la inmortal obra que ésta contenía "*innúmeras sapientiae opes*". Sobre estos "incontables tesoros de la sabiduría" creció y se formó el saber astronómico de Kepler; por intermedio de *De revolutionibus*, gracias a que esta obra había sido escrita y publicada, Kepler fue en cierto modo discípulo directo del gran solitario de Frombork. Y el hecho de que el discípulo haya ido más lejos que el maestro, que haya simplificado formidablemente el sistema heliocéntrico, no puede ser motivo de que nos lamentemos de una supuesta tragedia del maestro; al contrario, es más bien una prueba de que el gigantesco esfuerzo de Copérnico no fue vano, dado que transcurridos apenas 70 años produjo nuevos frutos para la ciencia.

Es un fenómeno corriente en la historia del pensamiento humano que los más grandes descubrimientos no revistan de inmediato la forma en la que se mantienen luego por largo tiempo en la ciencia. Esto toca a la esencia misma del progreso de nuestro conocimiento

de la naturaleza, en el que confluyen los aportes y progresivas precisiones de individuos y generaciones enteras. “Desde el comienzo del mundo ha ido creciendo la Sabiduría y su crecimiento no ha terminado todavía”, estas palabras, un tanto simple pero ciertas, las escribirá ya en el siglo XIII Roger Bacon. Nuestras ideas actuales acerca de la estructura del universo difieren considerablemente no sólo de las ideas de Copérnico, sino también de las de Kepler, Galileo, Newton o Laplace. Hasta ahora no ha sido —y seguramente nunca será— terminado aquel gran *Almagesto* nuevo en que soñó Copérnico cuando se disponía a escribir *De revolutionibus*. Pero esto no cambia en nada el hecho de que el espléndido edificio del saber astronómico de nuestros tiempos se apoya, como en un fundamento, precisamente en esta obra.

Capítulo 4

Nicolás Copérnico, creador de una nueva astronomía

Włodzimierz Zonn

Aunque conozcamos los datos esenciales relativos a Copérnico y a su obra, la historia no es un libro cerrado y nunca lo ha sido. Esto se aplica con tanta mayor razón a la historia de los descubrimientos científicos que adquieren nuevos significados a medida que progresa la ciencia. Y también por esa razón muchas veces volvemos con nuestro pensamiento a aquellos hombres que desempeñaron un papel decisivo en el desarrollo de la ciencia, a los hombres del Renacimiento, entre los cuales Copérnico es una figura de primera magnitud.

Y algo más. Los psicólogos, sociólogos e historiadores de la ciencia dedican mucho tiempo a desentrañar el misterio de la formación de las capacidades intelectuales del hombre y de su carácter. Sobre todo, en lo que concierne a los hombres eminentes o, si se prefiere, a los genios. Y no con el objeto de glorificarlos, sino debido a la necesidad de conocer los nexos particularmente complicados entre el intelecto y el carácter del hombre, y el ambiente —tanto el más inmediato como el más amplio— que lo rodea. Todo esto tiene un significado no sólo cognoscitivo, sino también utilitario para el presente y para el futuro. He aquí algunas razones que explican por qué vale la pena detenerse a reflexionar sobre la historia de los grandes hombres que han dejado huellas más profundas y duraderas que los hombres corrientes de su época.

Con este espíritu emprendemos la presentación de algunos problemas relacionados con Copérnico y con la rama del saber que él reformó tan profunda y espléndidamente, la ciencia del cielo.

La Astronomía es una de las ciencias más antiguas, si no la más antigua de todas. La sucesión de los días y las noches y de las estaciones del año siempre ha sido uno de los elementos más importantes de nuestra vida consciente e inconsciente, y con toda seguridad, también de la vida de los animales. Para formarse una idea adecuada de esta sucesión, para establecer los periodos de estos ciclos y comprender por qué el día sucede a la noche, y el verano a la primavera, era necesario observar detenidamente el cielo, que hasta hoy sigue siendo el reloj y el calendario fundamental de la humanidad. El afán de conocer estuvo aquí estrechamente ligado a las necesidades prácticas, dado que en toda planificación, aun en el sentido más primitivo de la palabra, había que saber cuándo caería la noche, cuándo comenzaría y cuánto duraría el deshielo primaveral o el desborde de las aguas de un río. Y fue seguramente así como surgió la astronomía primitiva: como arte de medir el tiempo.

El problema de determinar las partes del día no presentó nunca mayores dificultades, especialmente en los países del Mediterráneo de donde procede nuestra civilización. En estos países la duración del día y de la noche no cambia mucho con las estaciones del año, de modo que era posible pasar por alto estos cambios. El día se dividía, pues, independientemente de su duración, en doce partes iguales. El punto cero de esta escala era el mediodía, cuando el Sol

se encontraba en el punto más alto de su camino diario y cuando las sombras eran más cortas. La hora se establecía “a ojo de buen cubero”, dividiendo en seis partes el arco descrito por el Sol a la izquierda y a la derecha del meridiano y calculando a simple vista en qué porción del arco se encontraba aquél en un momento dado. También se recurría a la longitud de la sombra; así, por ejemplo, una reunión podía citarse en el momento en que la sombra sería dos veces más larga que el objeto que la producía. La medición del tiempo se interrumpía por la noche; a muy poca gente le interesaba fijar las horas de la noche, ya que la vida, al menos la vida pública, detenía su curso con la puesta del Sol.

Un problema mucho más difícil fue determinar las estaciones del año, lo que puede considerarse el talón de Aquiles de la astronomía antigua y medieval. Este problema era particularmente importante para los habitantes de las orillas del Nilo, cuyos desbordes constituían momentos decisivos para toda la economía de la región y para todo el año. La falta de orientación exacta en las estaciones del año podía representar para ellos una verdadera catástrofe.

Las estaciones del año —como sabemos— dependen de la posición del Sol con respecto al ecuador terrestre. Dado que durante el día no podemos ver las estrellas, es imposible precisar directamente la posición del Sol en relación con éstas; sólo podemos determinarla indirectamente, o sea con ayuda de métodos más o menos ingeniosos. Y para inventar tales métodos se necesita conocer, por lo menos a grandes rasgos, las leyes generales que rigen el movimiento del Sol con respecto a las estrellas.

De este modo habría surgido la astronomía como ciencia que trata de todo lo que rodea a la Tierra, o sea como la ciencia del Universo. Es particularmente significativo que los métodos de esta ciencia, casi desde su mismo comienzo hasta el día de hoy, sigan siendo los mismos. Me refiero a la creación de aquello que llamamos un modelo y que es una construcción intelectual compuesta de entes geométricos —o en términos generales, matemáticos— en sustitución de entes reales, en este caso, del Universo. También hoy procedemos del mismo modo, no sólo en el ámbito de la cosmología, sino en muchas otras ciencias naturales.

En una construcción de esa naturaleza, a cada ente geométrico debe corresponderle cierta realidad, pero no a la inversa. En cada modelo omitimos, consciente o inconscientemente, ciertos hechos o fenómenos, considerándolos poco importantes para la comprensión del conjunto. Ello se debe a que la realidad es, por regla general, más rica y más variada que todo cuanto puede concebir el cerebro humano.

Pero esas omisiones no siempre surten buenos efectos y aquí tocamos el problema más arduo de todas las ciencias teóricas: la selección de aquello que consideramos esencial en el problema en cuestión y de aquello que “carece de importancia”. En esta materia no hay, naturalmente, recetas ni indicaciones. Lo único que queda es la intuición del científico y, desde luego, la posibilidad de cotejar luego el modelo con la observación o la experimentación, de lo que nos ocuparemos en detalle más adelante.

En la construcción de un modelo Interviene también el problema de la conformidad de su funcionamiento con las leyes generales de la ciencia que nos son conocidas; en el caso de la astronomía, con las leyes de la física que rigen toda materia inorgánica. Aquí, sin embargo, nos reservamos un margen más o menos grande de tolerancia, porque no consideramos las leyes de la física como absolutamente infalibles. La última instancia en todo lo concerniente a la naturaleza es la naturaleza misma y no el laboratorio del físico que trabaja en condiciones específicas, diferentes de las que reinan en el cosmos. Si bien es cierto que los físicos hacen lo posible por imitar o reproducir en sus laboratorios las condiciones reinantes en el cosmos, esta reproducción no siempre es suficientemente precisa. Además, las leyes de la física son formuladas por el hombre y por lo tanto admiten equivocaciones. Por esta razón, los cosmólogos, en sus especulaciones, no siempre están de acuerdo con las leyes de la física, lo que no es considerado mérito alguno, pero tampoco los desacredita en absoluto.

Recordemos, a modo de ejemplo, cuán perjudicial fue la influencia de cierta ley general sobre el sistema creado por Copérnico. Me refiero a la ley que establecía que todos los movimientos de los cuerpos celestes debían ser uniformes y circulares, Los cosmólogos citan con frecuencia este caso al defenderse de la acusación de que sus concepciones no siempre concuerdan con las leyes de la física.

Una vez creado el modelo, su autor —a semejanza de un sastre— prueba si aquél “le queda bien” a la realidad existente, o sea lo confronta con las observaciones anteriores o con las efectuadas *ad*

hoc para verificar el modelo. Por desgracia, en el pasado de la ciencia, las observaciones son generalmente menos abundantes que en el presente o en el futuro. Además, las observaciones antiguas suelen ser poco exactas. Por eso son raros los casos en que determinado modelo puede ser confrontado inmediatamente con los indispensables datos de la observación. Por lo común, es preciso esperar observaciones nuevas, provocadas o sugeridas por el nuevo modelo. Ocurre también a menudo que este último sugiere un tipo completamente nuevo de observaciones, que —además de la verificación del modelo— pueden aportar mucho a la ciencia. De modo que el modelo, resulte equivocado o no, puede desempeñar una función muy positiva en el progreso de la ciencia. Así sucedió con el modelo antiguo del Universo, al que pensamos dedicarle no poco espacio en este ensayo. Es indudable que el modelo del Universo legado por los sabios antiguos desempeñó un papel positivo en las investigaciones de Copérnico y en el desarrollo de toda la astronomía.

En determinado momento, cada modelo llega a ser fatalmente equivocado. Cada observación nueva puede resultar contradictoria con lo previsto por el modelo, pese a que cien o mil observaciones anteriores hayan confirmado su exactitud. Todos los modelos tarde o temprano mueren: tal es su destino. Algunos mueren repentinamente y a veces sin dejar descendentes. Otros dejan al morir una nutrida prole de ideas y postulados que pasan a formar parte de concepciones posteriores. Finalmente, los hay que viven largo tiempo, sufriendo únicamente mayores o menores correcciones

o incorporando agregados. Es posible que algunos en cierto sentido vivan eternamente. Nuestra rienda es todavía muy joven como para aventurar semejantes profecías con respecto a los modelos existentes. Puesto que he empleado tantas veces la palabra "modelo", debo explicar en qué se diferencia este concepto de otro, muy semejante: el de "teoría". Me parece que la teoría es algo más que un modelo, porque contiene además todo un sistema de premisas lógicas que justifican la elección de tal o cual modelo. Si he procurado evitar aquí la palabra "teoría" ha sido sobre todo porque es una palabra de amplias connotaciones, mientras que "modelo" tiene para todos una significación bastante precisa. Además despierta asociaciones con un modelo en el sentido técnico del término, que me parecen justas y positivas aunque un modelo técnico no es, por supuesto, lo mismo que un modelo cosmológico.

Pero volvamos a los problemas de la astronomía de los antiguos. Los primeros modelos cosmológicos fueron construidos sobre la base de cierta ley que los antiguos consideraban una ley física fundamental y que luego habría de resultar falsa: que los cuerpos celestes giran con velocidad uniforme describiendo círculos, y que no pueden hacerlo de otra manera.

Este principio nació, según parece, de la observación más sencilla de las estrellas, cuyo movimiento —con referencia a la Tierra— es efectivamente circular y uniforme (hoy sabemos que esto se debe a la rotación uniforme de la Tierra). Más tarde, cuando ya se comprobó que el movimiento de los planetas no era así, esa ley fue sin embargo conservada con gran perjuicio para la debida

comprensión de los problemas de la mecánica, pero con gran beneficio para los fines prácticos de captar en forma matemática la totalidad de los fenómenos astronómicos. Y es que los astrónomos antiguos aprovechaban de este modo cierta verdad que fue comprobada sólo en el siglo XIX. Me refiero al famoso teorema de Fourier que —de manera un tanto simplificada— dice que todo movimiento periódico puede ser presentado como una suma de simples movimientos circulares.

Como sabemos, el movimiento de los planetas se aproxima mucho al movimiento circular uniforme. Lo mismo cabe decir del movimiento de la Tierra, a la cual los antiguos suponían inmóvil. La aplicación del teorema de Fourier en este caso parece más que justificada, independientemente del sistema de referencia adoptado. Sólo podemos admirar la intuición matemática de los astrónomos antiguos quienes, como acabamos de ver, fueron verdaderos precursores de Fourier en este aspecto.

En el sistema que toma como referencia al centro de la Tierra —llamémoslo geocéntrico, siguiendo la nomenclatura aceptada— los movimientos del Sol y la Luna no presentaban, por lo menos al comienzo, mayores dificultades. Ambos cuerpos daban vueltas en torno de la Tierra con movimiento uniforme, describiendo círculos: la Luna, un círculo pequeño, el Sol, otro más grande. El hecho de que el círculo descrito por el Sol tuviese un radio mucho mayor que el de la órbita lunar, se desprendía en primer lugar de la observación de los eclipses de Sol, durante los cuales la Luna se encuentra siempre delante del disco solar. En segundo lugar,

porque la Luna cumple su revolución alrededor de la Tierra en un mes, mientras que el Sol emplea un tiempo mucho más largo, un año. Cuanto mayor es el período de revolución de un astro —o sea, cuanto más lentamente se desplaza en el cielo con respecto a las estrellas—, tanto más lejos se encuentra de nosotros. Este acertado principio fue admitido por los antiguos sin demostración, fundándose únicamente en la intuición.

Una excepción a esta regla era el movimiento de las estrellas fijas. Estas fueron ubicadas en una sola esfera, la mayor de todas, que giraba cumpliendo una revolución completa cada 24 horas. Hoy sabemos que este movimiento es el resultado del movimiento de rotación de la Tierra, y por esta razón todo lo que se encuentra en el cielo debe participar en este movimiento. Los antiguos griegos creían, sin embargo, que la Tierra era inmóvil y por eso atribuían este movimiento a la esfera de las estrellas fijas y a todos los demás cuerpos del cosmos. Quedaba por explicar de qué manera el movimiento rotatorio de la esfera estelar se comunica a todos los cuerpos celestes que se hallan dentro de esa esfera.

Había varias suposiciones. Aristóteles, por ejemplo, sugería que existe un fluido invisible, el éter, que llena todo el universo y que transmite su movimiento a todos los astros. Sea como fuere, la esfera de las estrellas fijas arrastraba consigo a todo el cosmos y por ello los griegos solían definir el movimiento de los planetas como un sistema en rotación, suponiendo que los planetas giraban juntamente con la totalidad del cielo. Examinemos también nosotros el movimiento de los planetas en este sistema.

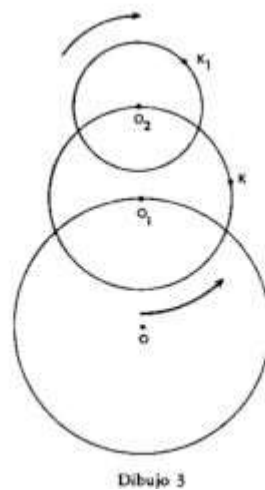
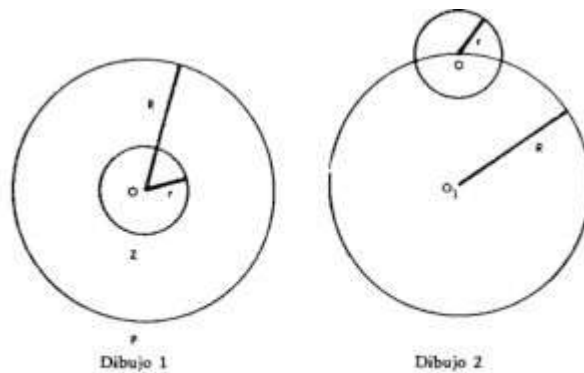
Los planetas, como sabemos, se mueven alrededor del Sol describiendo curvas cerradas cuya forma se aproxima a la de una circunferencia en el centro de la cual está precisamente el Sol. Los planos de todas las órbitas planetarias son casi coincidentes. Por eso examinaremos los movimientos planetarios en proyección sobre un plano común a todos ellos que es el plano del dibujo 1, donde la circunferencia Z de radio r representa la órbita de la Tierra y la circunferencia P de radio R , la órbita de un planeta cualquiera.

Hoy sabemos que al transportar el sistema de referencia de un lugar a otro, debemos agregar a todos los movimientos observados en el “viejo” sistema el movimiento del nuevo sistema con relación al anterior. De modo que al trasladar el sistema de referencia del Sol a la Tierra —o sea al volver al sistema geocéntrico de los griegos—, debemos añadir a cada movimiento con respecto al Sol el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, es decir, el círculo de radio r (dibujo 2). De acuerdo con la terminología de los antiguos, llamamos epiciclo a este pequeño círculo de radio r , en tanto que denominamos círculo deferente al círculo grande —de radio R . Dando a ambos círculos las dimensiones apropiadas y atribuyendo determinados tiempos a la revolución del planeta sobre el epiciclo y a la del centro del epiciclo sobre el círculo deferente, fue posible lograr una conformidad casi perfecta —para aquellos tiempos— de la observación con la teoría, suponiendo que todas las órbitas fuesen circulares.

Hemos dicho que la conformidad era casi perfecta, pero los griegos supieron resolver admirablemente también el problema de esta

ínfima diferencia, que, sin embargo, complicaba un poco el modelo geocéntrico.

Sin internarme demasiado en la compleja geometría cósmica de aquel tiempo, citaré sólo a modo de ejemplo cierta modificación del modelo: la que toma en consideración un movimiento aproximado al elíptico. Resulta que tal movimiento, observado desde uno de los focos de la elipse, se aproxima al movimiento circular si colocamos al observador no en el centro del círculo, sino en un punto situado a cierta distancia del centro, es decir, excéntricamente. Por ello, los antiguos ubicaban algunos de sus círculos excéntricamente con respecto al centro de la Tierra.



A veces recurrían también a otra ingeniosa construcción geométrica. Al círculo K (dibujo 3) agregaban el epiciclo K_1 haciendo que el planeta se moviese sobre él en sentido contrario al de la revolución del centro del epiciclo sobre el círculo K . De esta manera, el punto K_1 describía un círculo situado excéntricamente con respecto al punto O .



Como la órbita de la Tierra es en realidad una elipse, y como las órbitas de los planetas son asimismo elipses ligeramente achatadas, a medida que aumentaba el número y la exactitud de las observaciones, el modelo geocéntrico, originalmente sencillo, debió

ser completado con epiciclos cada vez más numerosos, porque sólo de esta forma era posible "salvar" este modelo. Estos constantes perfeccionamientos del modelo geocéntrico hicieron que en tiempo de Copérnico el mecanismo del universo estuviese compuesto de unos 80 círculos grandes y pequeños...

Pero en la época en que surgió, el modelo geocéntrico fue sin duda positivo e inspirador, dado que permitía hacer diversas previsiones indispensables para la medición del tiempo; además, como toda teoría científica, estimulaba a efectuar nuevas observaciones y a revisar los datos procedentes de épocas anteriores. Al mismo tiempo se fundaba, como ya hemos señalado, en una concepción matemática sumamente ingeniosa, por no decir genial.

Se le podría reprochar a este modelo que haya colocado "falsamente" a la Tierra en el centro del universo. Pero esta "falsedad" es tal sólo desde el punto de vista de la mecánica newtoniana, A la luz de la física moderna, no hay allí falsedad ni error alguno. La naturaleza no favorece ningún sistema de referencia; no hay en ella ningún punto con referencia al cual un sistema pueda ser perfecto o "verdadero". De modo que la elección del sistema de referencia es una cuestión puramente humana. Por lo tanto, si nos regimos por consideraciones humanas, la primera idea sensata será referir el sistema al ojo del observador, tal como lo hacemos hasta hoy al exponer a los astrónomos principiantes los elementos de astronomía esférica. Nada tiene que ver con esto el hecho de que en cierto momento este sistema haya resultado Incómodo, sobre todo porque las órbitas planetarias son elípticas y

no circulares, y porque la descripción de un movimiento elíptico en un sistema de referencia que se mueve siguiendo también una trayectoria elíptica resulta una tarea sumamente complicada desde el punto de vista matemático. Además, el sistema geocéntrico debió de resultar enormemente molesto para los que más tarde crearon la dinámica del universo.

No obstante, tampoco desde este punto de vista, la teoría geocéntrica era falsa. Sabemos que, de la misma manera, en la dinámica moderna no existen sistemas privilegiados por la naturaleza. También hoy nos está permitido elegir la Tierra como punto de referencia y estructurar una dinámica en este sistema, pese a lo que sostuvo Newton, lo cual, por otra parte, ha dejado de ser justo. Haciéndolo[^] no cometeríamos error alguno, tropezaríamos únicamente con mayor cantidad de problemas y dificultades matemáticas que en el caso del sistema referido al Sol.

Pero a la luz de la mecánica newtoniana, la opción por el sistema geocéntrico era una especie de pecado, porque tal sistema no estaba privilegiado por la naturaleza; no era un sistema inercial, en reposo. El Sol, en cambio, se aproximaba mucho a aquel ideal newtoniano en el que regían las leyes de la mecánica clásica concebidas por el sabio inglés. Actualmente la noción de sistema inercial se ha vuelto anacrónica desde el punto de vista de la física, aunque sigue siendo una cómoda concepción metodológica, si bien de aplicación limitada.

En este relato acerca de la elección del sistema de referencia no me mueve, por supuesto, el deseo de hacer la apología del sistema

geocéntrico o de rehabilitarlo; por lo demás, este sistema no necesita rehabilitación alguna. Se trata solamente de formarse con respecto a esta cuestión un juicio moderno, de abandonar el juicio propio del siglo XVIII que dominó, y desgraciadamente domina aún, entre los legos en la materia, en la opinión pública general.

El modelo geocéntrico dificultaba el progreso de la teoría, no sólo debido a que el sistema de referencia adoptado era incómodo desde el punto de vista metodológico, sino también porque suponía únicamente movimientos uniformes de trayectoria circular. Cada vez que se descubría una nueva diferencia entre el movimiento planetario y la teoría, había que hacer valer tal descubrimiento agregando un nuevo círculo al mecanismo del universo.

Con el cielo ocurre hasta cierto punto lo mismo que con el reloj. La falta de precisión de su mecanismo no se manifiesta inmediatamente después de ponerlo en marcha. Sólo después de días y semanas estamos en condiciones de descubrir sus defectos. El modelo geocéntrico funcionó muy bien inmediatamente después de haber sido "puesto en marcha". Pero más tarde, durante la Edad Media y a principios de la Edad Moderna, la maquinaria del mundo empezó a ser anacrónica.

En el siglo xi, Jabir de Sevilla criticó seriamente el sistema geocéntrico, pero su crítica estuvo dirigida sobre todo contra los datos numéricos que describían este sistema y no produjo mayores cambios en la astronomía. Mucho más avanzada fue la crítica de Averroes de Córdoba, celeberrimo sabio llamado el Aristóteles árabe. Averroes analizó críticamente ambos sistemas geocéntricos, el de

Ptolomeo y el de Aristóteles, pero esto tampoco dio lugar a reforma alguna, aunque estimuló considerablemente las discusiones astronómicas.

En el siglo XIII, Alfonso X el Sabio, rey de Castilla y León, reunió a sesenta de los mejores astrónomos árabes y judíos, encomendándoles elaborar nuevamente todos los datos astronómicos conocidos hasta entonces. Como resultado surgieron las famosas Tablas Alfonsinas que proporcionaban numerosísimos datos, pero sin explicar por qué ciertas magnitudes anteriormente aceptadas habían sido sustituidas por otras. Al parecer, a los que confeccionaron estas tablas les movía más el afán de cumplir ejemplarmente la tarea encomendada por el gran monarca que el interés por conocer la realidad.

Aunque sería impropio decir que en el mundo árabe las ciencias florecieron en esa época, al menos no se marchitaban como ocurría en el mundo cristiano. En éste prácticamente todo se concentraba en torno de la astrología, cuya única contribución consistió en que se continuaran efectuando exactas observaciones astronómicas.

El comienzo de toda una época nueva, no sólo en la historia de la astronomía sino también en la de todas las ciencias, se debió sin duda alguna a la reforma copernicana traída —si se nos permite una expresión algo pomposa— por la violenta oleada del Renacimiento. A primera vista puede parecer incomprensible cómo en una época de renaciente culto a la ciencia antigua pudo surgir una idea destinada a cambiar a fondo la teoría cosmológica de los antiguos. Sin embargo es necesario recordar que el Renacimiento

representó ante todo el retorno al espíritu y al clima científico reinantes en los tiempos antiguos, a una visión del mundo libre de los prejuicios y limitaciones que se habían acumulado alrededor de la ciencia durante los largos años del Medioevo. El retorno a ese ambiente no implicaba, sin embargo, una ciega imitación de la ciencia antigua. Al contrario, el solo hecho de que en la Antigüedad hubiesen existido diferencias de opinión entre los astrónomos —me refiero sobre todo a la disputa entre Ptolomeo y Aristóteles— ofrecía un terreno ya abonado para emprender nuevas tentativas de reforma del universo. Tengamos presente que para derribar cualquier idea o concepción es indispensable conocerla a fondo, y esto fue posible sólo en la época del Renacimiento.

Precursores de Copérnico fueron dos sabios alemanes: Georg von Peurbach y su discípulo Johann Müller de Königsberg, conocido bajo el seudónimo de Regiomontano. Ambos vivieron y actuaron en el siglo XV, en la época del humanismo incipiente. Gracias a ellos, la teoría de Ptolomeo —conocida hasta entonces en forma osificada y dogmática— adquiere nuevamente carácter de teoría científica. Estos astrónomos, no satisfechos con la vieja traducción de las obras de Ptolomeo, empiezan a buscar el texto original y, tras encontrarlo, emprenden una nueva traducción. Paralelamente realizan una interpretación de la teoría ptolomeica aportando a ésta muchas ideas originales.

A pesar de esto, el geocentrismo seguía siendo una concepción anticuada del universo. En la astronomía continuaba reinando el caos, tanto más irritante cuanto que el creciente comercio con los

países de ultramar y el consiguiente desarrollo de la navegación planteaban ante los astrónomos cada vez mayores y más apremiantes exigencias. La astronomía geocéntrica no podía hacerles frente, como tampoco podía satisfacer ya las necesidades de los astrólogos.

En tiempos de Copérnico, Cristóbal Colón, con tres barcos mal equipados, descubre América. El Nuevo Mundo, hasta entonces región fabulosa, cubierta eternamente de nieblas venenosas y habitadas por monóculos cíclopes, se convierte súbitamente en una noción geográfica. La tierra, ente enigmático, lleno de elementos místicos y legendarios, se transforma en algo cabalmente concreto y real. Sin embargo, no es todavía un planeta, dado que su puesto central en el universo descarta esta idea.

El Nuevo Universo sigue aún sin descubrir. Continúa sometido a extrañas leyes que son una mezcla de especulaciones astronómicas antiguas y de dogmas y prejuicios medievales. Una mezcla de verdades y falsedades.

El descubrimiento del nuevo universo requería aun mayor perspicacia y valor —aunque de diferente índole— que las que tuvo Colón. Estas cualidades las poseía un modesto canónigo de Frombork, quien se autotitulaba “Nicolás Copérnico, el toruniense”. Sabemos, al menos a grandes rasgos, lo que Copérnico aportó a la astronomía: “Detuvo el Sol y movió la Tierra”, según la célebre frase. En términos de física moderna, intentó describir toda la cosmología con un nuevo sistema de referencia ligado al Sol. Este paso le permitió explicar muchos problemas difíciles y confusos y

simplificar notablemente toda la maquinaria del universo. Al hacerlo, tuvo que renunciar automáticamente a todo lo que desde el punto de vista de la geometría constituía la esencia misma del sistema geocéntrico y a la vez su cualidad principal: la aplicación astronómica del teorema de Fourier, cuestión que hemos mencionado anteriormente. En su condición de excelente matemático, Copérnico supo con toda seguridad valorar esta pérdida. Pero dio preferencia a la verdad intuitiva, a las realidades observadas, y no a las cualidades de la ciencia antigua.

A pesar de esto no supo romper del todo con esta ciencia, y siguió persuadido equivocadamente de que los movimientos de los cuerpos celestes debían ser necesariamente uniformes y circulares. Esta convicción la puso de manifiesto en su sistema, mutilándolo en cierto sentido. Lo decimos porque en todos los casos donde el carácter elíptico de las órbitas se hacía perceptible —por lo que se refiere a la exactitud de las observaciones astronómicas—, Copérnico tuvo que agregar epiciclos o bien complicar su sistema trasladando del Sol a un punto vecino el centro de las órbitas. En consecuencia, el sistema de Copérnico no fue tan simple como a veces nos lo imaginamos, dado que comprendía alrededor de 40 círculos de diferente tamaño. Para eliminar estos vestigios del sistema antiguo fueron necesarios muchos años de ardua y fatigosa labor de Juan Kepler, quien investigó el movimiento de Marte apoyándose en los resultados de largos años de observación de su maestro Tycho Brahe.

Lo nuevo en el sistema copernicano fue sobre todo el hecho de que la Tierra perdió su puesto central, llegando a ser uno de los planetas. Ese destronamiento de la Tierra tuvo enormes consecuencias filosóficas.

De esa manera, cambia fundamentalmente el papel del hombre, tan destacado en la astronomía antigua. Desde entonces, el Gran Solitario del Universo deja de serlo. El habitante de un planeta entre muchos no puede ya pretender un papel preeminente en el cosmos. Y el sentido común le sugiere la idea de que también en otros planetas pueden existir seres más o menos semejantes a él. De este modo, la idea de la mayor o menor significación de tal o cual ente de la naturaleza deja de tener sentido. En la naturaleza, todo está sometido a las mismas leyes; la misma ley rige el movimiento de la Tierra y el de la piedra arrojada por un pillo contra una ventana. Y aunque el movimiento de la Tierra sea diferente del de la piedra que rompe el cristal de la ventana, eso no tiene importancia alguna.

Es difícil juzgar si Copérnico, al privar a la Tierra de su estado de inmovilidad, pudo prever hasta qué punto su acción iba a cambiar las concepciones filosóficas de la humanidad. La ausencia de toda mención acerca de ello en los escritos de Copérnico no es prueba de que el astrónomo ignorase las posibles consecuencias de su teoría en esta materia. Copérnico fue excepcionalmente parco en el hablar y prudente en todas sus enunciaciones, tanto más en el campo de la filosofía que no era el de su competencia directa. Por eso, esta cuestión seguirá siendo uno de las tantas Incógnitas de la Historia.

La teoría del canónigo de Frombork concedió, como sabemos, un papel excepcional al Sol, conviniéndolo en el cuerpo central de nuestro sistema planetario. No obstante, poco después se comprendió que la posición central del Sol en nuestro sistema no implicaba una posición relevante en el cosmos. Lo supone ya Giordano Bruno, pocas décadas después de la muerte de Copérnico. El hecho de que el Sol sea el cuerpo central de nuestro sistema planetario se debe, como lo sabemos hoy, única y exclusivamente, a que posee una masa enorme en comparación con la de los planetas, y nada más.

¿Por qué vía llegan los genios a sus asombrosos descubrimientos? Esto, seguramente, nunca lo comprenderemos por completo. Menos aún en el caso de Copérnico que, como hemos dicho, fue un hombre extraordinariamente reservado, sobre todo en lo que se refería a su propia persona. Pero hay un pasaje en *De revolutionibus* que merece particular mención en este contexto. Es aquel donde Copérnico explica por qué considera su orden del mundo más justo que el orden geocéntrico. Porque a su juicio, los astrónomos antiguos... “en el curso de sus especulaciones llamadas método omitían o bien incluían algo que era extraño y ajeno a la materia, cosa que no habría ocurrido si se hubiesen atendido a firmes principios; si las hipótesis utilizadas por ellos no hubiesen sido equivocadas, todo lo que se desprendía de ellas se habría comprobado”...

Un discípulo de Copérnico, Georg Joachim Rheticus, continuando en cierto modo la idea de su maestro, expresa:

“Aristóteles dijo que la verdad superior- es aquella cuyas consecuencias son a su vez verdaderas. De acuerdo con esto, mi maestro utilizó hipótesis que fueran capaces de confirmar la exactitud de las observaciones de los siglos pasados y que, según esperamos, servirán en el futuro de base para predicciones verídicas de todos los fenómenos astronómicos...”

Ni la conformidad con las opiniones filosóficas existentes, ni la conformidad con el llamado sentido común pueden constituir criterios de verdad en una teoría científica. Los únicos criterios admisibles en esta materia son la conformidad con la observación y la posibilidad de hacer predicciones correctas.

La teoría heliocéntrica se ajustaba sin duda a estos criterios; más aún, orientó a la astronomía, e indirectamente a otras ciencias, hacia los cauces apropiados - de desarrollo, librándolas de trabas filosóficas y religiosas que les eran totalmente ajenas. Merecía, por lo tanto, plenamente aquel calificativo aristotélico de “verdad superior”, que Copérnico, sin embargo, nunca empleó. No porque no se diese cuenta de lo correcto de sus especulaciones o de la importancia de éstas, sino simplemente porque, con toda seguridad, era demasiado modesto para ello.

Pero volvamos al terreno de la astronomía. La obra de Copérnico contiene la intuición de cierto principio que niega el concepto de lo absoluto en física y astronomía, y que sigue siendo de capital importancia en la ciencia moderna. Me refiero al principio de la relatividad que, en lo que respecta al movimiento, fue formulado por Galileo cien años después de la muerte de Copérnico. En otros

campos de la física, este principio comienza a introducirse apenas en el siglo XX, pero en realidad la obra de “relativización” de toda la física no está aún terminada.

Como ya hemos dicho, Copérnico fue el primero en la historia de la ciencia que trasladó el sistema de referencia de un punto a otro y supo prever todas las consecuencias cinemáticas de este paso. Procuraré explicar este principio a los lectores menos familiarizados con la física mediante el sencillo ejemplo del pasajero que, viajando en un vagón —con paredes transparentes—, lanza una pelota hacia el techo. El movimiento de la pelota, tal como lo ve el pasajero, es rectilíneo; es decir: su trayectoria es un segmento de recta vertical que desde su mano llega hasta el techo. Pero el jefe de la estación, por la que pasa el tren, ve los puntos de esa recta en lugares que se van desplazando horizontalmente con el movimiento del tren, de manera que para el jefe de la estación la trayectoria de la pelota ya no es rectilínea sino curvilínea.

Una tercera persona que observara este movimiento desde la superficie de la Luna, nos proporcionaría otra descripción más de la trayectoria de la pelota. Y lo que es más importante, cada una de las tres descripciones sería completamente correcta y válida.

Alguien podría decir que la descripción del pasajero es la “mejor”, dado que en su sistema el movimiento se deja describir de la manera más sencilla. En este sistema el movimiento es rectilíneo, mientras que en cualquier otro es curvilíneo. Pues bien, esta descripción será la mejor pero únicamente desde nuestro punto de vista, específicamente humano. Pero la naturaleza no está hecha a

imagen y semejanza del pensar humano y por eso todas las descripciones del movimiento son perfectamente equiparables. De esto se desprende que el movimiento es un concepto relativo, que depende del comportamiento del observador con respecto al objeto que se mueve.

Copérnico no fue, por cierto, el descubridor del principio de la relatividad del movimiento en el sentido moderno de este término, pero fue incuestionablemente un precursor en este campo y, además, el primero en haber llevado a cabo la operación mental consistente en trasladar el sistema de coordenadas de un cuerpo a otro.

“Cada movimiento observado es resultado del movimiento del cuerpo observado o del observador, o bien del movimiento desigual de ambos”, dice Copérnico en *De revolutionibus*, y acto seguido cita el inmortal poema de Virgilio: “Cuando nos alejamos de la orilla, la tierra y las ciudades huyen de nosotros”. (*De revolutionibus*, I, 8.)

Y sigue diciendo:

“... Porque en el barco que navega en mar tranquilo, los marineros ven desplazarse todos los objetos situados fuera de él, a semejanza del movimiento que ellos mismos efectúan. Y los propios marineros suponen que están en reposo junto con todo lo que se halla en el barco.

“.. .La Tierra es el lugar desde el cual observamos la bóveda celeste y desde el cual ésta es accesible a nuestra vista. Si admitimos que la Tierra está dotada de movimiento en las partes exteriores del cosmos descubrimos este movimiento como movimiento en

dirección contraria, como si pasara la Tierra de largo. Tal es, sobre todo, la revolución diaria del cielo. Nos parece que este movimiento arrastra a todo el universo en su conjunto, a excepción de la Tierra y lo que se encuentra sobre ella. Pero si suponemos que el cielo no posee este movimiento, sino que es la Tierra la que gira de Occidente a Oriente, toda persona que haya reflexionado más seriamente acerca de los fenómenos de la salida y la puesta del Sol, la Luna y las estrellas, se convencerá de que esto es lo que ocurre en la realidad...”

Y nuevamente una cita, esta vez de Cicerón: “...Cuando nos movemos juntamente con la Tierra, el Sol y la Luna pasan en dirección opuesta y las estrellas sucesivamente salen y se ponen”.

Luego agrega “de su parte”: “Todo movimiento advertido en el firmamento no procede del firmamento mismo sino del movimiento de la Tierra. Luego, la Tierra junto con los elementos más próximos (se refiere seguramente a la atmósfera terrestre) efectúa una revolución diaria en sus invariables polos, mientras que el firmamento junto con el cielo más elevado queda inmóvil... Agregaré todavía que parecería bastante desrazonable atribuir el movimiento al cuerpo envolvente y continente y no al cuerpo envuelto y contenido cual es la Tierra...”

Si lo que gira alrededor del eje es realmente la Tierra y no el cielo, el movimiento diario de las estrellas observado por nosotros es un movimiento relativo, resultante de la rotación de la Tierra. En este caso, el movimiento de las estrellas tiene que ser el mismo, independientemente de como las distribuyamos en el espacio: sobre

la superficie de una esfera o de cualquier otra forma. En ambos casos su movimiento observado desde la Tierra será el mismo: una revolución cada 24 horas. A la luz de este sencillo razonamiento, la esfera de las estrellas fijas se convierte en un ente completamente ficticio.

No sabemos si Copérnico razonó de esta forma. De todos modos, la esfera de las estrellas fijas permaneció en su sistema: una herencia más de la astronomía antigua y una prueba más de hasta qué punto estuvo Copérnico cautivado por su maestro, Ptolomeo, a pesar de que derribó su sistema. Parece, sin embargo, que estuvo muy cerca de echar por tierra la esfera de las estrellas fijas. En *De revolutionibus* (I, 8) cita una frase de Aristóteles, bastante manida por cierto, pero que en este contexto cobra sentido:

“Lo que es infinito no puede pasar junto a nosotros, ni tampoco moverse de manera alguna.”

Pero como no dispone de pruebas directas, y puesto que era por naturaleza sobremanera prudente, agrega: “Dejemos a los trabajos de los fisiólogos —así se llamaba entonces a los filósofos naturalistas— la cuestión de si el mundo ha de ser limitado o infinito...”

De cualquier manera, la teoría de Copérnico abrió el camino que conducía directamente a la eliminación de la esfera de las estrellas fijas, la Cual, en efecto, desaparecería muy pronto de las especulaciones astronómicas. Y así fue como, por obra de Copérnico, la humanidad se encontró en el enorme e ilimitado universo de la astronomía moderna.

Si se aceptó el principio de la relatividad del movimiento con respecto a la Tierra y a la esfera de las estrellas fijas, evidentemente fue preciso servirse del mismo principio para explicar el movimiento de los planetas, o sea efectuar la operación que hemos presentado en los dibujos 1 y 2, pero en orden inverso: pasando del sistema geocéntrico al heliocéntrico. Copérnico llega por lo tanto a convencerse de que la Tierra, además del movimiento diario de rotación, debe estar dotada de otro movimiento: el movimiento anual sobre la órbita que el astrónomo creía circular y que en realidad poco se diferencia del círculo. Anotemos que la idea de este movimiento debió parecerles a los contemporáneos aun más audaz que la del movimiento de rotación.

De modo que la Tierra y todos los planetas giran alrededor del Sol describiendo círculos de diferentes radios, en lapsos también diferentes. Tal planteamiento explica inmediatamente muchas cuestiones oscuras e incomprensibles. Por ejemplo, el hecho de que dos de los planetas. Mercurio y Venus, se encuentren en el cielo siempre en la vecindad del Sol, mientras que otros se alejan de él a cualquier distancia (angular). También explica el hecho de que los movimientos sobre epiciclos de otros tres planetas, Marte, Júpiter y Saturno ostenten extrañas e incomprensibles similitudes: en cualquier momento, los radios que unen a estos planetas con los centros de sus epiciclos son paralelos uno a otro y asimismo paralelos a la línea Tierra-Sol. Además, esta manera de plantear el problema da cuenta del hecho de que la Luna tenga en sus fases creciente y menguante el mismo diámetro angular que la Luna llena

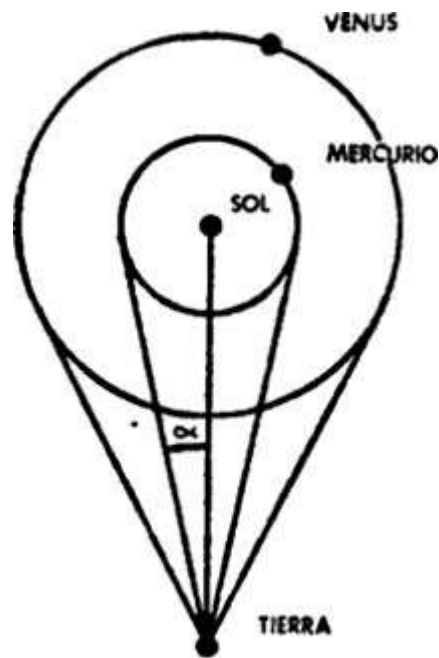
y la Luna nueva, lo cual está en desacuerdo con la teoría geocéntrica.

En el sistema heliocéntrico deja de ser necesario el complejo mecanismo de los epiciclos. En efecto, si la Tierra describe durante el año una circunferencia completa, este movimiento tiene que reflejarse en el movimiento de todos los cuerpos observables en el cielo, y por consiguiente, también en el de los planetas. Al movimiento de traslación que el planeta efectúa alrededor del Sol, hay que añadir por lo tanto el movimiento del observador, o sea el de la Tierra. De esta manera, el movimiento del planeta, tal como lo observamos en el cielo, se convierte en la suma de dos movimientos que en definitiva nos da aquel movimiento cuya trayectoria tiene la forma de un lazo conocido por los astrónomos desde mucho tiempo atrás y para explicar el cual los antiguos construyeron su sistema de epiciclos.

“Hemos encontrado, pues, en este sistema un asombroso orden del mundo y un nexo establecido y armónico entre el movimiento y la magnitud de las esferas, que es imposible encontrar de otra manera. (*De revolutionibus*, I, 10).

De modo que los planetas giran alrededor del Sol recorriendo órbitas que Copérnico creyó circulares y que en realidad apenas se apartan del círculo. El más cercano al Sol, y el que posee por eso el movimiento más rápido, es Mercurio, llamado así por los antiguos justamente en razón de ser el más veloz. Más allá corre Venus con su hermosa luz blanca y brillante. Estos dos planetas, observados desde la Tierra, nunca se alejan mucho del Sol (como lo explica el

dibujo 4). Para Venus, el ángulo α (máxima distancia del Sol) es de unos 45° , y para Mercurio, de 15° . Ambos planetas son, por lo tanto, visibles poco después del atardecer o antes del amanecer, pero nunca a medianoche, puesto que el Sol se halla entonces muy debajo del horizonte. Por ello se los llamó estrellas vespertinas o matutinas. Este nombre se aplica comúnmente sólo a Venus, ya que Mercurio —debido a su gran proximidad al Sol— rarísimas veces es visible. La mayoría de la gente nunca ve a Mercurio.



Dibujo 4

Dice la leyenda que ni siquiera Copérnico tuvo en su vida ocasión de observar a Mercurio, aunque esto parece improbable si recordamos que nuestro astrónomo pasó muchos años en Italia donde las condiciones climáticas son incomparablemente mejores que junto a

la ensenada del Vístula, a la que menciona en su obra como lugar de sus observaciones en los años posteriores.

De un modo distinto se comportan los planetas exteriores: Marte, Júpiter y Saturno, llamados así porque sus órbitas son exteriores con respecto a la de la Tierra. Desde el punto de vista de la teoría de Copérnico resulta comprensible y lógica la propia división de los planetas en dos grupos, puesto que los divide la órbita de la Tierra. Los planetas exteriores, al describir sus lazos en el cielo, se mueven siempre más lentamente que el Sol, mientras que los interiores unas veces se adelantan y otras se retrasan con respecto a este último, lo que parecía incomprensible en la teoría geocéntrica.

Únicamente el movimiento de la Luna no sufrió mayores cambios: siguió girando alrededor de la Tierra "como sobre un pequeño epiciclo", según dice Copérnico. Pero la Luna, juntamente con la Tierra, gira alrededor del Sol, fenómeno que no figuraba en la teoría anterior. De modo que la Tierra y la Luna constituyen una especie de modelo reducido del Sistema Solar, algo así como un pequeño "subsistema".

Así se presenta, á grandes rasgos, la idea copernicana de la estructura heliocéntrica del mundo encerrado en la esfera de las estrellas fijas. ¿Tenía esta idea precursores? ¿Le corresponde a Copérnico la prioridad en el descubrimiento del nuevo universo? v

En las obras de Arquímedes y Plutarco encontramos en efecto, menciones acerca de que el famoso astrónomo griego Aristarco de Samos sostuvo que no era la Tierra sino el Sol el que ocupaba el centro del universo. Estas menciones merecen confianza a todas

luces, especialmente la mención de Arquímedes, contemporáneo de Aristarco, y en cierto sentido, joven colega suyo. Arquímedes dice que Aristarco "... suponía que las estrellas fijas y el Sol eran Inmóviles y la Tierra, en cambio, giraba sobre un círculo alrededor del Sol".

Fuera de estas menciones no hay en parte alguna, indicios de idea heliocéntrica, tampoco en los escritos del propio Aristarco de Samos quien dejó una extensa obra astronómica titulada "De las dimensiones y distancias del Sol y la Luna". En esta obra la idea heliocéntrica no aparece en absoluto.

Todo esto significa que Copérnico no pudo recoger sobre ella más Información que la contenida en aquella mención. Es incluso muy probable que ni siquiera haya leído esta última, pues, de lo contrario, la habría citado en *De revolutionibus* donde, para defenderse de futuros reproches, enumera a todos —por lo demás, contados— astrónomos de la Antigüedad que expresaron en sus obras ciertas dudas con respecto a la situación central de la Tierra en el universo. Figuran allí Filolao, Heráclides, Nicetas y Ecfanto, pero Aristarco brilla por su ausencia.

Pero no se trata de eso. Aunque Copérnico hubiese leído aquella mención sobre Aristarco de Samos, la situación no habría cambiado. Una frase leída no puede convertir en genio a un hombre de pocas luces. Sólo a las personas que han tenido escasa relación con la ciencia les puede parecer que las grandes ideas se "pescan" en un libro casualmente leído o en una frase escuchada al pasar. El mecanismo del surgimiento de ideas nuevas es algo sumamente

complicado e inasible hasta para los propios creadores de esas ideas. Una cosa es segura: todo lo que proceda del exterior tiene que encontrar un terreno bien preparado en la mente del científico. Si no fuera así, todos los que viesan caer una manzana serían Newton. El terreno, en este caso, era indudablemente la ciencia antigua, independientemente de tal o cual doctrina predicada por los sabios griegos o egipcios. Es evidente que Copérnico estuvo imbuido de esta ciencia, lo que ya hemos señalado y a lo que aún habremos de volver.

Un asunto aparte es la falta de éxito de la idea de Aristarco de Samos en los tiempos en que éste vivió y actuó. Ignoramos los argumentos con los que este gran sabio apoyó su suposición, pero estamos convencidos de que presentó tales argumentos y de que éstos no eran fútiles ni mucho menos. Con todo, esas ideas no convencieron a los sabios antiguos y hasta podemos imaginarnos el porqué.

La astronomía antigua estuvo muy estrechamente ligada a la matemática. Por lo tanto, los modelos cosmológicos se evaluaban sobre todo desde el punto de vista de sus cualidades matemáticas. La teoría geocéntrica con su sistema de epiciclos era en aquella época algo tan perfecto en cuanto a la forma y tan claro en lo que atañe a las ideas, que sólo se la podía abandonar a cambio de algo que fuese matemáticamente mucho más perfecto. Y esto era algo que Aristarco de Samos no estaba en condiciones de proponer.

Tampoco podía proponerlo Copérnico, pero en sus tiempos reinaba ya otra atmósfera y otra ideología. La conformidad de la teoría con la

observación llegó a ser la consigna fundamental y el principal criterio de verdad. Fue justamente este criterio el que hizo más tarde que Kepler renunciase a las órbitas circulares, tan cómodas desde el punto de vista matemático. Este mismo criterio indujo a Galileo a efectuar decenas de experimentos y a observar durante años el Sol y las estrellas con ayuda de un anteojo, lo que habría de ocasionarle una pérdida parcial de la, visión. Sólo en este ambiente, las ideas del astrónomo polaco, apoyadas por una enorme documentación probatoria, pudieron determinar un cambio de rumbo, y esto de ningún modo menoscaba nuestra apreciación del ingenio y perspicacia de Aristarco.

Además de llevar a la práctica de una manera bastante consecuente el principio de la relatividad del movimiento —que, como hemos dicho, Copérnico nunca formuló—, nuestro sabio dio un paso más, de carácter indudablemente revolucionario, pero que pocos conocen, a excepción de los astrónomos. Se trata de la interpretación del fenómeno de la precesión, conocido desde los tiempos de Hiparco, pero que se explicaba como un movimiento de la esfera de las estrellas fijas. Más tarde se comenzó a pensar que este movimiento debía atribuirse a alguna esfera ulterior, introduciéndose en la astronomía la novena y aun la décima esferas. Copérnico, con todo acierto, atribuye este movimiento a la Tierra, cometiendo sin embargo un error que descubrirán fácilmente sus sucesores, Galileo y Kepler. Pero lo más importante para nosotros es la idea misma de trasladar el movimiento de la esfera de las estrellas fijas a la Tierra:

un argumento más en favor de la eliminación de esa esfera, la cual, en efecto- poco después desaparecería de los tratados astronómicos. Con esto se relaciona otra cuestión de gran importancia, no sólo para la astronomía. Los antiguos, al tratar la esfera de las estrellas fijas como un sistema en movimiento —a causa de la precesión—, no podían referir a ella sus observaciones; en otras palabras, no podían tratarla como sistema de referencia. Esta circunstancia los afirmaba más aún en su convicción de que el único sistema de referencia posible era la Tierra. Y fue así como se eligió el punto equinoccial, y no una estrella, para establecer la dirección de uno de los ejes. Como sabemos, la posición del punto equinoccial está ligada a la posición de la Tierra, y no a la de las estrellas.

Al advertir el movimiento del punto equinoccial, como resultado de la precesión, Copérnico descubre el sistema de coordenadas propio de la astronomía, sistema basado en las estrellas o, utilizando un lenguaje más moderno, en la posición media de muchas estrellas. “. . . No es la posición de las estrellas la que debe referirse al punto equinoccial, o sea a un lugar que cambia con el correr del tiempo, sino que, por el contrario, la posición del punto equinoccial debe referirse a la esfera de las estrellas...”

Por obra de Copérnico los astrónomos empiezan a servirse de un sistema de referencia, llamado luego de Galileo, que desempeña un papel importantísimo también en la Física. Es un sistema verdaderamente “universal”, dado que excluye por completo los problemas de nuestro sistema planetario de las especulaciones sobre la totalidad del Universo. De este sistema nos servimos hasta

hoy, aunque tratamos de introducir en él ciertas modificaciones, reemplazando las estrellas por galaxias muy lejanas.

De acuerdo con la teoría heliocéntrica, la Tierra se mueve alrededor del Sol recorriendo una órbita que Copérnico creyó circular y cuya forma en realidad no difiere mucho de la de un círculo. Este movimiento, según lo había vislumbrado el genio de Aristóteles y según lo sostuvo Copérnico, debería "reflejarse" en todos los cuerpos celestes, es decir también en las estrellas. Cada estrella debería describir en el cielo, durante el año, una elipse mayor o menor, según fuese la distancia entre la estrella y el Sol. Las observaciones de los antiguos no habían revelado este movimiento, lo que determinó que Aristóteles se apartase de toda hipótesis heliocéntrica. Copérnico interpreta este fracaso de otra manera, totalmente acorde con la realidad:

"...Y si no percibimos nada parecido en las estrellas fijas, esto prueba que ellas se encuentran a Inconmensurable altura encima de nosotros, haciendo que la órbita de su movimiento anual, o más bien su imagen, desaparezca de nuestra vista, puesto que para cada objeto visible hay una magnitud de alejamiento a partir de la cual éste se torna imperceptible. (Hoy diríamos simplemente que, a partir de cierta dimensión angular, cada objeto se convierte en punto.) Porque del hecho de que aun del planeta más alto, Saturno, sea enorme la distancia hasta la esfera de las estrellas fijas, nos convence su luz titilante. Eso es lo que más las distingue de los planetas, y es también lo que constituye la mayor diferencia entre los cuerpos en movimiento y los inmóviles. ¡En verdad, es enorme

esta divina obra maestra del Óptimo y Supremo Ser!" (*De revolutionibus*, I, 10).

Agreguemos un pequeño comentario a este pasaje que concluye de un modo tan enfático aunque el contenido no lo sea. El titileo y la luminosidad invariable de un objeto que se encuentra fuera de la atmósfera terrestre no dependen de manera alguna de la distancia que lo separa de nosotros, sino única y exclusivamente de su dimensión angular. Si Marte o Venus tuviesen muy reducidas dimensiones lineales, y por lo tanto angulares, sus imágenes titilarían a semejanza de las estrellas. Los diámetros angulares de los mayores planetas son del orden de una décima de minuto, lo que no determina que a simple vista el planeta se vea como un disco, pero basta para reducir notablemente el titileo. Los diámetros angulares de las estrellas son incomparablemente más reducidos, por debajo de una centésima de segundo, y por ello su luz titila fuertemente, en especial cuando la atmósfera está agitada.

Pero volvamos al fenómeno de la traslación anual de las estrellas en el cielo, resultante del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, fenómeno al que los astrónomos dieron luego el nombre de paralaje.

Los astrónomos, no bien se hubieron familiarizado con los trabajos de Copérnico, pusieron manos a la obra esperando descubrir el fenómeno de la paralaje, lo que podía proporcionar la prueba más clara y convincente en favor de la teoría copernicana. Pero las primeras décadas no trajeron resultado alguno. Este hecho podía interpretarse de dos maneras. O bien como una prueba en contra de

la teoría heliocéntrica, tal como lo hizo el célebre Tycho Brahe, quien creó una concepción propia del universo que era una especie de término medio entre la teoría copernicana y la geocéntrica. O bien darle la razón a Copérnico reconociendo que las estrellas se encuentran a demasiada distancia de nosotros, más lejos de lo que se suponía en la Antigüedad. Esta segunda interpretación fue aceptada por la mayoría de los astrónomos postcopernicanos, quienes por esta razón —entre otras— se esforzaron por aumentar la precisión de las observaciones. No obstante, los fracasos seguían repitiéndose, probando una y otra vez que las distancias a las estrellas eran aún mayores de lo que se suponía antes.

De esta forma, las dimensiones del universo crecían con cada intento fracasado de medir la paralaje de las estrellas.

Durante estas observaciones se descubrían cosas nuevas y sorprendentes, de mucha mayor importancia para la astronomía que el objeto directo de la observación. Es así como Bradley descubre el fenómeno de la aberración de la luz que demuestra a las claras que la velocidad de propagación de ésta en el espacio es finita, y constituye una prueba mejor que la paralaje en favor de la teoría heliocéntrica. Las observaciones de la aberración de la luz de las estrellas proporcionaron también la posibilidad de medir la velocidad del movimiento de traslación de la Tierra y la distancia entre la Tierra y el Sol.

Luego William Herschel descubre el movimiento orbital de las estrellas dobles, aunque el objeto de sus observaciones sigue siendo la paralaje. El descubrimiento de Herschel confirmó la validez de la

ley de la gravitación universal a grandes distancias del Sol y la Tierra, lo que tuvo enorme importancia para afianzar el juicio acerca de la universalidad de las leyes de la naturaleza.

Sólo a principios del siglo XIX, o sea dos siglos y medio después de la muerte del creador de la teoría heliocéntrica, los astrónomos logran medir la paralaje de algunas de las estrellas más próximas. El éxito sobreviene cuando nadie abriga ya la menor duda de que la teoría copernicana es justa y cuando esta teoría ha sido desarrollada y perfeccionada gracias a Kepler, Galileo y Newton. Con todo, la medición de la paralaje de las estrellas dio a los astrónomos un método para establecer sus distancias, el cual constituye hasta hoy la base de todas las mediciones lineales en el medio que nos rodea, próximo y distante.

Desde esa época la astronomía ha cambiado mucho. Pero también es mucho lo que ha quedado de las teorías antiguas. Entre otras cosas, el hecho de que también hoy consideremos como criterio fundamental de verdad en cualquier teoría su conformidad con la observación, tal como lo enseñaba en su tiempo el solitario astrónomo de la torre de Frombork.

La publicación de *De revolutionibus* coincidió con la muerte de su autor. Esa obra marcó el fin de la larga y agitada vida de Copérnico y dio comienzo a su drama, que en realidad dura hasta hoy. Es cierto que la idea heliocéntrica es generalmente aceptada en la actualidad y que se ha vuelto una perogrullada, una trivialidad de la que resulta difícil hablar sin aburrimiento. Pero lo que constituyó el verdadero drama de Copérnico, la oculta y permanente lucha por

una nueva visión del mundo y por una vida acorde con semejante visión, sigue siendo el mismo que se manifiesta en las agudas tensiones y luchas del mundo de nuestros días. Por eso vale la pena, al menos de tanto en tanto, volver el pensamiento a las épocas lejanas y a las figuras un poco olvidadas de los grandes sabios que en este mundo han vivido, para quitarles el polvo y ver en sus rasgos huellas de anhelos y pasiones tan semejantes a los nuestros, para recordar sucesos que nunca se repetirán y que sin embargo acontecen y seguirán aconteciendo...

Capítulo 5

De Copérnico a Einstein

Leopold Infeld

A obra de Nicolás Copérnico marca no sólo el comienzo de la astronomía moderna, sino también el de la rienda contemporánea sobre el Universo y la Naturaleza. La noción de que existen leyes que rigen a la Naturaleza se ha ido formando a través del estudio del cielo, de los movimientos del Sol, las estrellas y los planetas, puesto que es allí donde las regularidades son más evidentes.

La historia del conocimiento humano nos enseña que lo más difícil es dar el primer paso. En el conocimiento del universo, Copérnico dio ese primer paso, el más difícil y el de mayor trascendencia. Transportó el sistema de referencia de la Tierra al Sol, proclamó al mundo que los planetas giran alrededor del Sol y no de la Tierra. Hoy somos capaces de internarnos muy lejos en el universo, podemos trasladarnos mentalmente no sólo de la Tierra al Sol, sino también del Sol a otras estrellas, de éstas al centro de nuestra galaxia y de allí a las nebulosas más lejanas. En esta peregrinación por el universo, en la que podemos salvar con la mente millones de años luz, el primer paso, el más difícil —como hemos dicho— fue dado por Copérnico.

En el siglo XVI, cuando la humanidad parece despertar de un largo sueño, cuando en Italia impera el Renacimiento, pesan todavía sobre el pensamiento científico los prejuicios del mundo antiguo y la Ignorancia del Medioevo. Afirmar que la Tierra y los otros planetas

se mueven alrededor del Sol requería fantasía imaginativa, audacia científica y —como luego se hizo evidente— enorme valentía personal.

El propósito de este ensayo es presentar la Influencia de Copérnico sobre el desarrollo posterior de la ciencia, y en primer lugar sobre la Mecánica y la teoría de la gravitación. Pretende mostrar cómo las ideas de los siglos posteriores tienen su punto de partida en las ideas de Copérnico; y mientras unas se van distanciando, otras vuelven a la fuente que las vio nacer. Por supuesto, señalaré sólo algunos puntos esenciales en esa línea de desarrollo, aquellos que considero verdaderamente importantes.- Nos encontraremos solamente con unos pocos nombres: Kepler, Galileo, Newton y Einstein. Estos son los hitos fundamentales en el camino que nos llevará de Copérnico a la teoría de la gravitación de nuestros días.

En la época en que vivió Copérnico, la Antigüedad había transmitido al mundo dos principios: primero, que la Tierra está en reposo y todos los planetas giran alrededor de ella; segundo, que el movimiento más perfecto es el movimiento circular uniforme. Es interesante anotar que el pensamiento revolucionario de Copérnico libraría a la ciencia del primer prejuicio, pero no del segundo.

Preguntémonos cómo demostró Copérnico que es la Tierra la que se mueve y no el Sol. Situémonos en la posición de un físico del siglo XIX y reflexionemos cuál sería desde su punto de vista la prueba que requerimos. Nuestro físico razonaría de la siguiente manera: "Sabemos que la Tierra realiza dos movimientos. Uno de ellos, que dura 24 horas, es el movimiento alrededor de su eje. Deseamos

demostrar que debemos la sucesión del día y la noche a este movimiento y no al movimiento del Sol. El Sol se levanta en el Este y se pone en el Oeste. En consecuencia, la Tierra debe girar del Oeste al Este. Arrojemos verticalmente una piedra desde lo alto de una torre. La piedra participa en el movimiento de rotación de la Tierra. Por lo tanto, su velocidad en dirección Oeste-Este será mayor que su velocidad sobre la tierra. En virtud del principio de inercia esta piedra conserva su velocidad. Por ende, al caer sobre la tierra se desviará hacia el Este. Es decir que su trayectoria no será una línea recta, sino una línea ligeramente desviada hacia el Este". Analicemos este razonamiento. Notamos que se apoya en el principio de inercia, desconocido a comienzos del siglo XVI, aunque lo haya presentado Leonardo da Vinci, contemporáneo de Copérnico. Suponiendo que Copérnico hubiera logrado efectuar semejante experimento, habría comprobado el principio de inercia, es decir el hecho de que la Tierra gira alrededor del Sol. Pero tal prueba tendría sentido únicamente en el marco de la dinámica conocida por un físico del siglo XIX, gracias a los trabajos de Galileo y de Newton.

¿Cómo descubrir experimentalmente el movimiento anual? La respuesta es sencilla. Imaginémonos dos estrellas, una cercana a la Tierra, y otra más lejana. El primero de junio —pongamos por caso— medimos el ángulo entre estas dos estrellas. Lo volvemos a medir el primero de diciembre. El ángulo deberá cambiar debido al movimiento de la Tierra sobre la eclíptica. Esta sería una buena prueba de que el cuerpo en movimiento es la Tierra y no el Sol. Copérnico buscó la manera de comprobar este fenómeno, pero no

tuvo éxito en sus intentos. No obstante, estuvo tan firmemente convencido de que la Tierra se mueve, que llegó a la conclusión de que las estrellas se hallan demasiado lejos para poder descubrir este fenómeno. Efectivamente, con ayuda de los primitivos instrumentos de que disponía el modesto canónigo, era imposible percibir tal fenómeno.

A Copérnico le quedaba pues un solo argumento: El de que su hipótesis del movimiento de la Tierra era más simple que la hipótesis geocéntrica. En particular, más simple en relación con la descripción del movimiento de dos planetas: Mercurio y Venus.

En el ámbito de la ciencia nos encontramos a menudo con dos hipótesis que entran en competencia. Un ejemplo clásico son las dos hipótesis relativas a la luz: la de Huygens y la de Newton. Para Huygens la propagación de la luz consistía en un movimiento ondulatorio en el éter; para Newton se trataba del movimiento de imponderables corpúsculos luminíferos. Dos teorías, cada una de las cuales describía satisfactoriamente los fenómenos de la luz conocidos hasta entonces. Inicialmente, triunfó la teoría newtoniana gracias al formidable prestigio científico de su autor, aunque ella explicaba los fenómenos conocidos de un modo más complicado que la teoría de Huygens. Pero más tarde se descubrió la interferencia luminosa, de la que sólo podía dar cuenta la teoría de Huygens. Y así vemos al físico del siglo XIX rechazar la teoría de Newton y aceptar la de Huygens. No compliquemos esta sencilla y aleccionadora historia prolongándola hasta el siglo XX.

Una suerte similar corrió la teoría de Copérnico. En este caso, el factor decisivo fue la autoridad de la Iglesia que consideraba que la teología da la razón al sistema geocéntrico. No obstante, también en este caso, el número cada vez mayor de fenómenos explicables únicamente mediante la teoría copernicana, obligó a los astrónomos del siglo XVIII a aceptarla en todo el mundo.

En tanto en el siglo XVI ambas teorías eran aceptables, hoy la teoría geocéntrica parece absurda, aun a aquellos que nada saben de la paralaje ni de la desviación hacia el Este de la piedra que cae. Simplemente hemos sido educados en un clima heliocéntrico, como nuestros antepasados lo fueron en un clima geocéntrico. De allí la admiración que merecen los hombres que supieron romper los viejos prejuicios.

De revolutionibus... está provisto de un prefacio de Osiander, no autorizado por Copérnico, lo que dio motivo a que muchos autores lanzasen contra aquél toda clase de imprecaciones. Podemos comprender esta indignación, pero contrariamente a muchas opiniones al respecto, el prefacio en cuestión nos parece bastante razonable. Se criticó a Osiander por haber presentado la teoría de Copérnico como una de las hipótesis posibles, que tiene la ventaja de ser más sencilla que otras. Copérnico, en cambio, estaba convencido de que la Tierra realmente está dotada de movimiento. Pero en el siglo XVI ésta no era sino una disputa sobre el significado de las palabras. Todo hombre de ciencia, al plantear una hipótesis nueva, cree que ésta representa la realidad que nos rodea. El hecho mismo de que la Tierra no es inmóvil, fue descubierto sólo en el

curso posterior del desarrollo de la rienda. No podemos conciliar la paralaje de las estrellas, y la desviación hacia el Este de la piedra arrojada verticalmente, con la teoría geocéntrica. Pero no nos adelantemos a la época. Copérnico pensaba que los planetas giraban alrededor del Sol con movimientos uniformes, describiendo órbitas circulares. Desde el punto de vista de nuestra época parece más fácil librarse del prejuicio de que los planetas describen órbitas circulares que del prejuicio de que la Tierra constituye el centro del universo: Debido a aquel concepto para adecuar su teoría a las observaciones. Copérnico tuvo que restarle mucha de su belleza, introduciendo los movimientos epicíclicos. Debieron transcurrir 80 años para que la ciencia se despojase de la idea de que el movimiento de los planetas alrededor del Sol es uniforme y circular. El hombre que derribó este prejuicio se llamaba Johannes Kepler.

§. Johannes Kepler

Nació en el año 1571 en Wurttemberg y desde 1589 estudió en la Universidad de Tübingen donde conoció la teoría de Copérnico. Al principio pensó dedicarse al estudio de la teología luterana, pero felizmente para el desarrollo de la astronomía, aceptó en 1594 el puesto de profesor de matemática en Estiria y consagró el resto de su vida a la ciencia. No es éste el lugar para presentar en detalle su biografía, pero cabe recordar que tuvo una vida trágica, en permanente lucha contra la pobreza y basta la miseria, llena de problemas familiares, cuya única satisfacción, fue su fecunda labor científica. Kepler es una figura trágica, pero noble y generosa. En

sus escritos no se advierte la amargura del sabio cuya grandeza no saben apreciar sus contemporáneos.

En 1596 aparece su primera obra bajo el largo título de *Prodromus Disertationum Cosmographicarum continens Mysterium Cosmograpkicum*. Kepler fue uno de los muy contados astrónomos que salieron abiertamente en defensa de la teoría copernicana, y presentó una serie de razones para demostrar que la teoría de Copérnico era más valedera —es decir, más cómoda— que la de Ptolomeo.

Objeto de particular interés en toda su creación científica, fue el problema de las distancias entre los planetas y el Sol. Puesto que Kepler creía en Dios, se preguntaba con inquietud por qué Dios había elegido determinada disposición y no otra. Movidado por esta pasión religiosa, recorrió un sinfín de caminos errados, lanzando afirmaciones descabelladas desde el punto de vista de un físico moderno, para hallar hacia el fin de su vida la ley apropiada.

De este problema se ocupa en la obra de 1596. Kepler estaba convencido de la grandeza de su descubrimiento, en el que relaciona de una manera demencial las distancias planetarias con sólidos regulares. Tuvieron que transcurrir 22 años antes de que encontrarse la verdadera ley que rige estas distancias.

El segundo problema que lo ocupó, fue la forma de las órbitas planetarias. Por esa época las mediciones eran poco precisas, las más exactas fueron efectuadas entonces por Tycho Brahe, hombre de carácter difícil y despótico, quien alrededor de esta fecha —año 1600— abandonó su país natal, Dinamarca, para trasladarse a

Praga. Allí se refugió también Kepler, quien trabajó primero como ayudante de Tycho Brahe, para sucederle luego como "Matemático imperial".

Sobre la base de las observaciones llevadas a cabo por Tycho Brahe, Kepler aborda el problema de la forma de las órbitas en sus trabajos *Progymnasala* y *De stella Mariis*. Entre muchas afirmaciones carentes de todo interés, encontramos allí un auténtico hallazgo, aquello que habrá de llamarse la segunda ley de Kepler: los radios vectores de los planetas recorren áreas iguales en tiempos iguales. La ley no está enunciada en esta forma y Kepler en su razonamiento comete dos errores que se compensan. Cuando finalmente, tras largos años de investigación, llega a formular esta ley, dice: "Dios en su bondad nos ha dado un observador laborioso y exacto en la persona de Tycho Brahe, y así pues, es justo que con un corazón agradecido encontremos sobre este fundamento los verdaderos movimientos de los cuerpos celestes".

Kepler no conoce aún su primera ley y sigue imaginándose que el único movimiento posible es aquel que se ajusta a las circunferencias y epiciclos. Posteriormente, encuentra muchos puntos incompatibles con los datos proporcionados por la observación y concluye que las órbitas deben tener forma ovalada. Pero esta teoría tampoco es satisfactoria. Dice Kepler: "He despertado como de un sueño y he visto la luz..." De este modo nace la llamada primera ley de Kepler: Cada planeta describe una elipse, uno de cuyos focos ocupa el Sol. Es curioso que la segunda ley preceda históricamente a la primera. Esta es la que supera

definitivamente la influencia del pensamiento medieval y aristotélico a la que no escapó Copérnico, y que lo llevó a creer que el movimiento planetario puede asumir únicamente formas circulares. Finalmente, el tercer hallazgo. En el año 1619, en *Harmonices Mundi Libri*, Kepler resuelve el problema que ocupó su atención durante más de veinte años. La solución, formulada en términos modernos, es la siguiente: Los cubos de las distancias medias entre los planetas y el Sol divididos por los cuadrados de los tiempos de las revoluciones planetarias, son iguales para todos los planetas. Sólo tras realizar Infinidad de pruebas y cálculos pudo el astrónomo descubrir esta ley.

Kepler muere en la miseria en el año 1630, cuando ya ha liberado definitivamente a la Astronomía de los prejuicios medievales.

Toda persona que haya realizado un curso elemental de Física en la escuela media o en el primer año de la Universidad, conoce las tres leyes de Kepler. Al alumno que las aprende le parecen aburridas, dogmáticas y con un exceso de detalles Insignificantes. Si es así —y ciertamente lo es— esto se debe a que enseñamos mal, quitándole al alumno lo que es más importante: la capacidad de asombrarse. Todo descubrimiento científico tiene sus raíces en el pasado, mientras que, como un árbol, su copa se proyecta hacia el porvenir, o para emplear otra metáfora, es el eslabón de una cadena. Resulta imposible comprender su fundón sin vincular este eslabón con el que le precede —el pasado— y con el que le sigue, el futuro. Estas tres leyes, tal como las enunció Kepler, tienen una forma mucho más fresca y viva que la forma dogmática bajo la cual las

aprendemos en la escuela. Veamos con qué orgullo y desenfado habla Kepler de su descubrimiento, comprendiendo a carta cabal su grandeza e importancia: “La obra a la que he dedicado la mejor parte de mi vida trabajando con Tycho Brahe, verá finalmente la luz del día. Nada me retiene... La suerte está echada. El libro está escrito y me es indiferente que sea leído ahora o por la posteridad. Tal vez espere cien años al lector, pero Dios esperó seis mil años al observador”.

§. Algo sobre la dinámica kepleriana

La obra de Copérnico y de Kepler forma algo así como un período cerrado de desarrollo de la ciencia. En este período, tanto Copérnico como Kepler se ocupan en describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol. En efecto, la descripción de un movimiento constituye el primer paso en la historia del conocimiento. El segundo consiste en formular las leyes del movimiento, sobre la base de las cuales podemos deducir el movimiento mismo y su descripción. En una primera etapa de desarrollo de la ciencia describimos el movimiento, y en la segunda deducimos de las leyes de la Física el carácter de este movimiento. Por lo general, la descripción del movimiento no nos permite predecir el futuro de un sistema ni descubrir su *pasado*. Sólo las leyes nos dan esa posibilidad. La Mecánica, ciencia del movimiento y base de todas las ciencias naturales, suele dividirse en cinemática —que es como un capítulo introductorio a la Mecánica— y dinámica, que aborda las leyes que gobiernan el movimiento. Podemos decir que en el período

de Copérnico y Kepler, la rienda se circunscribe a la cinemática, es decir a la descripción del movimiento. En la Astronomía aparecen solamente conceptos cinemáticos y no dinámicos. El hecho de que en la Astronomía el solo enfoque cinemático, o sea la descripción del movimiento, baste para predecir los fenómenos, se debe únicamente a que los movimientos que describimos tienen carácter periódico, es decir, se repiten. Exclusivamente por ello la observación y la descripción de lo acontecido en el pasado nos permite prever el futuro.

En la Antigüedad —en la física aristotélica— se suponía que la velocidad guardaba relación con la fuerza; que un cuerpo se movía con tanta mayor velocidad cuanto mayor era la fuerza que actuaba sobre él. Un carro tirado por cuatro caballos, se pensaba, avanza a una velocidad dos veces mayor que uno tirado por dos.

Kepler no supo librarse de este error. Buscó la fuerza que actuaba en la dirección de la velocidad o sea en dirección tangente a la trayectoria. Esta fuerza —así lo juzga Kepler— es inversamente proporcional a la distancia y tiene algo que ver con el hecho de que la Tierra, al igual que todo planeta, sea un imán. Citaré en el idioma original lo que Kepler dice al respecto, puesto que es imposible reproducir su estilo:

“Für mein Person, sage ich, dass die Sternkugeln diese Art haben, dess sie a» eunem jeden Ort dess Himmels, da sie jedesmals angetroffen werden, stillsteben würden, wenn sie nicht getrieben werden salten. Sie werden aber getrieben per speciem immateriatam Solis, in gyrtim rapidissime circumactam. Item werden sie getrieben

von Ibrer selbst eygnen Magnetischen Krafft, durch welche sie einhalb der Sonnen zuschiffen, andertheUs von der Sontien binweg ziehlen. Die Sotm aber allein bat in Ihr selbst ein virtutem animale, durch welche sie informiert, liecht gemacht, und wie ein Kugel am Drabstock bestandiglich umbgetrieben wirdt, durch welchem Trieb sie auch Ihre speciem immateriatam ad extremitates usque mundi diffusam in gleicher Zeit berumb geben machí, und also animalis wirdt zu den himmlischen bewegungen nicht erfordert”.

Naturalmente —y otra vez desde el punto de vista de un físico del siglo XIX— esto no es una serie de sinsentidos. La humanidad tuvo que esperar aún 50 años para liberarse de las trabas de la dinámica aristotélica. Por entonces, gracias a Copérnico y Kepler, se había producido la liberación “cinemática”.

§. La cinemática de Copérnico y Kepler y la dinámica newtoniana

El enfoque dinámico del problema del movimiento de los cuerpos celestes empieza con Galileo y Newton. ¿En qué consiste este problema que encontrará una solución parcial en los trabajos de Galileo y una respuesta cabal en los de Newton? Imaginémonos tres planetas, Mercurio, Marte y Tierra, girando alrededor del Sol. ¿Cuáles son las fuerzas que obligan a estos planetas a realizar ese movimiento? La propia formulación de esta pregunta y también su respuesta sólo fueron posibles una vez que se hubo explicado la noción de aceleración y el hecho de que la fuerza está relacionada con la aceleración. Este hecho fue comprendido parcialmente por

Galileo —en el caso del movimiento uniformemente variado— y cabalmente por Newton.

Sólo después de dos mil años, gracias a los experimentos de Galileo y Newton, la ciencia pudo librarse de ese error, descubriendo que la magnitud proporcional a la fuerza no es la velocidad, sino la aceleración. He aquí el inicio de la Mecánica, el comienzo de la Física. Volvamos por un momento al problema copernicano, olvidándonos del descubrimiento de Kepler, e Imaginémosnos, tal como lo hizo

Copérnico, que un planeta —por ejemplo, la Tierra— gira con movimiento uniforme alrededor del Sol. Según las concepciones antiguas, la fuerza debería actuar en dirección tangencial a la circunferencia descrita por el planeta, o sea en la dirección de la velocidad. De igual modo, en el caso del movimiento elíptico la fuerza debería actuar en dirección tangencial con respecto a la elipse. Pero sabemos que en el movimiento circular uniforme la fuerza actúa en dirección hacia el centro del círculo. “Aceleración” no es en este caso un término feliz; se trata de que en el movimiento circular uniforme la velocidad cambia en cuanto vector porque varía su dirección, aunque no se modifica su valor absoluto. Si tenemos un movimiento uniforme rectilíneo, entonces o bien no hay fuerza, o bien todas las fuerzas operantes se anulan recíprocamente. No hay fuerza porque no hay aceleración, y la fuerza —de acuerdo con la ley de Newton— es proporcional a la aceleración. Pero cuando tenemos un movimiento de velocidad constante cuya trayectoria no es una recta sino una curva, tenemos aceleración y tenemos fuerza, porque

varía la velocidad y cambia su dirección, aunque no se altere su valor absoluto. Y es sólo en el siglo XVII, dentro de cuarenta años después de la muerte de Copérnico, cuando se comienza a comprender que la dirección de la fuerza debe estar de acuerdo con la dirección de la aceleración; que en el caso más sencillo del movimiento circular del planeta la fuerza actúa, no en dirección tangencial a la circunferencia, sino en dirección del radio que une al planeta con el Sol. En el caso del movimiento elíptico, la aceleración, y por lo tanto la fuerza, están orientadas hacia el Sol, siguiendo el vector que va del planeta al Sol. Tal como la piedra arrojada horizontalmente describe una trayectoria parabólica y no rectilínea, donde la dirección de la velocidad no coincide con la dirección de la fuerza, también en el caso del planeta la dirección de la velocidad no concuerda con la dirección de la fuerza. Efectivamente, sabemos que si lanzamos un cohete a una velocidad suficientemente grande podemos hacer de él un planeta artificial, no a pesar de la atracción de la Tierra, sino a causa de esta atracción y de la gran velocidad inicial en una dirección distinta a la de la gravedad.

Se precisaba una extraordinaria imaginación científica para comprender que el movimiento de la piedra que cae sobre la Tierra, el de la Luna alrededor de la Tierra, los de los planetas alrededor del Sol son gobernados por una sola ley: la ley de la gravitación universal. Dos cuerpos cualesquiera en el Universo se atraen con una fuerza proporcional al producto de sus masas e Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. La historia de la manzana cuya caída habría sugerido a Newton la idea de la

atracción universal es naturalmente un absurdo. En realidad, Newton reflexionó acerca de esta cuestión durante unos quince años, antes de poder comprobar su teoría sirviéndose del simple ejemplo del movimiento circular de la Luna alrededor de la Tierra. A menudo ocurre que la clara comprensión de una idea nace súbitamente, pero esto sólo sucede cuando ese momento es precedido por meses, y hasta años, de constante reflexión acerca del problema en cuestión.

La mecánica newtoniana arroja una nueva luz sobre el problema copernicano y kepleriano del movimiento planetario alrededor del Sol. Es entonces cuando nace la dinámica, la formulación de las leyes físicas que rigen ese movimiento. La deducción reemplaza a la descripción y constituye un nuevo paso de trascendental importancia en la historia del conocimiento.

Sobre la base de los principios de la dinámica de Newton, en la simple ley de la gravitación, formulamos las ecuaciones del movimiento para un planeta que gira alrededor del Sol. Estas son ecuaciones diferenciales de segundo orden. Las resolvemos y, por vía puramente matemática, obtenemos la conclusión de que los planetas giran alrededor del Sol describiendo elipses. De modo que la célebre primera ley de Kepler se transforma en una conclusión deducida a partir de los principios newtonianos. Pero no sólo aquí reside el gran triunfo de la teoría. Resulta que no solamente la primera, sino también la segunda y la tercera leyes de Kepler son consecuencias de la ley de Newton. La ley de Newton penetra mucho más profundamente en la estructura del universo que las leyes de

Kepler, dado que éstas pueden derivarse de aquélla. La realidad se torna de pronto sencilla para nosotros, aunque para comprenderla debemos dominar el arte de la deducción basado en la teoría de las ecuaciones diferenciales. A todo hombre de ciencia la realidad le parece Inteligible si a partir de supuestos sencillos puede deducir fenómenos nuevos, muchas veces complejos. La realidad parece simple pese a que la cadena deductiva es larga. A medida que se desarrolla la Física, esta cadena se va alargando incesantemente. La comprensión de este hecho es sumamente importante para entender el espíritu de la ciencia. Esto se verifica claramente en el caso de Kepler, de Newton y de su relación recíproca. Las leyes de Kepler nos parecen artificiales, incomprensibles, difíciles de memorizar. Kepler comprobó que los planetas describen trayectorias elípticas porque quiso ajustar las observaciones a alguna curva, y luego de muchos ensayos descubrió que esta curva es una elipse y que el Sol ocupa uno de sus focos, y no el centro como había creído antes. Las otras dos leyes de Kepler son aun más complejas y el astrónomo llegó a formularlas después de muchas y arduas pruebas. Todas estas leyes pueden deducirse de la teoría de Newton. Pero esto no es todo. Estas leyes constituyen apenas una primera aproximación. De la física newtoniana se deducen leyes más penetrantes, que describen mejor la realidad que las formuladas por Kepler. Este asunto también requiere una aclaración.

Newton formuló las leyes de la Mecánica en tres axiomas fundamentales cuya comprensión más profunda no es del todo

sencilla, aunque verbalmente los conozcamos de memoria desde la escuela secundaria. Además, formuló la ley de la gravitación.

Una de las dificultades esenciales que aparecen en la mecánica newtoniana es el concepto de sistema. Es preciso que le dediquemos algunas líneas a esta cuestión, ya que dicho concepto está relacionado por un lado con la teoría copernicana, y por otro, con el desarrollo de la ciencia. Si enunciamos alguna de las leyes de Newton, en seguida surge la pregunta: ¿a qué sistema se refiere esta ley? Veamos un ejemplo sencillo. Empujemos ligeramente una bolita sobre una superficie muy pareja. Sabemos que esta bolita se desplazará con un movimiento tanto más aproximado al uniforme cuanto menor sea el rozamiento. La conclusión de Newton de que esta bolita se desplazaría uniformemente si no actuase sobre ella ninguna fuerza, constituye en el fondo una idealización de la realidad. Pero imaginémosnos que efectuamos este mismo experimento en el piso de un tiovivo que gira rápidamente. En este caso, el resultado del experimento será distinto. La bolita “procurará” alejarse tanto como sea posible del punto fijo por el cual pasa el eje de revolución del tiovivo. Así pues, vemos que el primer axioma de Newton, el principio de la inercia, está referido a mi habitación pero no al tiovivo. Pero según Copérnico, la Tierra es un tiovivo, que gira alrededor de su eje en 24 horas y en un año alrededor del Sol. Preguntémosnos entonces dónde está el sistema al que se refieren las leyes de la dinámica newtoniana. Este sistema, con toda seguridad, no es el tiovivo, y por ende, tampoco lo es mi habitación, puesto que la Tierra —según dice Copérnico— también

da vueltas. Allí donde surge alguna nueva dificultad, aparece algún término nuevo; en este caso el término es “sistema de inercia”. Así denominamos al sistema al que están referidas las leyes de la dinámica. Llamemos sistema copernicano al referido al Sol; diremos que utilizamos el sistema copernicano cuando describamos el movimiento con referencia al Sol, cuando admitamos que el Sol está en reposo y que la Tierra gira alrededor de él. Del mismo modo, llamaremos sistema ptolomeico al sistema referido a la Tierra, o sea a aquel donde suponemos que la Tierra está en reposo y el Sol, juntamente con los otros planetas, giran alrededor de ella. La grandeza de la obra de Copérnico estriba en que éste, contra el juicio de todo el mundo científico y no científico, tuvo al valor de enunciar —y probar— que su sistema describe mejor nuestra realidad que el sistema ptolomeico; que el paso del sistema ptolomeico a su sistema constituye un importantísimo progreso en la historia del conocimiento. Muchos años después de su muerte, el mundo de la ciencia oficial, la iglesia Católica y la luterana estaba aún en contra de Copérnico. Es imposible apreciar la grandeza de éste sin conocer el clima científico que imperaba en su época.

Ahora bien, la mecánica newtoniana —obra de Galileo y de Newton— arroja una nueva luz sobre el carácter del descubrimiento de Copérnico. Utilizando la terminología que se ha formado después de Newton, y gradas a él, podemos decir que uno de los rasgos de grandeza de ese descubrimiento consiste en que Copérnico mostró que el sistema inercial y las leyes de la mecánica corresponden más bien al Sol y no a la Tierra. En efecto, si referimos al Sol el

movimiento de los planetas, y si aplicamos los principios de la mecánica y la ley de gravitación universal al sistema ligado al Sol, obtendremos como conclusión la ley de Kepler. Naturalmente, en muchos casos nos está permitido tomar la Tierra como sistema inercial, concretamente en aquellos casos y fenómenos para los cuales el movimiento giratorio de la Tierra tiene ínfima significación. Por ejemplo, cuando estudiamos la corriente eléctrica o el flujo de electrones. Pero, en el caso de los fenómenos gravitatorios, allí donde se trata de describir el movimiento de la Tierra, resulta que el sistema inercial es más bien el referido al Sol y no a la Tierra; que las leyes de la dinámica se refieren más bien al sistema copernicano que al ptolomeico.

He empleado varias veces la expresión "más bien". ¿Acaso el sistema copernicano no es exactamente un sistema inercial? La respuesta es negativa. El sistema copernicano no es aquel al que se refieren exactamente las leyes de la Mecánica.

Podría parecer entonces que la teoría newtoniana echa por tierra la teoría de Copérnico. Semejante conclusión sería prematura y superficial, aplicación de toda teoría tiene sus límites. A medida que se desarrolla la ciencia, cada teoría resulta ser sólo una aproximación que requiere cambios, a veces evolutivos, otras veces revolucionarios. La grandeza de la teoría de Copérnico consiste en que a partir de ella no hay regreso posible a la teoría de Ptolomeo, y en que —como lo demostró el devenir histórico— marcó un cambio esencial que señaló el curso del desarrollo posterior de la Física.

Un sistema mejor, más “inercial” que el referido al Sol, es el sistema referido al centro de masas de nuestro sistema planetario. Imaginémonos que existieran en el Universo nada más que dos cuerpos, de igual masa. El centro de sus masas se encuentra en el medio de la línea que une a estos dos cuerpos. En cambio, si una de las masas es mil veces mayor que la otra, el centro estará situado mil veces más cerca de la masa mayor. De igual modo existe un centro de masas de todo nuestro sistema solar. Este centro se encuentra en el Sol —si bien no en el centro propiamente dicho de éste—, puesto que la masa del Sol es muy grande con relación a la masa de los planetas. Ahora bien, de la mecánica de Newton, se deduce que es más el centro de masas, y no el centro del Sol, lo que constituye el sistema inercial. En otros términos: el sistema de referencia está ligado más bien al centro de masas que al centro del Sol. Hemos dicho anteriormente que las leyes de Kepler se desprenden de las de Newton como una primera aproximación. En efecto, la validez de las leyes de Kepler no es absoluta; ellas son válidas, con una gran aproximación, para nuestro sistema solar, debido a que la masa del Sol es mucho mayor que la de los planetas.

Detengámonos por un momento en este problema, enfocándolo desde otro punto de vista. Puesto que la masa del Sol es muy grande con relación a la de los planetas —y suponiendo que nuestro sistema contiene solamente al Sol y a los planetas—, podemos concebir el problema del movimiento de un planeta como problema de un cuerpo. Decimos que el Sol está en reposo y el planeta gira

alrededor de él describiendo una trayectoria elíptica. Podemos aceptar este supuesto porque el centro de masas está situado prácticamente en el centro del Sol. Pero supongamos que la masa del Sol sea apenas unas pocas veces mayor que la del planeta. Entonces, según la teoría newtoniana, debemos referir el movimiento al sistema ligado al centro de masas. En este caso, tanto el Sol como el planeta girarían describiendo elipses cuyos focos coincidirían con el centro de masas. Vemos entonces cómo cambia la primera ley de Kepler, lo mismo que las dos restantes. Por ende, el sistema vinculado al centro del Sol debe ser reemplazado por el sistema referido al centro de masas. Para abreviar, llamaremos sistema copernicano al sistema vinculado al centro de masas (y también al sistema vinculado con el centro del Sol, si damos por sentado que la masa del Sol es muy grande con relación a la masa del planeta).

El sistema copernicano es con toda seguridad más inercial que el ptolemeico. Pero el desarrollo de la Física hasta los tiempos de Newton, y sobre todo la de épocas posteriores, indica que este sistema no es idealmente inercial. En efecto, si decimos que gira todo el sistema planetario, que lo hace toda nuestra Galaxia, esto significa, que el sistema copernicano no es enteramente inercial. Ningún sistema dotado de un movimiento giratorio puede ser totalmente inercial.

Ya este breve análisis pone de manifiesto el lado débil de la mecánica clásica, pues Inevitablemente surge la pregunta: ¿dónde se encuentra aquel mítico sistema inercial? ¿Qué correspondencia

hay en la naturaleza, entre nuestra realidad objetiva, y el sistema inercial? La mecánica clásica no sabe responder a esta pregunta. Ella nos dice solamente que el sistema A es más inercial que el B, el copernicano más inercial que el ptolomeico. Pero no nos dice que tal o cual sistema concreto sea inercial.

Imaginémonos que existe un sistema al que podemos considerar inercial. Entonces, según la mecánica clásica, cualquier otro sistema que se desplace respecto de éste con movimiento uniforme, también será un sistema inercial. Es decir que todo sistema que se desplace con movimiento uniforme respecto del sistema copernicano será tan bueno como éste. Así pues, en la mecánica clásica siempre estamos en presencia, no de un sistema inercial, sino de un grupo de tales sistemas. De una manera quizá demasiado técnica y afectada hemos expresado un hecho sumamente sencillo: que las mismas leyes son válidas en la Tierra y en un tren si éste está dotado de un movimiento rectilíneo y perfectamente uniforme. Las mismas leyes de la mecánica rigen en todos los sistemas, si éstos se desplazan uno con respecto al otro con movimiento uniforme. ¿Qué ocurrirá cuando los sistemas se desplacen uno con respecto al otro con movimiento no uniforme? Volvamos una vez más a nuestro tiiovivo, donde no rige el principio de la inercia. ¿Qué leyes existen allí? Responderemos lacónicamente: las leyes formuladas por Newton rigen únicamente en un sistema inercial; en el tiiovivo rigen otras leyes que podremos formular siempre que sepamos cómo se mueve el sistema en estudio con respecto a un sistema inercial. Concretamente, aparecerán nuevas fuerzas, llamadas fuerzas de

D'Alembert. A veces suele hablarse de fuerzas aparentes de D'Alembert, aunque tengo dudas respecto de si la palabra "aparente" es aquí apropiada.

Recapitulemos concisamente lo que hemos dicho. La gran obra de Copérnico marca el comienzo de la ciencia moderna; el bello descubrimiento de Kepler cambia las órbitas circulares de Copérnico por órbitas elípticas; la Física, y en particular la Mecánica formulada por Galileo y Newton, nos permite no sólo describir los movimientos, sino también predecirlos. De la ley newtoniana de la gravitación se desprenden las leyes de Kepler. La fuerza gravitacional de atracción actúa en la dirección de la aceleración y no de la velocidad. De la mecánica clásica se deduce que el sistema copernicano —en lo que atañe a los movimientos planetarios— es un sistema inercial, aunque el desarrollo posterior de la ciencia demostrará que no es así. Por sistema copernicano debe entenderse más el sistema referido al centro de masas del sistema planetario que el referido al centro del Sol, aunque la diferencia es insustancial a causa de que las masas de los planetas son muy pequeñas en comparación con la del Sol.

La teoría copernicana y la teoría de Einstein

Hasta ahora hemos enfocado la obra de Copérnico, Kepler y Newton desde el punto de vista de un físico del siglo XIX. ¿Por qué del siglo XIX y no del XX? Porque el astrónomo —o físico— del siglo XX conoce ya la Teoría de la Relatividad y sus concepciones se diferencian esencialmente de las que caracterizaron al físico del

siglo XIX. En efecto, en este siglo hasta la Iglesia aceptó la teoría de Copérnico, borrando su obra del Índice en 1822.

Hemos estudiado la influencia de la verdad copernicana en dos campos: la cinemática y la dinámica. Pasemos ahora al tercero y último escalón, al vínculo entre la teoría copernicana y la Teoría de la Relatividad.

Comúnmente suele diferenciarse la Teoría Especial y General de la Relatividad. La Teoría General de la Relatividad es mucho más difícil de comprender que la Especial. Pero en lo que concierne al problema copernicano, a la teoría de la gravitación relacionada con la teoría de Copérnico, nos interesa sobre todo la Teoría General de la Relatividad, formulada paulatinamente, no sin errores iniciales, entre 1911 y 1916 por Einstein. Esta teoría procura revisar, por primera vez desde los tiempos de Newton, el problema de la gravitación. Fuente de esta teoría, como de cualquier teoría de la Física, es el afán de comprender mejor la realidad que nos rodea; en este caso, el afán de comprender mejor el fenómeno de la gravitación, el fenómeno del movimiento de los cuerpos celestes.

Hemos visto antes que la teoría newtoniana introduce un importantísimo concepto, el de sistema inercial. El sistema copernicano es más inercial que el referido a la Tierra; el sistema verdaderamente inercial no existe y este concepto debería desterrarse de los dominios de la ciencia. Una teoría que no utilizase el concepto de sistema inercial sería más sencilla que la que se *apoya* en este concepto, al cual nada corresponde en la realidad. Pero para deshacernos de este concepto debemos crear

una nueva teoría. La Teoría de la Relatividad es justamente una teoría más sencilla desde el punto de vista de la Lógica, pero en ella la cadena de razonamientos que nos lleva a la observación, a la descripción del mundo real, es incomparablemente más larga. Como siempre, cuanto menos demos por sentado, más nos queda por deducir. Lo mismo ocurrió antes, en el siglo XVII, cuando de la teoría newtoniana dedujimos las leyes de Kepler como leyes aproximadas.

Pero resulta evidente que la simplicidad de los postulados no es lo único que determina la significación de una teoría. El progreso de la ciencia demuestra constantemente que cada teoría es aplicable sólo hasta cierto límite. La realidad aparece ante los ojos del investigador cada vez más difícil de describir. El avance de la ciencia revela los límites de aplicación de las viejas teorías. Estas siguen siendo válidas, pero sólo dentro del marco trazado por el desarrollo de la Física. Buscamos nuevas teorías que engloben mejor los nuevos datos proporcionados por la experimentación, que describan mejor la realidad. Y otra vez comprobaremos que las nuevas teorías también tienen su límite de aplicación y nuevamente tendremos que vencer obstáculos en nuestra búsqueda de una nueva descripción de la realidad circundante. De este modo, a través de nuevos descubrimientos, errores, desilusiones y otra vez nuevos descubrimientos, buscamos la verdad absoluta, la descripción definitiva de nuestro mundo material, sabiendo que es un espejismo al que podemos acercarnos sólo hasta cierto punto, si bien con creciente aproximación. La humanidad tiene una meta: conocer

nuestro mundo material, conocer las leyes que lo rigen. Y otra meta igualmente importante: aprovechar estas leyes para el bien y la felicidad del hombre. Pero volvamos a la Teoría de la Relatividad. Como toda teoría, también ésta debería servir de orientación en el terreno donde falla la teoría anterior, en este caso, la newtoniana. Más adelante diremos en qué grado la Teoría de la Relatividad cumple este postulado.

No nos anima aquí el propósito de explicar la Teoría de la Relatividad, sino el de ver su relación con la teoría newtoniana y la copernicana. Por eso concentraremos nuestra atención sólo en algunos rasgos de aquélla, presentados fragmentariamente.

Es preciso que abandonemos por unos instantes la Teoría de la Relatividad para incluir entre paréntesis cierto razonamiento de gran importancia para la cuestión que nos ocupa. Este se refiere a la estructura de la Física matemática. Motivo de nuestras observaciones es el hecho de que ciertas cuestiones evidentes para el físico suelen ser difíciles de comprender para el filósofo. La colaboración entre la Física y la Filosofía requiere un esclarecimiento tranquilo y honesto de estos problemas. Lo que he de decir aquí contará con la aprobación —al menos así me parece— de todo físico teórico. Me importa mucho que se elimine cierto malentendido que aparece a menudo en la literatura.

Debemos distinguir la estructura matemática de una ley física de su contenido físico. La falta de distinción entre estas dos importantísimas nociones, por cierto diferentes, da ocasión a muchos equívocos. Lo explicaremos con un ejemplo. Veamos el caso

de una sencilla ecuación matemática que describe, por ejemplo, el movimiento de un péndulo de osciladores pequeñas. Ecuaciones de idéntica estructura matemática nos describen las vibraciones de las ramas de un diapasón, las vibraciones de la corriente eléctrica o las de los electrones. Sería naturalmente absurdo sostener que péndulo es lo mismo que diapasón. La estructura matemática de la ecuación no nos dice nada acerca del fragmento de la realidad que describe mientras no liguemos los símbolos matemáticos que aparecen en la ecuación con la realidad. Los símbolos de las fórmulas matemáticas representan ciertas magnitudes en nuestro mundo real. Mientras no precisemos esta representación, nuestra teoría será abstracta, tendrá determinada estructura matemática, pero carecerá de contenido físico. Esto no quiere decir que la estructura matemática no nos interese, por el contrario, nos interesa muchísimo, ya que conociendo la estructura matemática de una teoría (por ej. cuando conocemos la solución de una ecuación diferencial) y sabiendo cuál es el fragmento de la realidad a que se refiere, podemos, mediante la pura deducción, sacar rápidamente conclusiones de esa teoría y traducirlas a un lenguaje que describa aquel fragmento de la realidad. Las ecuaciones matemáticas más su relación con la realidad nos dan una teoría física.

Una teoría describe correctamente la realidad, si las conclusiones obtenidas por vía matemática, y luego interpretadas físicamente, resultan coherentes con la experiencia. La teoría describe adecuadamente un fragmento de la realidad mientras estudios posteriores no demuestren contradicciones entre ella y la

experiencia e indiquen, por lo mismo, la necesidad de cambiarla. De modo que toda teoría física debe caracterizarse no sólo en función de su estructura matemática, sino también en función del vínculo entre esa estructura y el fragmento del mundo material al cual ella está referida. Para dar un ejemplo concreto: los principios de la mecánica newtoniana pueden expresarse en forma de ecuaciones referidas a cierto sistema. Pero estas relaciones matemáticas devienen teoría física cuando sabemos que m significa masa y F fuerza. Aquellas ecuaciones newtonianas se remiten a cierto sistema. Sistema, en la estructura matemática, son tres ejes perpendiculares uno al otro. ¿Qué es lo que corresponde en nuestro mundo físico a estos tres ejes? El sistema inercial, esto es, un sistema material ligado a algún cuerpo material. Pero, ¿dónde está ese cuerpo material, dónde está ese sistema inercial representado en nuestra estructura matemática por un sistema de ejes? Nuevamente volvemos a la respuesta anterior: en lo que se refiere al problema del movimiento de los planetas, este sistema es el sistema copernicano. Pero cuando se trata del problema del movimiento de todo el sistema planetario, debemos buscar nuestro sistema inercial más allá del Sol. Como vemos, el vínculo entre el concepto abstracto de sistema matemático y el concepto físico de sistema inercial puede establecerse solamente de un modo aproximado.

Cabe preguntar si la misma dificultad aparece también en la Teoría de la Relatividad, que describe el problema de la gravitación. La respuesta es negativa, pues en la estructura matemática de la Teoría de la Relatividad no aparece la noción de sistema

matemático. A las ecuaciones matemáticas de la Teoría de la Relatividad —hagamos hincapié en la palabra “matemáticas”— les es indiferente el concepto de sistema matemático. La enorme diferencia entre el sistema ptolomeico y el copernicano, cuya comprensión —que es al mismo tiempo el principio de nuestra ciencia sobre el mundo— debemos a Copérnico, no tiene correspondencia alguna en la estructura matemática de la Teoría de la Relatividad. Este es uno de los rasgos que distinguen la teoría newtoniana de la de Einstein: en la teoría newtoniana teníamos el concepto de sistema correspondiente al sistema inercial —por cierto, inexistente en la naturaleza—; aquí, en la Teoría de la Relatividad, o más bien en su estructura matemática, el concepto de sistema no aparece. Pero, como hemos dicho anteriormente, una teoría consta no sólo de una estructura matemática, sino también del vínculo de ésta con la realidad. No es justo criticar la Teoría de la Relatividad en razón de que su estructura matemática no contenga nada que corresponda a la diferencia entre los sistemas ptolomeico y copernicano, pues una teoría física debe juzgarse sólo cuando su estructura matemática esté vinculada a la realidad, porque sólo entonces una teoría física es tal. Para vincular la estructura matemática de la Teoría de la Relatividad con la realidad debemos ante todo escoger algún sistema en el mundo físico. En lo que se refiere a la descripción del movimiento planetario, tal sistema debe ser copernicano y no ptolomeico.

A fin de comprender este problema, pensemos un instante qué pregunta debemos plantear a la Teoría de la Relatividad. Daré un

solo ejemplo, quizás el más importante. Según la teoría de Newton, el planeta Mercurio describe una órbita elíptica alrededor del Sol, mientras que el Sol se encuentra en uno de los focos de esta elipse. ¿Se desprende la misma conclusión de la Teoría de la Relatividad, o bien una conclusión algo diferente? Ante todo convengamos en que cualquier falla de la teoría newtoniana debe ser sumamente pequeña, pues de no ser así esta teoría habría sido abandonada hace mucho. Si tales fallas existen, deben ser particularmente perceptibles en el caso del planeta Mercurio, ya que es el más cercano al Sol. Pero recordemos nuestra pregunta. Estamos buscando la diferencia entre las predicciones de la mecánica newtoniana y de la Teoría de la Relatividad. Sin embargo, sólo podremos apreciar esta diferencia si el movimiento en cuestión es descrito en el marco del mismo sistema. Por ello, debemos describir dos veces el mismo movimiento real en un mismo sistema —una vez de acuerdo con la teoría newtoniana y otra según la Teoría de la Relatividad—, y ver si la diferencia existe y si la observación confirma o niega la conclusión deducida de la Teoría General de la Relatividad. Ahora bien, esta última prevé el movimiento newtoniano, es decir el movimiento elíptico del planeta Mercurio, pero al mismo tiempo prevé que la propia elipse gira muy lentamente. Se ha dado a esto el nombre de movimiento del perihelio, entendiendo por perihelio aquel punto de la elipse en el cual el planeta está más cerca del Sol. Puesto que gira la elipse, gira también el perihelio siguiendo una trayectoria circular. Durante cien años la línea que une el perihelio con el Sol habrá girado 42

segundos. Esta conclusión ha sido perfectamente verificada por la observación. El movimiento del perihelio se cumple en la misma dirección que el movimiento elíptico newtoniano. La concordancia entre las previsiones de la Teoría de la Relatividad y la observación es efectiva. Pero, como ya hemos dicho, para poder comparar esta predicción con la observación debemos referir el movimiento al sistema copernicano.

De modo que no es cierto que la Teoría de la Relatividad pueda sentirse lo mismo del sistema ptolomeico que del copernicano. Por ejemplo, en el caso del movimiento elíptico de Mercurio alrededor del Sol, el problema de la Tierra no aparece en absoluto. Todo el cálculo, por lo demás bastante complicado, se refiere al siguiente problema: cómo se mueve un cuerpo muy pequeño, Mercurio, en el campo de un cuerpo grande, pesado y que está en reposo, el Sol. Se trata del llamado problema del movimiento de un cuerpo en el campo de un cuerpo pesado. Este es un típico problema copernicano donde ni siquiera se menciona el movimiento del centro de masas, ya que se supone que el Sol es infinitamente más pesado que el planeta. La descripción es completamente objetiva porque el hecho de que el observador se encuentre en la Tierra no se manifiesta en las fórmulas ni en los cálculos. El problema de un cuerpo en la Teoría de la Relatividad es hasta cierto punto simple, pero presenta ciertas dificultades en comparación con el cálculo newtoniano.

En la teoría newtoniana, el problema de dos cuerpos, por ejemplo el de las estrellas dobles, no es más difícil que el de un cuerpo de

pequeña masa que se mueve en campo de un cuerpo de gran masa (Sol, planeta). Prácticamente, es el mismo cálculo con la única diferencia de que el movimiento debe ser referido al sistema vinculado al centro de masas de estos dos cuerpos.

¿Y cómo se presenta esta cuestión en la Teoría General de la Relatividad? Hemos explicado con el ejemplo de Mercurio y el Sol el caso de un cuerpo liviano en el campo de un cuerpo pesado. Pero en el caso de dos cuerpos cuyas masas son equiparables, el cálculo es muchísimo más difícil. Efectivamente, este problema tiene una larga historia y su solución fue hallada por primera vez en el año 1938. Aún hoy constituye el tema de muchos trabajos científicos. Y nuevamente nos planteamos aquí la pregunta: ¿en qué se diferencia el movimiento de dos cuerpos previsto por la Teoría de la Relatividad del movimiento que prevé la teoría newtoniana? La respuesta es concreta: cuando resolvemos este problema de acuerdo con la Teoría de la Relatividad, adoptamos el sistema vinculado al centro de masas de estos dos cuerpos, o sea el mismo sistema que adoptábamos en la teoría copernicana. Y de nuevo encontramos una disconformidad con el movimiento newtoniano, concretamente, un movimiento sumamente lento del perihelio.

Por último, mencionemos un ejemplo más, la famosa desviación de los rayos luminosos. El rayo de luz procedente de alguna estrella se curva en el campo gravitatorio del Sol. Y de nuevo, referimos este curvamiento al Sol y no al sistema ptolomeico. En el análisis teórico de estos hechos experimentales, el sistema ptolomeico no desempeña papel alguno y la descripción de aquéllos es

enteramente objetiva, independiente del observador. Pero estos hechos, desde luego, deben ser comprobados por el hombre en la Tierra. El hombre debe tener ciertos instrumentos: telescopios, teodolitos, etc.; debe conocer ciertas leyes para evaluar objetivamente el fenómeno observado. Necesita también conocer las leyes que gobiernan sus instrumentos y las propiedades de su propia vista. Veamos un ejemplo concreto para explicar a qué nos referimos. Supongamos que la luz emitida por una estrella pasa muy cerca del Sol. Según la Teoría de la Relatividad, en este caso el rayo luminoso es desviado, y supongamos que penetre en nuestro ojo. Debemos entonces conocer la ley fisiológica que dice que nuestro ojo ve la estrella sobre una recta que es la prolongación tangencial del rayo que ha penetrado en nuestro ojo. Lo mismo hace una cámara fotográfica. Esto quiere decir que habrá cierta diferencia entre un grupo de estrellas fotografiado durante un eclipse de Sol y cerca de éste y el mismo grupo de estrellas fotografiado por la noche. Esto se debe a que en el primer caso los rayos de las estrellas serán curvados por el Sol, y en el segundo no. Se trata precisamente de la célebre verificación de la Teoría de la Relatividad.

La medición descrita nos ha permitido deducir la existencia de un hecho objetivo; la teoría de la medición es un complemento indispensable de la Teoría de la Relatividad, que permite comprobar si es justa o no la descripción de la realidad que propone esa Teoría. Ahora bien, la teoría de la medición se funda en todos los casos en el siguiente supuesto: las observaciones se efectúan lejos del Sol.

Debemos siempre suponer que allí donde la observación ha sido efectuada, el campo gravitatorio es débil, y por lo tanto la geometría es allí euclidiana, es decir, no rigen las leyes de la Teoría General de la Relatividad, sino de la Especial. Este supuesto se pone de manifiesto en otro fenómeno que también puede verificarse experimentalmente: el espectro de un átomo emitido por el Sol está desplazado hacia el rojo con relación al espectro de un átomo idéntico en la Tierra. Esto ocurre porque el átomo en el Sol se encuentra en un campo gravitatorio muy fuerte, y el átomo en la Tierra, en un campo gravitatorio tan débil, que su influencia sobre el espectro resulta prácticamente nula. La Tierra en este caso, a los efectos prácticos, no es sino un punto alejado del Sol. Un fenómeno parecido se produce cuando el átomo emisor de radiación se encuentra en el segundo piso y el observador de esta radiación en la planta baja. Si el observador dispone de instrumentos suficientemente precisos, comprobará un desplazamiento hacia el violeta, puesto que la fuente de radiación se encuentra en un campo gravitatorio más débil que aquél donde está situado el observador. Últimamente —gracias al efecto de Mossbauer— se ha logrado captar este desplazamiento y verificar que su valor cuantitativo coincide con lo previsto por la Teoría General de la Relatividad.

Así pues, en lo que se refiere a la estructura matemática de la Teoría de la Relatividad, su invariabilidad expresa efectivamente que el concepto de sistema de referencia es innecesario y que no hay diferencia —repetamos, en el aspecto matemático de la teoría— entre el sistema de Ptolomeo y el de Copérnico. Pero la cuestión se

presenta de una manera totalmente distinta en lo que respecta al contenido físico.

La descripción matemática de un fragmento concreto de la realidad, como el movimiento de un planeta, el movimiento de dos cuerpos o la desviación de los rayos luminosos, es completamente objetiva y se refiere o bien al sistema vinculado al Sol, o bien al sistema vinculado al centro de masas, o sea, a sistemas copernicanos. La Teoría de la Relatividad, como instrumento de conocimiento de la naturaleza, se sirve del sistema copernicano exactamente en la misma medida que la teoría newtoniana. Su superioridad con respecto a la teoría newtoniana consiste en que no necesita del concepto de sistema inercial, y con respecto a la mecánica newtoniana, en que sus conclusiones concuerdan mejor con la observación. En la teoría de la medición, que debemos agregar a toda teoría, damos por sentado que las mediciones son efectuadas por un observador alejado del Sol y que el campo gravitatorio donde aquel se encuentra es muy débil. La Tierra y el observador intervienen únicamente por medio de la teoría de las mediciones; esta es siempre necesaria para poder extraer, a partir de los resultados de la medición, conclusiones sobre las propiedades del mundo objetivo y las leyes que lo gobiernan. Me parece absolutamente incuestionable que la Teoría de la Relatividad representa un enorme progreso en materia del conocimiento y que su contenido físico está de acuerdo con la experiencia. Es una teoría relativa, mente difícil, requiere muchos años de ejercicio intelectual y el conocimiento de los instrumentos matemáticos. Pero el viejo

dicho de que sólo la comprenden correctamente doce personas, es completamente anticuado. En la Conferencia sobre Gravitación organizada en el año 1962 en Polonia, hubo 150 personas que no sólo comprendían la Teoría de la Relatividad, sino que además trabajaban por desarrollarla en diferentes aspectos. No sé cuántas personas hay en el mundo que conocen y comprenden la estructura matemática de la Teoría General de la Relatividad. En todo caso, son más que cien veces doce.

Ninguna de ellas piensa que esta teoría menoscaba en modo alguno los méritos de Copérnico. Ella expresa el pensamiento copernicano de una manera diferente, más moderna, diciendo que para la descripción de los fenómenos debemos tomar un sistema en el cual el campo gravitatorio desaparece en el infinito.

Lagrange dijo de Newton que éste no sólo fue el más grande sino también el más feliz de los sabios, puesto que la ciencia sobre el Universo puede crearse una sola vez, y Newton la ha creado. Hoy sabemos que los cambios evolutivos y revolucionarios acontecen en la ciencia con tal rapidez que cabe afirmar que la ciencia puede ser modificada, transformada y creada un sinnúmero de veces. Desde el año 1543, o sea desde los comienzos de la ciencia sobre el Universo cuyos fundamentos sentó Copérnico, han transcurrido 420 años. La humanidad tiene por delante una inmensidad de tiempo. Pero ya durante estos 420 años nuestra concepción del mundo físico ha sufrido enormes cambios. Para el físico moderno, el universo se presenta de modo completamente diferente, y las leyes que lo rigen son para este físico totalmente distintas de las que admitían los

físicos en los tiempos de Newton. Todavía en el siglo XIX, a un físico podía parecerle que la ciencia sobre el Universo puede crearse una sola vez, que la imagen mecanicista del mundo nos es dada de una vez por todas, y que las generaciones futuras podrán completar esta imagen con detalles, pero su carácter permanecerá esencialmente inmutable. Hoy sabemos que no es así. Y por ello la frase de Lagrange acerca de Newton no es justa. En todo caso, más justo sería decir de Copérnico que no sólo fue el más grande sino también el más feliz de los astrónomos, porque la ciencia sobre el Universo puede iniciarse una sola vez. Y esta suerte fue a él a quien correspondió.

Capítulo 6

Nicolás Copérnico, gran sabio del Renacimiento

Waldemar Voise

§. Un gran año, 1543

Se puede cuestionar la costumbre de atribuir a ciertas fechas un carácter decisivo para la historia de una u otra ciencia o para la historia en general, pero es difícil resistir la tentación de presentar algunos acontecimientos importantes en la historia de la cultura en relación con determinadas fechas. Valga como excusa el hecho de que estas fechas son consideradas sólo como señales de orientación gracias a los cuales es posible captar mejor el incesante curso del devenir histórico.

Una de estas fechas podría ser el año 1543, ligado a muchos sucesos importantes en la historia de la cultura y la ciencia. En ese año, tanto en Polonia como en toda Europa, se produjeron varios acontecimientos cuya trascendencia, difícilmente podría sobrestimarse. Justamente en 1543 aparecieron dos libros: "Sobre la estructura del cuerpo humano" (*De butnani corporis fabrica*) de Andrés Vesalio, y "Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes" (*De revolutionibus orbium coelestium*) de Nicolás Copérnico. Los eruditos han advertido hace ya tiempo que del mismo modo en que la obra de Copérnico cambió fundamentalmente nuestra visión del Gran Mundo, el macrocosmos, que incluye a nuestra galaxia, la obra de Vesalio significó una revalorización de la ciencia sobre el

Pequeño Mundo, el microcosmos, que comprende al organismo humano.

Vesalio —repite una verdad notoria— dio un paso que habría de resultar decisivo para el progreso ulterior de la Medicina: introdujo una nueva anatomía en lugar de la anatomía de Galeno, que hasta entonces había sido el fundamento de todos los estudios médicos. Pero esta comprobación no da cuenta del clima en el que surgió la obra sobre la estructura del cuerpo humano y tampoco explica la complejidad del “caso Vesalio”.

Si bien Vesalio efectuó sus disecciones siguiendo el programa de Galeno y conservó enteramente el orden de exposición de su predecesor, hubo una diferencia esencial entre los puntos de partida de ambos. Galeno, al disecar cadáveres de monos y cerdos, y no humanos, extraía a menudo, por analogía, conclusiones falsas con respecto a la anatomía del hombre. Ello se debió a que partía del supuesto de que el organismo humano era una forma perfeccionada del organismo animal, y por esa razón no establecía separación alguna entre el mundo de los animales y el de los hombres. Vesalio abordó el problema de otra manera: a sus ojos, el hombre era un ser que ocupaba un lugar particularmente privilegiado en la naturaleza, y por eso estaba profundamente convencido de que el estudio de la anatomía humana debe fundarse exclusivamente en la investigación del cuerpo humano y de que toda comparación entre cuerpos humanos y animales resultaba totalmente infructuosa y sólo servía para sembrar confusión. Esta posición, a la que Vesalio debió sus estupendas conquistas, se

basaba sin embargo en un supuesto tan tradicional como equivocado, que si hubiera sido aceptado por sus sucesores, habría llevado a la Medicina a un callejón sin salida. A diferencia de Galeno, cuyas opiniones estuvieron imbuidas del animismo pagano, que sostenía la existencia de deidades tutelares, protectoras de toda la naturaleza, Vesalio compartía el dogma cristiano de que todo el mundo —con sus animales, sus plantas, etc.— había sido creado para el bien y el provecho del hombre, “rey de toda la Creación”. El problema de la posición del hombre en la naturaleza dio origen a una controversia que se agudizó en el siglo XVI y que había de cobrar, en siglos posteriores, el carácter de una discusión fundamental de orden Ideológico. La discusión giraba en torno del problema de si entre el hombre y el animal habla una diferencia sólo cuantitativa o también cualitativa; en otros términos, si el hombre y el animal pertenecían a dos mundos distintos, o bien, si aquél sólo se diferenciaba de éste por una estructura física más compleja y un grado superior de Inteligencia. Al calificar al hombre de “pequeño mundo”, Vesalio le otorgaba una posición central en la naturaleza y, en nombre de esta convicción, rechazaba la posibilidad de establecer analogías entre la estructura anatómica del ser humano y del animal. Si se interesó por la anatomía del perro o del mono, lo hizo sobre todo para demostrar las diferencias esenciales entre los dos mundos: el humano y el animal. De esta manera, los lectores de la obra sobre la estructura del cuerpo humano tenían ante sus ojos una imagen “homocéntrica” de la Tierra en que vivían, y su complemento era una imagen “geocéntrica” del universo, dado que

Vesalio sostenía que la Tierra era inmóvil y se encontraba en el centro de éste.

Juicios de esta clase no resultaban de ninguna manera sorprendentes en la época del Renacimiento. Por el contrario, eran típicos de ese tiempo y los compartían aun los más críticos y penetrantes hombres de ciencia. No podía ser sencillo ni fácil rebatir tan arraigadas convicciones sobre la estructura del mundo. Copérnico lo sabía muy bien, como lo prueba el hecho de que vacilara durante largos años respecto de si debía revelar al mundo la amarga verdad contenida en los Libros sobre las revoluciones, concluidos hacía ya tiempo. En tal contexto, resulta particularmente significativo que el año en que éstos aparecieron impresos haya sido también el año de la muerte de su autor.

§. El camino del descubrimiento copernicano

El camino elegido por Copérnico para llegar a la verdad establece una estrecha relación entre este sabio y la época del Renacimiento, de la que fue uno de los más típicos representantes. Y aunque sólo en las postrimerías de esta época hubo de formular Bacon su concepto de la verdad como "correspondencia entre las ideas y las cosas", muchos pensadores de aquellos tiempos partían del principio de que el conocimiento humano se funda en dos elementos: la mente y la cosa, o sea, el sujeto cognoscente y el objeto conocido.

A pesar de las muchas vacilaciones y reticencias, el *quid* del problema estaba

claramente planteado: la experiencia sensorial y el intelecto se concebían como factores cuya cooperación era indispensable en el proceso del conocimiento. La experiencia y la razón, consideradas causas como instrumento de investigación —recordemos que no había llegado aún la época de los inventos en materia de instrumental científico (telescopio, microscopio, etc.) ¡«aplicaban casi siempre una actitud crítica hacia el dogmatismo. En consecuencia, el estudio de lo que otros habían pensado sobre la realidad, fue relegado poco a poco a un segundo plano, para dar paso a la investigación de la propia realidad. En relación con esto se perfila claramente el papel desempeñado por la imaginación científica de Copérnico, quien supo amalgamar en un todo inseparable lo que veía y lo que pensaba. Pese a los juicios que a veces siguen sosteniéndose por inercia, el descubrimiento de Copérnico no se debió de ningún modo a los millares de observaciones del cielo efectuadas por él. El camino de su razonamiento fue otro: el punto de partida fueron las contradicciones que advirtió en el sistema tradicional de Ptolomeo. Y la idea de buscar una nueva teoría que explicara mejor los fenómenos observados a diario le fue inspirada también —hecho que él mismo anotó en su obra— por la lectura de los pitagóricos antiguos, quienes admitían la posibilidad del movimiento de la Tierra.

Al buscar sustento para sus propias ideas, Copérnico no siempre tenía que recurrir a un pasado remoto, dado que también en épocas mucho menos distantes varios pensadores y eruditos eminentes

habían puesto en tela de juicio los postulados del geocentrismo ptolomeico. En primer lugar, el gran filósofo francés Nicolás Oresme, en su tratado *Del cielo y del mundo*, escrito en 1377, planteó la hipótesis del movimiento diario de la Tierra, y cien años más tarde, el pensador alemán Nicolás de Cusa formuló su original visión, según la cual nuestra Tierra inmóvil no se hallaba a una distancia fija del Creador. Oresme y el Cussano desempeñaron una importantísima función como intermediarios entre la filosofía medieval de la naturaleza y las tendencias modernas en esta materia. Al mismo tiempo, se empezó a reconsiderar críticamente los juicios científicos de Aristóteles y Ptolomeo. En particular, despertaban cada vez mayores dudas y objeciones los postulados de la física antigua, según los cuales las leyes del movimiento imperantes en la Tierra eran diferentes de las que regían fuera de ella. Fue sobre todo Juan Buridan, rector de la Universidad de París y contemporáneo de Oresme, quien emprendió una tentativa de derribar la física aristotélica, sosteniendo que el movimiento de los cuerpos se rige por las mismas leyes, tanto en la Tierra como en el espacio interplanetario.

Más tarde, la actitud de Copérnico había de ser semejante. Con todo el respeto que sentía por los autores antiguos, no ocultaba el desengaño que le ocasionaba la lectura atenta de sus obras. Sabemos, por ejemplo, cuánta fue su perplejidad cuando descubrió que algunos astrónomos antiguos habían deformado a propósito los datos de las observaciones para salvar siquiera las apariencias de verosimilitud de sus teorías. Ya durante sus estudios en Cracovia,

oyó de boca de su profesor, Wojciech de Brudzewo- que el modo de razonar de muchos sucesores de Ptolomeo —entre ellos, de Peurbach, autor de un manual de astronomía fundamental en aquella época— no era Infalible, y que no se podía descartar la teoría fundada en el supuesto de que el Sol, y no la Tierra, era el centro del universo. Más tarde, en Bolonia, asistió a clases dictadas por Novara, quien proponía un nuevo sistema de medición de las distancias de los cuerpos celestes. Finalmente, durante su estada en Ferrara, conoció —con toda probabilidad personalmente— al eminente humanista de esta ciudad Celio Calcagnini, autor del tratado *De la inmovilidad del cielo y la movilidad de la Tierra*. Los apuntes de puño y letra de Copérnico, que se han conservado en los libros que fueron propiedad del astrónomo, parecen sugerir la posibilidad de que las ideas de este humanista italiano, encaminadas hacia el heliocentrismo, hayan ejercido influencias sobre las tempranas concepciones de Copérnico.

Sin embargo, vale la pena destacar que todas estas concepciones no fueron sino suposiciones más o menos desarrolladas sobre la estructura del universo y que sólo pudieron proporcionar a Copérnico estímulos intelectuales para sus propias reflexiones en esta materia. En especial, se carecía aún de datos científicos en favor de la movilidad de la Tierra, y el problema de la relación entre ella y el Sol no había trascendido el marco de la pura especulación desprovista de argumentos concretos. Los podía proporcionar únicamente algún que no sólo osara adoptar una hipótesis distinta de la tradicional, sino que además estuviese en condiciones de

probar su validez de una manera que satisficiera los requisitos del razonamiento científico y se apoyara en observaciones tan exactas como fuera posible.

Y esto no era fácil. Había que disponer de mucha imaginación científica y también de una buena dosis de erudición para atreverse a presentar al mundo una teoría revolucionaria y convencerlo de su certeza. Y la teoría misma —no obstante su antigua genealogía— era tan innovadora que bien se la puede incluir entre las más trascendentales en la historia del perfeccionamiento de la razón humana. Cuando a fines del siglo XVIII, el gran filósofo alemán Immanuel Kant describía los orígenes de su sistema, advirtió que al construirlo procedió a semejanza de Copérnico, quien “cuando la explicación del movimiento de los cuerpos celestes no dio resultado con- el supuesto de que todo un ejército de estrellas giraba alrededor del Sol, intentó obtener un mejor resultado mandando girar al observador y deteniendo las estrellas”. Estas palabras indican claramente, a mi juicio, la fundón de la idea original que habría de convertirse en eje de todo el sistema copernicano.

Inicialmente, la teoría copernicana no era otra cosa que lo que hoy se acostumbra a llamar “hipótesis de trabajo”. Todas las observaciones posteriores de su laboriosa vida las dedicó Copérnico a fundamentar esta tesis, en apariencia paradójica, dado que contradecía “el sano juicio”. Y aunque cada observación nueva lo afirmaba en su convicción anteriormente adquirida, siguió verificando cuidadosa y constantemente si entre los casos investigados no aparecía alguno que contradijese su hipótesis. Esto

quiere decir que el último y el más importante criterio de verdad era para él la experiencia sensorial, cuya función consistía en confirmar o negar la validez del razonamiento humano. A pesar de que Copérnico, en la argumentación en favor de las leyes que descubrió, se sintió del método Inductivo, o sea del modo de razonar “partiendo de lo particular para llegar a lo general”, el método que escogió para probar la validez de su tesis era de diferente índole.

Su gran obra, *De revolutionibus*, la escribió cuando ya había pasado la exaltación producida por el descubrimiento había desechado ya el armazón del edificio levantado con la fuerza de su intelecto. Y con toda seguridad nunca habríamos llegado a saber lo que se ocultaba detrás de la clara, lógica y elocuente construcción de figuras y números, si no fuese porque Rheticus no era tan clásicamente concreto como su gran “señor maestro” —así llamaba Rheticus a Copérnico: *dominus praeceptor*—. Precisamente gracias a Rheticus, la poesía de la imaginación musical de aquel gran pitagórico sobrevivió a su creador. En 1540 un editor de Gdansk publicó la obra de Rheticus —licenciado en artes liberales, ex profesor de matemática en Wittenberg— titulada: “Al ilustra varón, señor Juan Schöner, sobre los libros de las revoluciones del muy docto varón y egregio matemático, el Reverendo Señor Doctor Nicolás Copérnico, Toruniense, Canónigo de Warmia, narración primera”. Entre los argumentos contenidos en esta Primera Narración (*Narratio Prima*) que hablan en favor de la movilidad de la Tierra, figura también uno —el sexto por orden— cuya exposición empieza con un reproche dirigido contra los antiguos astrónomos. Dice Rheticus que éstos

“no refirieron sus teorías con suficiente rigor al principio que advierte que el orden y los movimientos de las esferas celestes se fundan en el sistema más perfecto. Y aunque les tributamos —como es propio— nuestro más profundo respeto, en verdad habría sido deseable que al establecer la armonía de los movimientos, hubiesen imitado a los músicos, quienes, ora estirando, ora aflojando una cuerda, con el mayor esmero y diligencia, forman y afinan los sonidos de todas las demás cuerdas hasta que produzcan juntas la armonía necesaria, y en ninguna se observe la menor disonancia”. Este argumento no podía ser omitido por un partidario de los pitagóricos, puesto que era uno de los elementos esenciales del razonamiento de aquellos filósofos que, como pocos, antes y después de ellos, supieron unir las rigurosas exigencias del razonamiento con una rica inventiva poética. Y así, vemos cómo Copérnico, en una de aquellas grandiosas noches, comprueba en su “observatorio” que el orden que gobierna el movimiento de los planetas es diferente al que había descrito siglos atrás Ptolomeo. En su mente habrá sonado entonces la antiquísima música de las esferas de la que hablaron los pitagóricos, la sinfonía del Universo que nuestros oídos no perciben, puesto que se acostumbran a esta melodía permanente, así como dejamos de sentir el perfume más exquisito cuando nos rodea permanentemente.

Posiblemente el primero en llamar la atención sobre este argumento “musical” de Copérnico haya sido Jeremi Wasiutynski, quien, en un libro muy en boga en Polonia antes de la Segunda Guerra Mundial,

y que hasta hoy es motivo de enconadas polémicas, escribió lo siguiente:

"Copérnico aplicaba un verdadero método de afinamiento para determinar las dimensiones de las órbitas planetarias. No lo pudieron hacer ni Ptolomeo ni sus sucesores, porque desconocían aquel diapasón, aquella cuerda esencial descubierta sólo por Copérnico: la órbita terrestre. Al observar la magnitud de los arcos del movimiento retrógrado de los planetas, producido por la revolución de la Tierra, Copérnico procedía como un afinador, buscando la consonancia de la cuerda planetaria con la cuerda de la Tierra. El cálculo le daba luego la relación entre las dimensiones de la órbita de Marte o Venus, de Júpiter o Mercurio, y la órbita de la Tierra, de igual modo que se conocen las relaciones de la frecuencia de vibración o de la longitud de las cuerdas para las terceras, las quintas o las octavas. El júbilo que sintió Copérnico por haber hallado la llave del arpa celestial se refleja en el mismo nombre de Gran Círculo —Orbis Magnus— con que bautizó el trayecto de la Tierra".

Este postulado "musical" fue sin duda el postulado principal de Copérnico como partidario de la filosofía pitagórica. Fue Pitágoras —según la tradición— el primero en llamar al mundo "orden" ("cosmos" en griego), confiriéndole un carácter casi sagrado al número siete, reflejado en las siete vocales, las siete cuerdas musicales o las siete estrellas de las Pléyades. Un siglo después de

Copérnico, otro gran astrónomo, Juan Kepler —que perfeccionó el sistema copernicano— cayó también en la tentación de buscar similitud entre las dimensiones de las órbitas planetarias y los intervalos musicales, y creyó que su mayor triunfo consistía en haber descubierto una regularidad musical en la distribución de las órbitas. Sin duda Platón se hubiera alegrado de este descubrimiento, ya que dos mil años antes había juzgado que las distancias al Sol, y a la Luna y los planetas guardan entre sí una relación de dobles intervalos, entendiendo por esto una sucesión de números enteros que son potencias de dos y tres. Debe de haber algo extraordinariamente cautivador en la secular concepción pitagórica, si un astrónomo que vivió en nuestro siglo, James Jeans, deseando que las nuevas conquistas de la física fueran accesibles a todos, escribió que las leyes que rigen el Universo “recuerdan no tanto los principios que gobiernan el movimiento de una máquina, como las reglas que observa el músico al componer una fuga...”

En tiempos de Copérnico, sin embargo, la concepción de la música pitagórica de las esferas carecía prácticamente de significación cognoscitiva, por ser una idea muy trillada en esa época y repetida por muchos pensadores. La cita de Rheticus, en cambio, especialmente si la relacionamos con algunas enunciaciones del mismo Copérnico —un ejemplo entre muchos: el “ballet de las estrellas” mencionado en el *Commentariolus*—, habla de las aficiones musicales, o más bien musicológicas, del gran astrónomo, quien de una manera sumamente plástica comparó el modelado de

su nueva visión del mundo a la acción de un músico templando su instrumento.

Últimamente, los especialistas han señalado que Copérnico estuvo dotado de una gran imaginación no sólo auditiva, sino también visual. Para explicarlo debemos recordar que el modelo ptolomeico del mundo se apoyaba en la física aristotélica, donde la Tierra, como el elemento más pesado, ocupa el lugar central en el sistema concéntrico de las esferas, y sobre ella se sitúan sucesivamente las demás esferas: del agua, del aire, del fuego, etc. Al mismo tiempo, la Tierra es una especie de isla en medio de las aguas del océano que la rodea por todas partes. Tal orden de las esferas figuraba en las cosmografías tradicionales publicadas todavía durante todo el siglo XVI, entre ellas, la *Cosmographia* de Apianus, editada por primera vez en el año 1524. Pero, simultáneamente, desde principios del mismo siglo empezaron a aparecer mapas con una imagen diferente del mundo, que tomaban en cuenta la existencia de otros continentes: África y la recién descubierta América. Desde entonces era cada vez más difícil considerar el continente eurasiático como una "isla" terrestre que ocupaba un lugar excepcional en la esfera "acuática" y entre las demás esferas. Aludiendo a esta imagen del mundo y apoyando su tesis en los nuevos descubrimientos geográficos, Copérnico supo imaginarse a nuestra Tierra como un cuerpo celeste homogéneo, de forma esférica, compuesto de dos elementos esenciales —agua y tierra—. El modelo heliocéntrico del Universo, fruto también de la reflexión sobre el nuevo mapa del mundo, no sólo echaba por tierra el sistema geocéntrico de

Ptolomeo, sino que además socavaba la física aristotélica, donde era esencial la diferencia entre las leyes propias de la esfera “sublunar” y de la “supralunar”. Teniendo en cuenta todo esto, vale la pena recordar que los factores auditivos y visuales del razonamiento copernicano, estrechamente ligados entre sí, constituían algo así como un argumento “imaginativo” único, que servía para consolidar las pruebas “racionales” o sea las estrictamente astronómicas, decisivas para la cristalización del sistema heliocéntrico.

Bien puede decirse que este argumento fue uno de los más originales en Copérnico, a quien llamaremos con justicia renovador del antiguo pensamiento pitagórico. Pero la gran mayoría de los argumentos restantes eran propios del razonamiento de un matemático, de un hombre dedicado al cálculo de las posiciones de los cuerpos celestes. No es casual que sus contemporáneos lo considerasen sobre todo matemático. Rheticus, quien había ocupado en Wittenberg una cátedra de matemática —o sea, de astronomía matemática—, llamó a nuestro astrónomo “egregio matemático” en el título de su Primera narración, y se presentó a sí mismo como “joven amante de la matemática”. Muchos otros lo consideraban matemático, es decir, pensador que sabia dar forma matemática —la más perfecta de todas— a los fenómenos celestes observados por él. También aquí encontramos una huella del pensamiento pitagórico, ya que justamente los pitagóricos vinculaban estrechamente la matemática a la astronomía. Aristóteles describió sus opiniones con las siguientes palabras: “Enajenados por las matemáticas, empezaron a juzgar que sus

principios eran los de todo ser... consideraban los números como ente primero en la naturaleza, las raíces de los números como raíces del ser, y los cielos en su conjunto como armonía y número". Ante esta afirmación es preciso recordar, por otro lado, que entre todas las ciencias sólo a la matemática le cabe el honor de ser considerada desde hace siglos como ideal inalcanzable de todas las otras disciplinas científicas. Para no recurrir a Platón —quien, según la leyenda, no admitía en su presencia a nadie que no conociese las matemáticas—, baste mencionar a Roger Bacon quien escribirá en el siglo XIII que "toda ciencia requiere la aplicación de la matemática", y el elogio de la matemática contenido en *Paragone*, obra escrita por Leonardo da Vinci 300 años más tarde, durante la vida de Copérnico. Leonardo decía allí que "ningún razonamiento humano merece confianza si no ha pasado la prueba del razonamiento matemático". A juicio de muchos sabios contemporáneos —y posteriores— sólo la matemática merecía plenamente el nombre de ciencia por la seguridad de sus conclusiones, mientras que todas las demás disciplinas eran objeto de una crítica demoledora. Hoy, sin embargo, al decir matemática tendemos a modernizar este concepto, dándole el significado que ha adquirido últimamente —o sea el de una disciplina fundada en el ordenamiento numérico de los fenómenos—, aunque debe señalarse que esta moderna noción de la matemática no les era ajena a los sabios de otras épocas. Sea como fuere, debemos tener presente que en los siglos XVI y XVII, la matemática se identificaba con la ciencia universal (*matéís universales*), significando generalmente un

conglomerado de principios de diferentes disciplinas y también un método concebido en términos muy amplios, lo que destacaron claramente muchos pensadores. Se escribían, por ejemplo, tratados de música llamándolos matemáticos, dado que el concepto de matemática comprendía, junto a la aritmética, la geometría, la mecánica, la óptica o la hidráulica, también a la música. Lo esencial en esta noción de matemática eran las reglas de razonamiento expresadas en la concepción euclidiana de la geometría. Y no sólo muchos naturalistas, filósofos y humanistas, sino también el común de las gentes instruidas, identificaban la matemática con el método científico en general, que permitía a la humanidad avanzar en todas las ramas del saber.

El razonamiento matemático así concebido requería que se adoptaran algunos axiomas fundamentales que permitiesen continuar el razonamiento, o sea, sacar conclusiones lógicamente estructuradas. He aquí por qué la hipótesis de trabajo planteada por Copérnico, adquirió en *De revolutionibus*, la forma de tesis central a la que hubo de subordinarse todo el razonamiento. El autor tuvo que darle este carácter para no naufragar en el mar de datos que le proporcionaban diariamente las observaciones. Uno no puede menos que calificar de moderno este modo de pensar, el cual — como vemos— se fundaba en el principio de que no se debe insistir en un supuesto si éste resulta falso en el curso de la investigación, en tanto que es admisible acumular pruebas en favor de una tesis —aún no verificada— para dictaminar en cierto momento si realmente merece el nombre de teoría nueva capaz de sustituir a la

vigente hasta ese momento. Únicamente de esta manera es posible progresar en el dominio de la ciencia.

Aunque Copérnico no haya dejado escrito alguno acerca de la metodología del razonamiento científico, su obra máxima refleja claramente el método seguido por el astrónomo. Y si miramos más de cerca el camino que recorrió el pensamiento de Copérnico, veremos que el puesto eminente que su obra ocupa en la historia de la ciencia se debe en primer lugar a la habilidad, rara veces encontrada, para conciliar concepciones visionarias con los rigores del razonamiento científico.

Nicolás Copérnico, creador de una nueva Tierra

A diferencia de las obras de los grandes artistas, las obras de los sabios, aun los más insignes, envejecen por lo general rápidamente. ¿A qué se debe, pues, la extraordinaria vitalidad que ha conservado el libro *De las revoluciones*, aunque hayan pasado ya cinco siglos del natalicio de su autor? El descubrimiento de Copérnico, realizado en tiempos en que los descubrimientos científicos eran, en un grado mucho mayor que hoy, fruto de una gran aventura intelectual, sigue siendo un clásico ejemplo del poder del pensamiento humano. Cabe recordar también que la Astronomía, la más poética de las ciencias, ofrece a sus adeptos el más bello de los dones: permite unir los rigores de la razón a la riqueza infinita de la imaginación. Pero este carácter peculiar de la disciplina cultivada no habría logrado garantizar semejante vitalidad al descubrimiento copernicano, si no hubiera sido por un rasgo que le es propio y que podríamos llamar "ingenio disciplinado". Y por esa razón, el título de pensador, refleja

mejor el carácter de la obra de Copérnico que el nombre de astrónomo, con que generalmente se lo califica. Y no se trata de la notoria universalidad de sus aficiones, sino de que este sabio, a través de sus observaciones del Sol, la Luna y las estrellas abrió ante la humanidad nuevos horizontes intelectuales. Y si, con justicia, llamamos a Copérnico “creador de un nuevo cielo”, debemos tener presente que fue asimismo creador de una nueva imagen de la Tierra; en términos más precisos, señaló a la Tierra un nuevo lugar en la estructura del Universo y, por consiguiente, un nuevo lugar al hombre que la habitaba.

Cuando Copérnico contaba dieciséis años, el gran humanista italiano Pico de la Mirándola decía en su célebre *Discurso sobre la dignidad del hombre* que el Creador se había dirigido al primer hombre de esta manera: “Te he colocado en el centro del mundo para que veas mejor lo que Te rodea...” Al escribir estas palabras no se imaginaba que diez o quince años después, nacería al norte de los Alpes una idea destinada a echar por tierra la convicción con que los hombre nacían y morían desde tiempos inmemoriales: la idea de que les había tocado vivir en el centro del Universo. Cuando decimos hoy que el Sol es “una estrella en los suburbios de la Galaxia”, y la Tierra, una “nave cósmica” que flota en el espacio infinito, debemos tener presente que el remoto origen de estos conceptos está en la genial idea de Copérnico. Gracias a él, el papel del “planeta de los hombres” llegó a ser mucho más modesto del que le había asignado la tradición; esto ocurrió porque había cambiado la escala comparativa que el hombre aplicaba al reflexionar sobre sí

mismo y sobre el planeta que habitaba. Es, pues, justo lo que dice Herbert Butterfield en su libro *Genealogía de la ciencia contemporánea (1300-1800)*: "Cuando el hombre vio las cosas en sus debidas proporciones, todo el esfuerzo divino empezó a parecer demasiado grande y el objeto de los cuidados de Dios, demasiado fútil". He aquí por qué el principio de homogeneidad del Universo, hoy aceptado sin reservas, fue llamado "principio de Copérnico". Este principio establece que la posición de la Tierra en el Universo no tiene nada de particular en comparación con la de la enorme mayoría de otros cuerpos celestes.

Pero a diferencia de Copérnico, hoy no nos imaginamos ya el Universo como un ente finito y dotado de armoniosa inmutabilidad. Sabemos que está sujeto a constantes cambios y que se parece más a un río cuyas aguas fluyen permanentemente que a un reloj construido de una vez por todas. La historia de la ciencia indica que todo descubrimiento científico sólo sigue siendo válido durante cierto tiempo. Sin embargo, en la disputa actual sobre la estructura del Universo, el nombre de Copérnico se repite con tanta frecuencia como en la época en que su sistema enardecía los ánimos de los pensadores del siglo XVI y XVII. Sin buscar más lejos, Albert Einstein —en el libro *Evolución de la Física*, escrito juntamente con Leopold Infeld— dice que la lucha de Copérnico contra las Ideas de Ptolomeo careció de significación, pues a la luz de la teoría de la relatividad la opción por tal o cual sistema es únicamente cuestión de ponerse de acuerdo con respecto al sistema de coordenadas que se quiere utilizar. Se le respondió entonces que se equivocaba, dado

que casi toda la materia de nuestro sistema planetario se concentra en el Sol, cuya masa es 330.000 mayor que la de la Tierra y 750 veces mayor que la de todos los planetas en conjunto. Se subrayó al mismo tiempo que no siempre es posible elegir libremente el sistema de referencia; esto se aplica, en particular, a los casos en que el objeto de nuestra investigación no es sólo el movimiento sino sobre todo las regularidades que lo caracterizan. Cuando observamos, por ejemplo, el movimiento de las partículas de polvo en un haz de luz, podemos elegir cualquiera de ellas como sistema de referencia, pero si deseamos comprender las leyes que rigen este movimiento, tenemos que elegir un sistema privilegiado. Ahora bien, en el Universo —según afirman los defensores modernos del copernicanismo— precisamente el Sol constituye tal sistema privilegiado, en el marco del cual rigen tanto las leyes del campo gravitatorio como las de la teoría especial de la relatividad. De este modo, el sistema heliocéntrico copernicano no sólo no es desplazado por la teoría einsteiniana de la relatividad, sino que se deja conciliar con ella como una concepción que determina la elección del sistema apropiado de referencia.

Esta es otra prueba de la vitalidad de la teoría copernicana en su aspecto tanto astronómico, como filosófico general. Es necesario recordar en este contexto que Copérnico proporcionó a las generaciones siguientes otro argumento más, relacionado con una cuestión de cardinal importancia para conocer la realidad circundante y, por ende, para formarse una imagen cada vez más perfecta de la Tierra y del Universo. Ya el gran poeta romántico

alemán Johann Wolfgang Goethe —quien fue asimismo un gran hombre de ciencia— advirtió que cuando deseamos comprobar alguna idea relativa a los fenómenos naturales, lo que más nos confunde es el hecho de que a menudo, y hasta por regla general, tal idea contradice nuestros sentidos. A continuación Goethe ofrece el ejemplo más claro de semejante caso: “El sistema copernicano se funda en una idea difícil de comprender y que contradice permanentemente nuestros sentidos”. Esta enunciación nos permite completar los juicios, por lo común parciales, sobre Copérnico, en los que se hace hincapié en su lucha contra las autoridades tradicionales, relegando al segundo plano un asunto no menos importante, y hasta esencial, para la concepción científica del Universo: que la teoría creada por él es totalmente contradictoria con la Imagen de la realidad que nos transmiten los sentidos. Lo sabía bien el mismo Copérnico, cuando en la Epístola Dedicatoria dirigida al Papa, decía que su obra parecerá seguramente un “contrasentido”, y cuando en el octavo capítulo del Primer Libro de *De revolutionibus*, señalaba que, mirando el cielo desde la Tierra, nos convencemos de que el mundo entero está girando. No dejó de advertir al mismo tiempo que esa era una ilusión de los sentidos. La misma ilusión —dijo— hace que cuando nos alejamos del puerto, la orilla y las ciudades parezcan huir de nosotros; de igual modo, los marineros que se encuentran a bordo de un barco que navega en mar tranquilo ven todos los objetos situados fuera del barco como dotados de un movimiento retrógrado, mientras que ellos mismos

tienen la Impresión de hallarse inmóviles con todo lo que hay a bordo.

Copérnico fue uno de aquellos grandes sabios del Renacimiento que concibieron acertadamente el problema esencial del conocimiento humano: consideraba a la experiencia sensorial y a la razón como dos factores cuya cooperación es indispensable en el proceso del conocimiento de la realidad. Sabía que la razón humana, al recibir impresiones por intermedio de los sentidos no es pasiva, sino que elabora los datos proporcionados por aquéllos. "Experiencia" y "razón", dos conceptos diferentes, muchas veces no eran sino dos aspectos de una misma cosa y, tratados conjuntamente, implicaban una actitud humanista dirigida contra la actitud teológica; en otras palabras, una actitud crítica contra una dogmática.

La fuerza de la dogmática tradicional hacía indispensable esta alianza de "experiencia" y "razón", si se quería superar a aquélla.

Antes de que los científicos pudiesen servirse del telescopio o del microscopio, es decir, antes de que estuviesen en condiciones de perfeccionar sus sentidos, la razón era el único Instrumento que permitía asumir una posición crítica hacía la observación cotidiana. Los instrumentos astronómicos de Copérnico se diferenciaban poco de los utilizados por los astrónomos antiguos. Podían evidentemente desorientarlo, tal como desorientaron a tantos astrónomos antes y después de él. No es extraño, pues, que haya dedicado tan grandes esfuerzos a perfeccionar las reglas del razonamiento correcto y que —al igual que nosotros actualmente— comprendiera que los conceptos nacen, por cierto, de la experiencia, pero las impresiones

sensuales no son percibidas fielmente, sino que son siempre aquello que Marsilio de Padua, escritor italiano del siglo XIV, llamó *sensata experientia*. Ello es así porque la mente humana escoge, entre muchas impresiones, sólo aquellas que tienen para ella valor cognoscitivo en relación con determinado objeto de investigación, y nadie, en el proceso de la percepción, puede afirmar que está libre de los resultados de experiencias anteriores, ya racionalmente ordenadas. De este modo, toda mirada cognoscente al mundo se compone de elementos tanto "sensuales" como "racionales". Todavía Kant y sus sucesores sostenían que la razón sólo sintetiza el material proporcionado por los sentidos, pero más tarde resultó que este material entraña ya elementos racionales, lo cual inclinó a los filósofos modernos a reconsiderar la noción de límite entre "empirismo" y "racionalismo".

Así pues, si es justo calificar a Copérnico como pensador antes que astrónomo, también sería más acertado llamarlo creador y no descubridor del sistema heliocéntrico, dado que la palabra "descubrir" sugiere una actitud pasiva hacia la realidad, mientras que "crear" implica enriquecer nuestro conocimiento gracias a una posición activa hacia el mundo. Consideraciones semánticas aparte, el sentido esencial del descubrimiento copernicano sigue siendo invariable: independientemente del lugar en que le ha tocado vivir a la humanidad, entre miles de millones de cuerpos celestes, el hombre, con la sola fuerza del intelecto y la imaginación —que se nutre de la experiencia de los sentidos— es capaz de crear obras que señalan el rumbo a generaciones de pensadores, cuyo esfuerzo

mancomunado da origen a una imagen nueva y cada vez más perfecta de la Tierra. La aventura intelectual que el destino le permitió vivir a Copérnico fue algo que en la historia de la ciencia acontece una vez en cientos de años y por eso despierta admiración también en nuestra época, cuando en el lapso de una sola generación se han llevado a cabo tantos y tan grandes descubrimientos.

Capítulo 7

La importancia de Copérnico para el desarrollo de las ciencias naturales y humanas

Bogdan Suchodolski

1

Quizá pueda sorprender el título de este ensayo, en el que hablaremos de la importancia que tuvo Nicolás Copérnico, no sólo para el desarrollo de las ciencias naturales, sino también para el de las humanidades. Somos —al menos la mayoría— discípulos del siglo XIX, en el cual se separaron los destinos del conocimiento de la naturaleza de los destinos del humanismo y se intentó establecer principios metodológicos diferentes para cada uno de estos campos del saber humano. Vivimos en el siglo XX, en el cual el conflicto entre las ciencias naturales y las humanidades, que se expresa ante todo en la oposición de la técnica y la cultura, era y sigue siendo, en opinión de muchos, insoluble. Viendo amenazados nuestros valores fundamentales por el espectro de la guerra y la destrucción, amenazados en muchos ámbitos de nuestra vida por un desarrollo de la técnica que escapa al control de la sociedad, tendemos a creer que las riendas naturales y las humanidades están condenadas a vivir en un conflicto cada vez más dramático.

La reflexión sobre la obra de Copérnico da un mentís a este juicio, pues se trata de la reflexión sobre los destinos humanistas de una doctrina científica. Lo más importante de la historia de la asimilación de esta obra es precisamente el hecho de que se

convirtió en punto de partida de controversias que afectaron los fundamentos de la filosofía. Al reflexionar sobre la obra de Copérnico, pensamos no sólo en la historia del estudio de las estrellas: abordamos también la historia del hombre que las va conociendo. Estos dos aspectos, científicos uno y humanista el otro, quedaron indisolublemente unidos en la actividad de Copérnico y en la ulterior suerte de su doctrina.

La nueva ciencia del mundo, cuyas bases fueron echadas a principios del siglo XVI, parecía estar destinada a un reducido grupo de astrónomos. La segunda mitad del siglo XVI y todo el siglo XVII demostraron, sin embargo, que se trataba de una ciencia importante para todos los que querían conocer y comprender la situación del hombre en el seno de la naturaleza. Los seguidores de la ciencia de Copérnico eran perseguidos por la Iglesia, porque de sus tesis derivaban opiniones sobre los seres vivientes en este mundo. La Iglesia no estaba directamente interesada en el estudio de la Tierra, el Sol o las estrellas, pero le interesaba sobremanera lo que la gente pensaba sobre su situación en el universo. De esa manera se manifestó en la obra de Copérnico, y en toda la historia ulterior de esta última, la indisoluble unidad de los destinos de las ciencias naturales y el conocimiento del hombre.

¿En qué experiencias hemos de buscar la verdad sobre el hombre y la naturaleza? ¿En las del siglo XIX, que trataban de convencernos del antagonismo entre la ciencia y el humanismo, o en las históricas experiencias copernicanas que demostraron su unidad? Creemos que esta gran verdad de la historia europea se encuentra en el

sendero de las ideas de Copérnico. Cuando continuamos reflexionando sobre la obra de éste llegamos necesariamente a la conclusión de que la alianza entre las ideas de la ciencia y la cultura tiene sus raíces en la civilización griega, en la cual la imagen del mundo y la imagen del hombre se incluían mutuamente. No sólo la filosofía sino también el arte y ante todo el drama griegos son testimonio de la unión entre hombre y mundo. El concepto de logos y el de ethos, propios de la filosofía y el drama griegos, mostraban al hombre como ser sujeto a los grandes poderes de la existencia, pero al mismo tiempo, como ser que se rebela contra el destino escrito en las estrellas. La tradición griega era la tradición del destino, imperante tanto en el mundo de los hombres como en el de los dioses, pero era asimismo una tradición de rebeldía del hombre contra ese destino, simbolizada por la flamígera antorcha de Prometeo. Esta antorcha habría de ser el símbolo de la luz que da la rienda y del fuego que permite al hombre desarrollar la técnica. Con la luz del saber y el poder de la técnica, debía el hombre conquistar su dominio sobre el mundo, al que pertenecía y el cual, aunque le era adverso, podía ser sometido a la obediencia.

En el desarrollo de la cultura europea, la vida social, los conceptos metafísicos y el arte adquirirían formas totalmente diferentes a aquellas bajo las cuales habían existido en Grecia; pero aun así, el drama y la mitología griegas revivían una y otra vez en la conciencia europea, precisamente porque la problemática del lugar del hombre en el universo seguía teniendo la misma importancia; el desarrollo

de los conocimientos sobre la naturaleza y sobre el hombre se condicionaban mutuamente.

2

En la época del Renacimiento, que fue la época de Copérnico, se descubrieron nuevas dimensiones de esta misma problemática. En la lucha contra la concepción medieval del mundo y del hombre, los hombres del Renacimiento —grandes artistas y poetas, viajeros y científicos, políticos y guerreros— descorrieron el velo de una nueva faz del mundo y de la Tierra, interpretaron en forma enteramente nueva las ruinas y recuerdos del pasado, organizaron de manera diferente los estados y las ciudades y concibieron también de modo distinto la felicidad humana.

Esta época de grandes descubrimientos, que ponían de manifiesto una nueva forma del mundo material y espiritual, fue una época de gran valentía y grandes riesgos, una época de júbilo por las victorias del hombre sobre la ignorancia y la sumisión.

Hay algo simbólico en la admiración que los primeros artistas del Renacimiento experimentaban por David, que con valor y fuerza juvenil venció, contrariamente a lo que cabría suponer, a un enemigo mucho más poderoso. En su magnífica escultura florentina de mediados del siglo XV, mostró Donatello la juvenil silueta del vencedor, absorto ante su propia obra. De la misma época procede el David de Andrea del Castagno, quien representó al joven sobre el fondo de un dramático cielo, lleno de entusiasmo y admiración, una

mano en alto con los dedos violentamente separados como si fuesen garras, pregonando la grandeza del triunfo y la alegría de la victoria. Este símbolo del hombre triunfante aparece también en otra imagen del linde de los siglos XV y XVI, en el curioso cuadro de Giorgione con los tres filósofos. Mientras los dos más viejos contemplan este mundo con tristeza y enojo, el más joven, con un compás y una escuadra en la mano, los símbolos de la nueva ciencia, mira con esperanza y admiración el lejano paisaje, el cielo y el Sol que quiere investigar.

Nunca sabremos si este joven filósofo era, como quiere la leyenda, Copérnico. Pero aun cuando la imagen del tercer filósofo no sea un retrato, sigue siendo un símbolo mediante el cual mostró Giorgione la nueva modalidad de conocer el mundo, precisamente copernicana, opuesta a los antiguos discursos apriorísticos, abstractos y verbales.

Este nuevo método de investigar la realidad fue el que utilizaron todos los grandes viajeros, comenzando por el mismo Colón, en su obstinada y audaz exploración de la Tierra. Este método le permitió a Maquiavelo elucidar el mecanismo de las luchas políticas y la estructura del poder estatal. Perfeccionando este método, Leonardo da Vinci y Durero fueron más allá de los límites de la pintura y se convirtieron en teóricos del conocimiento de la forma material de la naturaleza y el cuerpo humano. Triunfos de este método fueron tanto la obra de Copérnico sobre la construcción del Universo, como el osado estudio de Andrés Vesalio, publicado en el mismo año: *De humani corporis fabrica*.

Fueron muchas y diferentes las recomendaciones concretas, pero lo esencial de este método cognoscitivo, el espíritu que alentaba a los hombres a obrar y pensar con atrevimiento, era la confianza en la razón, particularmente en la razón ayudada por la matemática.

Las excelencias de la Matemática fueron elogiadas en incontables ocasiones en aquellos tiempos. Copérnico era uno de sus partidarios más entusiastas y afirmaba abiertamente que el primer argumento en favor de su teoría era la sencillez del cálculo matemático. “Y tengo la impresión —escribía— de que es más fácil concordar con ello que devanarse los sesos con una casi interminable cantidad de círculos, como deben hacerlo quienes detuvieron la Tierra en el centro del universo.

Aquí hay que seguir más a la sabiduría de la naturaleza, que así como tuvo buen cuidado de no crear nada superfluo o inútil, de la misma manera en más de una ocasión proveyó de muchos efectos a una sola cosa.”

De este modo formuló Copérnico el problema central de la epistemología moderna: el problema de la razón humana y de las leyes de la naturaleza. ¿Cómo ocurre que aquello que conviene a la razón como verdad sea al mismo tiempo ley de la realidad? ¿Es la razón humana la que actúa tal como lo requiere la “sabiduría de la naturaleza”, o es por el contrario esta última la que funciona en concordancia con los requerimientos de la estructura de la razón?

De este mismo espíritu están imbuidas las palabras pronunciadas por Copérnico sobre su teoría, que ponía orden en la imagen matemática del universo: “...hemos descubierto en este orden la

asombrosa armonía del mundo... que sería imposible descubrir de otro modo”.

Cuando desde este punto de vista sometemos a un análisis la obra de Copérnico, descubrimos en ella y en la suerte póstuma que corrió, una expresión característica de la maduración de aquellos procesos en la civilización europea, gradas a los cuales el progreso de las ciencias naturales se unía al progreso de los conocimientos del hombre sobre sí misma Copérnico aparece en la historia de Europa simultáneamente con la primera gran crisis de las formas de confianza del hombre en sus propias fuerzas cognoscitivas.

¿En qué consistía esta primera crisis de confianza en la historia europea? Consistía en poner en duda la forma de confianza existente en el Medioevo en el gran sistema escolástico. El sistema escolástico era una expresión de confianza del hombre en la fuerza de la razón, unida de determinada manera a la estructura metafísica del ser. La escolástica se basaba en la fe, en el parentesco entre la razón humana y el ser divino, gradas a lo cual la eficacia de los esfuerzos cognoscitivos y del obrar humano quedaba asegurada por la metafísica del perfeccionamiento del ser.

El Renacimiento puso en tela de juicio esta forma de confianza, señalando que en el fondo se trataba de un dogmatismo que hacía caso omiso de la realidad. A la vez descubrió la posibilidad de una forma totalmente nueva de confianza del hombre en su propia capacidad de conocimiento, es decir, de conocer por medio de los sentidos la realidad empírica. Se trataba de ver con los propios ojos tanto el mundo natural como el histórico. El Renacimiento fue la

época del desarrollo del conocimiento sensorial, relativo a cosas y fenómenos concretos, del conocimiento del medio natural y del medio geográfico, y también del conocimiento del pasado, de las tradiciones, de los monumentos y las ruinas de la misma manera sensual y directa.

En el marco de esta crisis de confianza en el racionalismo dogmático, escolástico, y de una naciente confianza en las formas sensoriales de conocimiento de la realidad concreta, surge la nueva concepción gnoseológica de Copérnico, opuesta a ambas formas de confianza del hombre en su capacidad de conocer. Copérnico es el primero en emprender el gran camino del conocimiento científico moderno, igualmente opuesto a las dogmáticas especulaciones intelectuales y a la aceptación directa de los datos debidos a la experiencia sensorial. En muchas ocasiones se ha adscripto la grandeza de Copérnico a la valentía con que enfrentó autoridades y dogmas. Pero su grandeza se expresa, quizás en primer lugar, en que se opuso también a los datos directos de la experiencia sensorial, enseñando que el Sol ni se levanta ni se pone. Las enseñanzas de Copérnico constituían un acto de gran audacia, no sólo porque se oponían a las tradiciones clásicas, bíblicas y escolásticas; eran además —y tal vez en primer término— un acto de gran coraje intelectual, porque se oponían a la experiencia humana general, basada en datos sensoriales directos.

Desde la época de Copérnico comenzó a desarrollarse este nuevo método de conocimiento y gracias a él obtuvo la ciencia éxitos cada vez más frecuentes. Pero este camino, de conocimiento matemático

del mundo, permanecía en conflicto con la imagen del mundo proporcionada por la experiencia directa. Mientras la ciencia mostraba el mundo bajo formas cada vez más abstractas, el arte del siglo XVII, particularmente el flamenco, lo representaba como un conjunto de experiencias puramente sensoriales. El medio en el cual vivía el hombre parecía, desde el punto de vista artístico, un mundo de cualidades sensoriales, y de ninguna manera un mundo de esquemas matemáticos.

John Locke, a quien tanto debe la metodología del conocimiento científico, captó con singular nitidez el dualismo de estas dos concepciones del mundo. Analizando nuestras impresiones —nuestras ideas como diríamos hoy— Locke trató de demostrar que éstas son, por cierto, estados subjetivos del hombre, pero por la misma razón son la auténtica realidad del hombre. ¿Existe en verdad el color celeste?, preguntaba Locke. ¿Existe en verdad el celeste del cielo o el celeste de las flores? En opinión de Locke no tiene mayor sentido plantearse este tipo de preguntas. Puesto que el celeste existe como experiencia interna del hombre, el celeste existe sin lugar a dudas, independientemente de lo que diga la ciencia natural sobre su existencia real extrahumana. No tiene sentido preguntar si el celeste es verdadero o falso, el celeste simplemente existe. Y el arte, según Locke, debía ocuparse de esa realidad subjetiva, acerca de la cual no tenemos derecho a juzgar si concuerda de algún modo con la realidad objetiva, pero sobre la cual podemos decir fuera de toda duda que es nuestra realidad humana. La ciencia en cambio, se ocupa de esa realidad que no es

la realidad subjetiva de nuestra experiencia, sino la verdad sobre el ser tal como realmente es.

De esta manera se estableció en el siglo XVII el peculiar dualismo de las dos formas de confianza del hombre en sí mismo. Una de las formas consistía en que el hombre tenía confianza en sus propias experiencias sensoriales de la realidad en la cual concretamente vivía y que le eran presentadas por el arte; la segunda consistía en que el hombre confiaba en el conocimiento asensorial e irrepresentable de la realidad, en el conocimiento matemático y abstracto, fiel a la realidad misma aunque infiel a las vivencias y experiencias del propio hombre.

Volviendo a nuestros tiempos, podríamos preguntarnos si existe aún este tipo de dualismo y si existirá en el futuro. Si realmente, como dicen algunos sabios y filósofos actuales, cabe aceptar la tesis de las dos culturas del hombre, una científica, matemática, abstracta, asensorial, y desvinculada de los sentimientos y la imaginación del hombre; otra pictórica, plástica, concreta, viva, vinculada por medio de la literatura y el arte con la experiencia de la gente.

Al reflexionar sobre esta tesis de las dos culturas, creo que podemos esperar un período de nueva Integración de las ciencias naturales y las riendas humanas, es decir de ambas culturas. Y creo también que la Integración de estas dos culturas puede llevarse a cabo en razón del hecho de que la ciencia y el humanismo de hoy van adquiriendo formas diferentes a las que tenían en el siglo XIX y que condujeron al conflicto.

Esta nueva forma de las ciencias naturales y del humanismo guarda relación con el convencimiento de que el hombre llega a la verdad no tanto por una simple reconstrucción de la realidad, sino por su construcción, es decir creando la realidad. Las ciencias naturales superan hoy la etapa en la cual el único problema consistía en observar la realidad, y van entrando en la etapa siguiente, en la que la observación de esta realidad debe estar vinculada a la creación de la misma realidad que ha de ser objeto de observación. La energía atómica no existe por sí sola en la naturaleza; debe ser, por así decir, creada por los físicos, para que pueda ser objeto de sus estudios y observaciones. Lo mismo sucede en las ciencias sociales. Para saber qué es el hombre no basta observar el transcurso de la Historia en la cual éste se manifestó de determinada manera, sino que hay que crear una nueva realidad social en la que se manifiesta lo que el hombre realmente es y puede ser.

La convicción de que vamos conociendo la realidad por medio de la creación de una realidad nueva, es hoy común a la ciencia, la técnica y el arte. La idea de que la verdad es manifestación de la creación humana, que produce nuevas formas de realidad, es precisamente la convicción sobre la base de la cual se puede llevar a cabo la gran integración de las dos culturas, la científica y la artística. También es posible, por cierto, sostener la catastrófica opinión de que la ciencia y la técnica terminarán por destruir tanto a la naturaleza como a la vida humana. Mucho más fundada parece, sin embargo, la fe en que el progreso del conocimiento del mundo se irá convirtiendo en el manantial que alimentará la

capacidad del hombre de construir una realidad a la medida de sus sueños.

Y si desde este punto de vista contemplamos nuevamente la obra de Copérnico, descubriremos lo mucho que a él nos une. Cuando recordamos sus investigaciones, realizadas en la solitaria torre de Frombork casi sin instrumentos, y cuando lo comparamos con la situación actual, en la que el hombre emprende la conquista de las estrellas no sólo con ayuda de los más exactos instrumentos, sino también por medio de los vuelos espaciales, vemos cuánto nos separa de aquella sencilla y valerosa época. Pero al mismo tiempo comprendemos que los problemas de entonces siguen siendo los nuestros.

Copérnico nos convenció de que la vida intelectual del hombre que adquiere nuevos conocimientos del Universo debe poseer una forma diferente a la que tenía cuando se aceptaban obedientemente las imágenes tradicionales de la realidad. Nos persuadió de que el nuevo tipo de cultura intelectual requiere una nueva forma de existencia humana y de autoconocimiento del hombre. Cuando hoy, en la era atómica, ascendemos a un peldaño superior en el conocimiento de la naturaleza, la vida humana se hace más difícil y más responsable. Y se trata nuevamente, como entonces, del rigor en la investigación del cielo y del modelo de grandeza humana, del lugar de la Tierra en el Universo y del lugar del Hombre en la Tierra, es decir se trata, como entonces, de la gran alianza entre naturalistas y humanistas.

3

Este incremento de confianza en la capacidad cognoscitiva del hombre, que caracterizaba la conciencia de los hombres del Renacimiento, estaba unido de manera singular y dramática a la creciente inquietud que producía la denuncia y la destrucción de la imagen tradicional del mundo y el hombre. La audacia del pensamiento y la acción humana hirieron tambalear el cosmos ordenado del Medioevo, en el cual el hombre tenía objetivamente fijados su posición, sus tareas y sus responsabilidades.

Pero, ¿había esta audacia llevado al hombre al camino de la justicia y la felicidad? Esta era la desapacible pregunta que se oía con frecuencia cada vez mayor a fines del Renacimiento.

En Italia, el símbolo del ocaso del Quattrocento fue la actividad de Savonarola, quien condenaba la Florencia de los Médicis, el boato de su vida opulenta y la magnificencia de su cultura. Fierro arrojó a las llamas sus obras "paganas"; Botticelli quemó sus cuadros paganos. ¿Cuál es el verdadero sentido de la vida? ¿Qué es la creación humana? ¿Da la felicidad la riqueza? En el original cuadro de Carpaccio, en el Museo Cirico de Venecia, vemos a dos ricas venecianas reposando en la terraza en compañía de un enano, un pavo real y extravagantes perros; las mujeres tienen la mirada fija en la lejanía, con expresión torpe e insensible, como si esperasen un milagro que las librara del tedio y el vacío que las rodea.

Al mismo tiempo, al Norte de los Alpes adquieren violencia los conflictos sociales y religiosos. El poder secular y el eclesiástico pierden autoridad. Las guerras campesinas, y especialmente el

levantamiento de Tomás Munzer, a pesar de ser ahogados en sangre, sacuden el orden secular existente. Lutero, aunque defiende el orden social y exige el castigo de los campesinos amotinados, asesta un golpe similar al orden religioso, a la Iglesia Romana.

Todo se torna inseguro; la crueldad y la destrucción toman el mando. Durero da un cuadro de esta época en quince grandes xilografías tituladas "El Apocalipsis", en las que se representa a sí mismo como "*vir dolorum*". Los cuadros de Bosch muestran toda la desmedida crueldad de la vida, el infierno de tentaciones sensuales que se ha apoderado del mundo. En este mundo terrible, el "hombre verdadero" debe —como Cristo— llevar su cruz en medio de las burlas de los sabios y del populacho. La protesta popular contra este mundo lo representa como "bajel de tontos"; el gran humanista Erasmo de Rotterdam mostrará la locura del mundo en sus discursos sobre la necesidad, llenos de tragedia e ironía. Su amigo inglés Tomás Moro pagará con su cabeza por haber desenmascarado este orden social, en el cual "las ovejas devoran a la gente".

Y cuando de esta manera se derrumba el orden tradicional de la vida, al tiempo que se extinguen los encantos y las esperanzas del Renacimiento, el solitario astrónomo polaco prepara otro golpe a las ambiciones y a la confianza humanas. Esta tierra en que el reino de los humanos se mostraba tan inhumano, no iba a permanecer como punto inmóvil y central del Universo. Como uno de los tantos astros, iba a girar por una órbita exactamente fijada, mundo gris y solitario.

Y es así como el poder del conocimiento humano, al despertar en el hombre una sensación de grandeza, descubría una estructura del mundo que se convertía en fuente de angustia, pues le demostraba su soledad y su pequeñez. El Universo dejaba de ser el Cosmos creado por Dios para servir de morada al hombre. El orden del Universo se convertía en orden matemático, que el pensamiento humano captaba como mucho más grande, pero también extraño y frío desde el punto de vista de la existencia humana.

Sólo un reducido círculo de matemáticos supo apreciar la teoría de Copérnico como un triunfo del pensamiento humano, emparentado con la armonía matemática del mundo. En la mayoría de la gente, y también entre algunos científicos, esta teoría despertó indignación y temor durante siglos. Parecía una concepción que destruía la grandeza humana y anulaba la significación y la dignidad de su puesto en el mundo. Esto era precisamente lo que no podían perdonarle a Copérnico hombres de la talla de Melanchton, Bacon y Comentas. Pero nadie experimentó más dolorosamente esta dramática contradicción entre la grandeza y la pequeñez del hombre, que Pascal, quien amaba la matemática pero al mismo tiempo sentía muy profundamente las necesidades de la existencia Humana, Fue él quien comprendió que de allí en más, el inexorable destino del hombre serían su poder y su nada, su grandeza y su pequeñez.

¿Se daba cuenta Copérnico de las dramáticas contradicciones que suscitaba en los hombres su teoría de la Tierra y las estrellas? Hay muchos indicios de que tenía plena conciencia de la grandeza de la concepción que proponía. Pero esta conciencia estaba acompañada más bien del temor de que su teoría pudiera ser objeto de burlas por extravagante, o quizás hasta declarada sacrílega. Bien sabemos cuánto titubeó antes de publicar los resultados de sus investigaciones.

Por el contrario, nada indica que Copérnico haya sufrido los dramas que su crítica, destructora de la tradicional visión de la Tierra como punto inmóvil y central del Universo, causaba en los espíritus a medida que su conocimiento se difundía en Europa.

En los escritos de Copérnico, y con seguridad también en la conciencia de su autor, rema un clima de paz y armonía, un clima de seriedad y júbilo. No se nota ningún elemento trágico, ningún presentimiento de la tormenta que se aprestaba a desencadenar.

Copérnico no podía tampoco prever que medio siglo más tarde perecería en Campo di Fiori, Giordano Bruno, entusiasta adepto de su ciencia, y que un poco más tarde, por la misma razón, Galileo se encontrarla en las garras de la Inquisición. Pero es extraño que no haya intuido que la verdad que pregonaba era una verdad estremecedora más que consoladora.

¿Por qué ocurría así? ¿Por qué aquel que, durante por lo menos dos siglos, fue para muchos motivo de desasosiegos interiores y dio lugar a violentas polémicas y crueles persecuciones era, si hemos de dar crédito a los testimonios históricos, un hombre universal del

Renacimiento, un hombre de armonía interior, en plena consonancia con la gran armonía del mundo?

Creo que encontraremos la respuesta si tomamos en cuenta el hecho de que la concepción de Copérnico era aceptada por la gente de modo muy pardo. La teoría de Copérnico era recibida como la teoría que había derribado la Tierra de su posición privilegiada y le había otorgado movimiento. Aún hoy se tratan las enseñanzas de Copérnico de modo similar. Pero este es un enfoque muy estrecho. Copérnico no sólo “movió la Tierra” sino, ante todo, “paró el Sol”. Su ciencia implicaba una grandiosa concepción del universo cuyo centro y fuente de energía vital era el Sol. Precisamente por esto estaba tan llena de paz y armonía.

“Y en medio de todas —escribía Copérnico sobre las estrellas— tiene su morada el Sol. ¿Acaso podríamos hallar en éste, el más bello de los templos, mejor lugar para esta antorcha Imperecedera que aquel desde el cual puede iluminar todo al mismo tiempo? Pues no sin razón lo llaman algunos faro del mundo, *lucerna mundi*, otros su razón, otros también su soberano. Trismegistos lo llama el dios visible, la Electra de Sófocles, el omnividente. Y en verdad, el Sol, como sentado en un trono real, dirige la familia de planetas que se afana a su alrededor. La Tierra tampoco está privada de los servicios de la Luna, pero el Satélite es su más cercano pariente, mientras que la Tierra es fecundada por el Sol y queda preñada, para dar a luz todos los años”.

Copérnico no estaba solo en sus opiniones heliocéntricas. El Renacimiento era un periodo de gran entusiasmo por el Sol, al que

contribuían el neoplatonismo, las tradiciones pitagóricas, la filosofía estoica y algunas corrientes religiosas místicas y franciscanas. También estimulaban ese entusiasmo los estudios ópticos del Medioevo, con su distinción entre *“lumen”* y *“lux”*, importante desde el punto de vista filosófico. Recordemos los escritos de Ficino, particularmente la *Orphica Comparatio Solos ad Deum* (1480) y *De Solé* (1492), en los que demostraba la fuerza vital del Sol, denominándolo “tabernáculo” cósmico, que contiene la fuerza creadora manifiesta e imaginable y que, tal como el rey en su trono, se halla entre los planetas para gobernarlos. Recordemos, por otra parte, cuán fascinado por el sol estuvo Colón.

Huelga recordar los apuntes de Leonardo da Vinci, en los que podemos leer que el Sol está inmóvil en el Universo y que “su luz ilumina todos los cuerpos celestes que se encuentran en el Universo, y todas las almas proceden de él, pues el calor de los seres vivos viene del alma y no hay otro calor y otra luz en el Universo”. Esto pensaba Leonardo sobre el Sol y hablaba indignado sobre aquellos “que prefieren adorar a los hombres más que al Sol, sin ver en el mundo cuerpo de mayor magnificencia y virtud que el de ellos”.

Este concepto renacentista del Sol se reflejó en la tienda de Copérnico. El universo de Copérnico era precisamente ese universo cerrado en el que reinaba el Sol, la “gran lámpara del mundo”, magnífico tabernáculo de la Providencia. En los biogénicos rayos del Sol giraba la Tierra, protegida y tranquila, feliz con el calor y la luz solar.

Es digno de recordar que, contrariamente a la actitud general de católicos y protestantes ante el sistema de Copérnico, la esperanza y alegría contenidas en él fueron percibidas por el cardenal de Berulle. En tiempos en que la Inquisición se disponía a enjuiciar a Galileo, aquél afirmaba que *“un excellent esprit de ce siècle a voulu maintenir que le Soleil est au centre du Monde... Cette opinion nouvelle, pett suivi en la Science des Astres, est utile et doit etre suivie en la Science de salut. Car Jesús est le Soleil immobile en sa grandeur, et movant toutes chases”* (*Discours de l'Etat et des Grandeurs de Jesús, second discours 1622*).

Si el juicio del cardenal de Berulle sobre el sentido metafísico y religioso de la teoría de Copérnico era un ejemplo aislado, la idea de un “mundo solar” por el contrario, ganaba en Italia cada vez más adeptos, como lo atestiguan las numerosas ideas arquitectónicas y sociales de aquellos años, relativas a la edificación de ciudades felices. Esta corriente se manifestó también en la obra de Campanella.

Un equivalente de la visión cósmica del mundo solar de Copérnico era la visión de orden social y belleza trazada por Campanella en su obra titulada, remitiéndose a las ricas tradiciones italianas y antiguas, *La ciudad del sol*.

Pero no olvidemos que la “ciudad del sol” de Campanella era una utopía. Su visión era un sueño, o quizá también una esperanza. No era realidad. ¿Significaba esto que el hombre, a pesar de todo, no pertenece a este mundo solar? ¿Significaba que estaba para siempre unido al frío terrestre?

Volvamos todavía por unos instantes a las concepciones heliocéntricas del Renacimiento. El entusiasmo solar de Ficino no era compartido por todos. El poeta francés del amor y la alegría, Ronsard, en sus poemas cosmogómicos *Hymne des Daimons*, *Hymne des Astres*, *Hymne des Etoiles* y también en su *Discours de Vexcellence de l'Esprit Humain*, si bien seguía el sendero marcado por Ficino, advertía que a Apolo se opone Saturno y su melancolía, y que al Sol, "ardiente alma del mundo", se oponen las estrellas, "hijas de la noche".

También Leonardo, aunque adoraba el Sol, sabía que al hombre no le es dado alcanzarlo en su grandeza, ni siquiera con la mirada. En este sentido hablaba del "*splendore del corpo solare nel quale non si puo fermare l'occhio umano*".

Esta dualidad era percibida de manera muy dramática por Miguel Ángel. Su "Juicio Final" de la Capilla Sixtina, pintado en el mismo año en que Copérnico escribió su *Commentariolus* (1512), mostraba la oposición de la luz y las tinieblas. Quizá sean un poco aventuradas las Interpretaciones según las cuales este gran fresco es una visión artística del heliocentrismo, pero no cabe duda de que el Cristo de Miguel Ángel unía en sí rasgos de Júpiter y Apolo, que era un sol que da vida y al mismo tiempo quema todo cuanto vive.

Esta dualidad de luz y tinieblas, tan expresiva en las alegorías del mausoleo de los Médicis, era también tema de algunos versos de Miguel Ángel, especialmente de su soneto "Ogno van chiuso". Cuando todo vive y florece al sol, únicamente el hombre crece a la

sombra. *“Ma l’ombra sol a pianlar l’uomo serva”*, sólo el hombre aprecia más que el día la noche en que ve las estrellas.

Las ideas expresadas por Miguel Ángel en la pintura, la escultura y la poesía fueron objeto de disquisiciones más teóricas por parte de Giordano Bruno y Bernardino Telesio. El primero mostró en el quinto diálogo de *Eroa*, refiriéndose al mito de Diana y Anacteón y a la ira de Apolo, la fuerza intrínsecamente contradictoria del Sol, que da la vida y la destruye a la vez. Y aunque el hombre es quizás “Heliotropo” —así se llama uno de los personajes del diálogo “Della causa, principio e uno”— no puede sin embargo mirar al Sol. Quien mira al Sol, ve únicamente oscuridad.

Análogamente, Telesio muestra en *De rerum natura* (1586) al Sol como dador de vida (*“dator vitae”*) pero admite dos principios mutuamente opuestos en la estructura del ser: junto a la luz, la claridad, el calor y el movimiento, está el “elemento terrestre”, la Oscuridad, la inercia y el frío.

Este dramatismo del Sol y la Tierra se manifiesta también en la vida y la obra de Campanella. A pesar de sus sufrimientos en la cárcel, éste escribe su himno “Al Solé”, que es *“padre di natura i degli astri”* y ruega a Dios que lo ilumine, ya que los hombres le quitaron la luz del Sol. *“Venga la luna tua”*, dice y sueña con una futura ciudad de hombres que sea ciudad del Sol.

Pero ¿en qué sentido y en qué medida pertenece el hombre a la “Ciudad del Sol”? ¿En qué medida y en qué sentido son sus dominios las sombras de la Tierra?

Los escritores del Renacimiento percibían la dialéctica del destino humano precisamente en el hecho de que una existencia solar es el irrealizable anhelo del hombre. En la oscuridad y el frío éste anhela el Sol, pero cuando mira al Sol sus ojos no perciben más que oscuridad, y si pudiera acercarse a él perecería quemado. Pues, como ya lo advirtiera Miguel Ángel, el hombre no es como el Fénix, que podía perecer al Sol y renacer gracias a él.

Cuando decimos que lo que hizo Copérnico fue más detener el Sol que mover la Tierra, descubrimos el singular destino que la Historia deparó a su teoría. Pues precisamente en la historia de la humanidad su actuación fue la del que derribó a la Tierra de su privilegiada posición y le ordenó, como a uno de los tantos astros, peregrinar por el Universo. Toda la discusión giraba en torno de lo que Copérnico había hecho con la Tierra, y no con el Sol.

¿Por qué ocurrió así? No sólo debido a que la manera en que Copérnico concebía el Sol era más bien una visión filosófica y poética incluida en un discurso de precisas consideraciones matemáticas. Seguramente también por el hecho de que esta concepción daba por sentada la existencia de un mundo cerrado, sobre el cual había de reinar precisamente el Sol. Y esta concepción, influida por tradiciones de la Antigüedad y del Medioevo, no se sostuvo por mucho tiempo.

Pocas veces existió en la Historia un conflicto tan profundo entre la grandeza del hombre y de su obra, y el significado histórico de lo que logró, como en el caso de Copérnico. Durante siglos —y aún hoy día— éste fue para el común de la gente aquel que habla movido la

Tierra, y por esta razón algunos lo combatían y otros lo veneraban. Pero él mismo estaba convencido de que el sistema que había creado detenía al Sol para convertirlo en centro del Universo. Esta idea no sobrevivió mucho tiempo a Copérnico, pues —trágica paradoja de la Historia— sus adeptos, al seguir sus razonamientos, llegaron, como Giordano Bruno, a la conclusión de que el mundo es Infinito. En este mundo infinito, el Sol cesaba de ser fuente de vida y todo se diluía en las inmensidades del espacio cósmico.

Precisamente por esto, el desarrollo posterior de la idea copernicana del movimiento terrestre estuvo más vinculada al concepto de infinitud del mundo, que a la visión de un Sol inmóvil colocado en su Centro.

Más de cuatro siglos nos separan de los tiempos en que el astrónomo polaco, desde su torre de Frombork, observara el cielo lleno de estrellas y misterios. Los instrumentos de que disponía eran primitivos; las autoridades y la tradición empañaban el cuadro del Universo. La verdad que descubría en estas difíciles condiciones despertaba temor e inquietud. Era, como él mismo lo reconocía, “difícil y casi imposible de creer, por oponerse a las opiniones generalmente aceptadas”.

Cuán lejos hemos penetrado hoy, en la época de magníficos telescopios y vuelos cósmicos, en este Universo infinito y misterioso; qué profundos cambios ha sufrido la vida social de los hombres; cuán intensa y cotidiana se ha vuelto la búsqueda de la “Ciudad del Sol”, aquí, en la tierra.

Y aunque la profundidad de estos cambios es tan grande y tanto nos separa del hombre que movió la Tierra, nos seguimos preguntando con inquietud y esperanza, como entonces, ¿cuál es el verdadero Sol de la vida humana? Y seguimos sin saber si el hombre es un ser nacido al calor del Sol y encaminado hacía él, o si su reino son el frío y las tinieblas de la noche en que no vemos sino las estrellas.

Capítulo 8

Copérnico como economista

Edward Lipinski

Los comienzos del siglo XVI en Europa constituyen un periodo en el cual, dentro del marco de las relaciones de producción feudales, se desarrollan a un ritmo acelerado nuevas relaciones de tipo capitalista. Se expanden las fuerzas productivas. Se desarrollan y fortalecen las formas capitalistas de propiedad de los medios de producción, en tanto que en las ciudades y aun en el campo, los pequeños productores son reducidos a la condición de proletarios. Se acentúa el proceso de desintegración de la economía natural; el producto se transforma en mercancía; se extinguen los vestigios del antiguo aislamiento económico de las ciudades, provincias y regiones. El crecimiento de las fuerzas productivas, el desarrollo de la división social del trabajo, la declinación de las formas feudales de producción artesanal y el aumento de la comercialización de la producción agrícola dan lugar a una considerable expansión del Intercambio, tanto interno como con el exterior. La producción deviene producción para el mercado, y los bienes producidos, mercancías. El mercado mundial se fortalece y amplía. El desarrollo de la producción capitalista determina cambios en la estructura y carácter del comercio internacional. En el mercado Internacional se empieza a comerciar no sólo con especias de la India, paños, cueros, pieles, etc, es decir artículos de lujo, sino además, en escala creciente, con trigo, maderas, hierro. El dinero acumulado por los

comerciantes se transforma en capital. No obstante el desarrollo del mercado interno, predomina el comercio exterior. Ello explica el hecho de que el pensamiento económico de la época conceda tanta importancia precisamente al dinero y al comercio exterior. Hace su aparición el llamado "bullionismo" o bien la orientación denominada por Marx sistema monetario (Monetarsystem). Surgen las primeras nociones acerca de "la economía nacional", categoría no conocida por el pensamiento medieval. Se formulan las primeras concepciones de la riqueza nacional; nacen los conceptos de hacienda pública y política económica nacional, en oposición al pensamiento escolástico medieval que presentaba un carácter universal. Surge el convencimiento de que cuanto más oro y plata posee un país, tanto más rico es, y estos metales pueden obtenerse exportando mercancías. Los metales preciosos son riqueza, puesto que expresan, en una forma universal e inmutable, la abundancia, el exceso, aquello que queda, que no ha sido consumido y que, precisamente por eso, es "riqueza". El oro y la plata llegan a ser signos materiales: de algo que comienza a adquirir la más alta significación, es decir, la acumulación; el ahorro.

Esto explica también que el postulado de "buena moneda", originado por la expansión del comercio Internacional, haya adquirido categoría de postulado esencial. Las prácticas monetarias del estado feudal se habían convertido en obstáculos para el desarrollo de las fuerzas productivas. De este conflicto surgirían nuevas teorías económicas.

No es extraño, pues, que Copérnico se haya convertido en un teórico del “buen dinero” y que, además de combatir las concepciones feudales acerca del dinero, haya encarado los problemas monetarios desde un punto de vista puramente económico, o sea como un dominio sujeto a la acción de leyes objetivas. En el siglo XVI, el comercio báltico reviste para Europa una importancia superior a la del comercio con las nuevas colonias, y la ruta del Báltico es una vía fundamental del intercambio internacional. En Gdansk florece el comercio de materias primas, suministradas sobre todo por Polonia, para las cuales existe una gran demanda en los mercados de Occidente. Esto arroja luz sobre el hecho de que, precisamente en este país, haya nacido la “moderna” teoría monetaria. No hay duda de que el tratado de Copérnico fue la primera formulación económica de los tiempos modernos, la primera en superar el ámbito conceptual del mundo feudal del medioevo.

En sus recomendaciones acerca del dinero fuerte, Copérnico subraya que, gracias a ese dinero, el Estado Polaco ha de incrementar su riqueza, aun cuando las personas particulares pudieran sufrir pérdidas temporarias como consecuencia de la reforma. El trabajo de Copérnico constituye un desafío a las concepciones tradicionales, superadas por el curso de los acontecimientos. El pensamiento de Copérnico sobre la reforma monetaria no logrará popularidad ni reconocimiento público, debido a su categórica toma de posición en contra del abuso del derecho a acuñar moneda con fines públicos y privados. Desde hacía algunos siglos, a pesar de estar bastante difundida la opinión de que el

poder adquisitivo del dinero debe ser constante, y de que la acuñación de moneda no puede considerarse como fuente de ingreso del gobernante, predominaba una práctica completamente diferente: en la mayoría de los países era corriente el envilecimiento de la moneda, o sea la disminución de su contenido en plata, sin que ello alterase su valor nominal. Las necesidades fiscales eran consideradas por el gobernante más importantes que las del comercio e intercambio.

Los beneficios obtenidos por la acuñación de moneda pueden ser de diversa índole y dependen sobre todo de cuanto mayor sea el valor nominal de la moneda en relación con el valor del metal. Durante el siglo XV, por ejemplo, en la casa de moneda de Viena, esa diferencia ascendía a un 13% del valor del metal, de la cual un 7,7 % correspondía a los costos reales de acuñación; alrededor de un 5 % a las ganancias de las personas vinculadas a la casa de moneda, y sólo un 0,4 % a los ingresos del soberano²⁷.

Quienes percibían los más altos ingresos por la acuñación de moneda eran los administradores y empleados de la casa de moneda. Las técnicas primitivas utilizadas hacían imposible un control riguroso. En una ordenanza polaca del año 1526 se prevé la devolución al maestro acuñador de las pérdidas ocasionadas por la refundición de moneda y la refinación de la plata. Grandes pérdidas se producían particularmente durante la fundición del así llamado *pagamentum* —monedas viejas, objetos y desechos de plata, etc.—. El tesoro del Reino cubría igualmente los costos de los equipos.

²⁷ L. von Ebengreuth, *Allgemeine Münzkunde und Geldgeschichte des Mittelalters un der neueren Zeit*, Munich, 1904, p. 217.

Además de ello, el tesorero recibía 10 libras mensuales; el maestro acuñador percibía un salario semanal de 8 libras más 2 zlotys a título de arriendo, y adicionalmente 2 grosz por cada libra de plata amonedada; dos escribanos obtenían 1 zloty y 12 grosz semanales, y el arzobispo de Gniezno y el voivoda de Cracovia recibían trimestralmente 25 libras cada uno a título de participación en el toque de monedas. El tesorero real, el maestro acuñador y otros privilegiados hicieron fortuna gracias a la acuñación de moneda. Sombart ha descrito este fenómeno²⁸.

La fabricación de moneda resultaba en aquellos tiempos sumamente costosa. La sola refinación de la plata tenía un costo considerable debido al alto precio de los materiales para amalgama y a los elevados costos de fundición, la cual ocasionaba importantes pérdidas. El sello era estampado individualmente en cada moneda²⁹. Los costos netos de acuñación fueron estimados por Decjusz en 24 grosz por cada 10 zlotys, es decir, 8 en suma, la diferencia entre el valor del metal y el valor nominal de la moneda —*Schlagschatz*— ascendía a 30 %. Sin embargo, los mayores ingresos provenían de la “recolección”, o sea la eliminación de las monedas viejas y su adquisición a un precio menor. Ello equivalía a una confiscación parcial de los haberes monetarios de la población. Conocida es la práctica de envilecimiento de la moneda utilizada por los reyes de Francia, comenzando por Felipe IV el Hermoso (siglo XIII). En ese país se aceptó el principio de que la libra debía ser considerada como unidad invariable de valor, Independiente del contenido en

²⁸ W. Sombart, *Der moderne iCapitalismos*, 1925, t. I, p. 652 y sgts.

²⁹ L. von Ebengreuth, op. cit, p. 221-222.

metal. En las ordenanzas monetarias se prohibía la concertación de contratos en unidades de peso, sobre la base del principio de que *pecunia vis est, non est materia* (el dinero es fuerza y no materia) y de que sólo del Estado emana el poder de liberar de los compromisos contraídos inherente a la moneda.

El "nominalismo" monetario, junto con las prácticas de Incesante manipulación de la moneda —consistentes en el envilecimiento o "mejoramiento" del dinero con el fin de proporcionar ingresos al soberano o bien al grupo de señores feudales que tenían el señorío de la moneda— significó, a medula que se expandía el intercambio, un obstáculo creciente al desarrollo de las fuerzas productivas. De allí que la lucha, tanto contra el "dominalismo" monetario —que consideraba la acuñación de moneda como fuente de ingresos fiscales—, como contra el "nominalismo", constituyese una acción progresista, acorde con la necesidad de establecer condiciones favorables para el desarrollo de las fuerzas productivas.

Por su penetrante pensamiento y realismo, Copérnico supera a todos sus contemporáneos en el dominio de la teoría monetaria. Corresponde considerarlo como el primer economista que haya formulado, en términos precisos, la ley que rige la circulación monetaria, conocida como ley de Gresham (por el nombre de un autor considerablemente posterior que, por lo demás, nunca formuló tal principio). Esta ley establece que si se hallan en circulación monedas (acuñadas de metal precioso) de la misma denominación, es decir, de igual valor nominal, pero de diferente contenido en metal puro —por ejemplo, plata—, las monedas

mejores, más pesadas, con más alto contenido, escaparán a la circulación y serán fundidas, enviadas al extranjero o atesoradas. Se considera igualmente que Copérnico fue el creador de la teoría cuantitativa del dinero, según la cual el poder adquisitivo de éste está determinado por la relación entre la cantidad de dinero circulante y la cantidad de mercancías en circulación. Sin duda, fue Copérnico uno de los primeros en advertir las consecuencias negativas de la existencia de una cantidad excesiva de moneda, pero ello no tenía nada en común con la "teoría cuantitativa" *sensu stricto*.

En aquellos tiempos no se discutía aún sobre los problemas relativos a la magnitud de la masa monetaria; no existía todavía conciencia de que a través del aumento de esta última era posible activar el proceso económico. El aumento inflacionario de los precios tenía su origen en el envilecimiento de la moneda. El único problema que atraía la atención de los estudiosos durante el siglo XV y comienzos del XVI era el del *valor intrínsecas* de la moneda, su contenido en metal precioso, a diferencia del *valor impositus*, su valor nominal; en otras palabras, el problema del valor real en contraposición al valor estampado en la moneda.

Durante la Edad Media, reina la llamada "teoría dominalista" del dinero. De acuerdo con ella, el soberano tiene el derecho exclusivo de acuñar moneda, así como de regular las medidas. En este período el ámbito de las funciones del Estado es limitado, ya que éstas son cumplidas en grado considerable por los señores feudales. No existe un sistema impositivo desarrollado, rige el principio de

que el soberano tiene el derecho de gravar a sus súbditos con impuestos sólo en ocasiones excepcionales, por ejemplo, en caso de guerra. Toda la carga impositiva recae sobre los campesinos y sobre las ciudades, en tanto que la Iglesia y los señores feudales están liberados de impuestos. Las principales fuentes de ingresos del soberano son sus tierras, los derechos de aduana y la acuñación y envilecimiento de moneda.

El desarrollo del comercio, en especial del comercio Internacional, así como la expansión de la producción mercantil durante los siglos XIII y XIV ponen de manifiesto la contradicción existente entre los intereses señoriales y las necesidades del comercio. Los mercaderes que compran y venden artículos de origen extranjero están interesados en la buena moneda, puesto que en el Intercambio internacional realizado en las grandes ferias, sólo era aceptado el dinero fuerte, valorado en relación con su contenido en metal noble. En tal contexto surge la oposición al derecho feudal a acuñar moneda con fines fiscales, y la hasta entonces generalizada práctica de adulteración de la moneda comienza a ser objeto de críticas. En las postrimerías de la Edad Media los problemas monetarios constituyen la preocupación principal del pensamiento económico. La creciente función del intercambio mercantil lleva a un primer plano los intereses de aquellos grupos sociales que desempeñan un papel activo en tal- intercambio, y gracias al cual viven y obtienen ganancias. A menudo, los grandes mercaderes son también prestamistas. El envilecimiento de la moneda los afecta igualmente

como acreedores. De este modo, sus intereses entran en contradicción con los intereses fiscales del soberano.

Pero el problema monetario no se reduce únicamente al envilecimiento de la moneda. El cercenamiento de monedas, la falsificación, el retiro especulativo de la circulación, la refundición y las fugas al exterior complican las relaciones financieras, obstaculizando el desarrollo del comercio y aumentando los momentos de riesgo e inseguridad. Además, no sólo el exceso de moneda envilecida ocasiona el caos en las relaciones económicas: a menudo se produce el fenómeno opuesto, la escasez de moneda, la Insuficiencia de metal noble. Intervienen aquí no sólo cambios originados por las variaciones de la producción de oro y plata, sino también por oscilaciones de la balanza comercial. Si un país tenía, por ejemplo, una balanza comercial excedentaria, obtenía un margen excedentario de metal, disponiendo así de una cantidad suficiente de material monetario. En el caso contrario, se producía una relativa escasez de moneda, que provocaba quejas por la falta de dinero. Parecida situación existía en caso de ser introducida al circuito monetario una cantidad considerable de dinero envilecido, que participaba en las transacciones junto a la antigua moneda buena. Ello daba origen al proceso acostumbrado: el mejor dinero es retirado de la circulación, fundido, y queda únicamente la mala moneda. Los comerciantes volvían a protestar por la escasez de dinero fuerte, indispensable en las operaciones comerciales.

Por todo esto, surgen ocasionalmente disposiciones que prohíben sacar del país metal precioso y moneda, e Impiden a los

comerciantes nacionales viajar al exterior y fomentar los viajes de comerciantes extranjeros al país en cuestión, prácticas estas últimas que, en su conjunto, constituyen las bases de la política "bullionista".

En otras oportunidades, el aumento de pagos al exterior producía un incremento de la demanda de plata. Ello provocaba el alza del precio de mercado de este metal, desatando el proceso de retiro de las monedas mejores, así como su envío fuera del país. Si el precio de la plata pagado por la casa de moneda permanecía invariable y por debajo del precio de mercado, los comerciantes no abastecían de plata a la casa de moneda, lo cual originaba a menudo la prolongada inactividad de ésta. En tales circunstancias se multiplicaban las prohibiciones de exportación de metal, que, naturalmente, resultan poco eficaces.

La única salida para una situación como la descrita era la acuñación de moneda de más bajo contenido en metal o de menor peso. Tal envilecimiento de la moneda no era determinado solamente por consideraciones fiscales, sino que denotaba además la necesaria devaluación, que, a su vez, frenaba las fugas de moneda, elevando la cotización de monedas extranjeras y, por consiguiente, los precios de las mercancías importadas.

Todo parece indicar que en la Polonia de comienzos del siglo XVI el comercio exterior arrojaba un saldo positivo. Algunas mercancías eran importadas principalmente para su reexportación, como en el caso del ganado proveniente de Moldavia o el cobre húngaro. Para corroborar este supuesto, puede añadirse el hecho de que el

comercio inglés u holandés con los países bálticos era notoriamente deficitario para éstos³⁰. Desde Polonia se exportaba trigo, maderas, ganado, brea, etc., en tanto que las Importaciones correspondían principalmente a productos textiles. Resulta bastante sintomático que en todo el período 1502-1548, la casa de moneda de Cracovia sólo permaneciera en actividad durante 16 años. Algo parecido puede decirse de las casas de moneda de Gdansk, Torun, etc. Ello debe ser atribuido seguramente a una balanza comercial excedentaria y al aflujo considerable de moneda extranjera.

Copérnico se ocupó en especial de los problemas monetarios, pero el dinero era para él sólo un factor entre los muchos relacionados con el desarrollo económico y cultural de un país.

El dinero adulterado, razona Copérnico, arruina el comercio internacional; el dinero fuerte, en cambio, conduce a su expansión. Sin embargo, el comercio exterior no es la única base de la riqueza de un país. De los trabajos de Copérnico resulta fácil concluir que el requisito esencial de este comercio es el desarrollo de la producción, el crecimiento de la magnitud del trabajo productivo. La reforma monetaria, la eliminación de los excesos de moneda, la consolidación de un circuito permanente de dinero fuerte, la disminución de la inseguridad, el riesgo y la especulación, todo ello brinda condiciones apropiadas para el desarrollo de la producción, de la laboriosidad, para el aumento del número de trabajadores y el florecimiento de la ciencia y la cultura. "Aquellos países en los cuales circula la buena moneda —dice Copérnico— poseen obras de

³⁰ Cf. H. Wilson, *Treasure and Trade Batanees: The Mercantilist Probletn*, "The Economie History Review", 1949, N° 1, p. 153 y otras.

arte, excelentes artesanos y bienes en abundancia." La mala moneda, por el contrario, fomenta la pereza y la inactividad prolongada. Decaen las artes y sobreviene la escasez.

Estas palabras no sólo constituyen la descripción de un país "rico", sino que entrañan además toda una teoría económica, un intento de análisis de cómo un país llega a ser rico. ¿Qué es para Copérnico un país "rico"? Es aquel que posee obras de arte, buenos artesanos, una población abundante y laboriosa; un país donde son pocos los mendigos y la gente ociosa y donde abundan los bienes. En tales condiciones florecen la ciencia y las bellas artes.

Sabemos que durante el Renacimiento la producción, incluida la de carácter capitalista, consistía principalmente en la elaboración de artículos de lujo, destinados a satisfacer las necesidades de la Iglesia, de las cortes y de los ricos. Esta producción tenía un carácter artesanal, en el sentido de calidad artística, y estaba integrada por objetos costosos y bellos. Durante el Renacimiento, se importaban desde Italia, Flandes e Inglaterra, paños de alto precio y tejidos de seda, joyas y obras de arte. Los países atrasados exportaban lana, trigo, maderas, es decir materias primas, alimentos y materiales de construcción. Al desarrollar su postulado del dinero fuerte, Copérnico tiene en mente el ideal de un país que vive en la abundancia y anhela que su país natal se aproxime a ese ideal. Así como en el siglo XVII Holanda fue el país-modelo, durante el siglo XVI esa condición correspondió a las ciudades-estados de la Italia septentrional, en particular, Venecia.

La buena moneda es considerada por Copérnico como condición básica de la riqueza de un país, aunque no como la riqueza propiamente dicha. La buena moneda constituye el fundamento de las importaciones y de todo el comercio, puesto que sólo a cambio de ella, y no de la de cobre —dice Copérnico— pueden adquirirse mercancías extranjeras.

Copérnico pone énfasis en la Importación de mercancías, y no en las exportaciones, expresando así los Intereses específicos de las ciudades portuarias polacas, que fundaban su prosperidad en el comercio de intermediación. No advierte aún el nexo entre importaciones y exportaciones y en su áspera polémica en torno de la reforma monetaria, plantea que un país debe contar con una reserva de buena moneda para intercambiarla por mercancías extranjeras. Sin embargo, aunque durante esa época en Prusia Real sólo se acuñase moneda de cobre, ello no perjudicaba a las importaciones, en tanto fuera posible cubrirlas mediante las exportaciones existentes, pagadas en oro. Ciertamente, el envilecimiento de la moneda en un país constituía un factor que frenaba el intercambio comercial, y favorecía la especulación y el riesgo, pero la posibilidad misma de acuñar buena moneda es más una consecuencia del comercio internacional que su base y requisito esencial.

“La experiencia, maestra de la vida —dice Copérnico—, nos enseña que florecen aquellos países donde existe buena moneda, en tanto que aquellos que utilizan- moneda adulterada decaen y perecen; ello

es así porque la mala moneda origina pereza y una persistente inactividad.”

Esta afirmación debe entenderse en el sentido de que una moneda débil o en deterioro, al frenar el comercio e imponer gravámenes excesivos que contribuyen a arrumar a ciertos grupos sociales —en especial, los propietarios agrícolas y las grandes masas de gente pobre— destruye la iniciativa y laboriosidad de la población, conduciendo a la “escasez de toda clase de bienes”, resultante de la declinación de la producción. Por añadidura, se descuida el cultivo de las bellas artes y las ciencias. Sólo los países en que la moneda es fuerte poseen obras de arte, artesanos escogidos y todo tipo de bienes en abundancia.

Estas afirmaciones de Copérnico tienen una enorme importancia, sobre toda como documento ilustrativo de la manera en que el gran sabio imaginaba la organización económica ideal de la sociedad. La concepción de la sociedad que tiene Copérnico procede de las ideas sociales proclamadas por el Renacimiento. En los siglos XV y XVI se abre una nueva época en la historia humana, la era industrial. Las ciudades del Norte de Italia —Venecia, Génova, Florencia— son las primeras que comienzan a vivir fundamentalmente de la industria y el comercio, y no de la agricultura. En esas ciudades y en muchas otras de la Italia de entonces, florece la artesanía, la producción de bienes de lujo: ricas telas, brocados, cristales, objetos de orfebrería, papel, libros, obras de arte, etc. En ellas se cultivan las bellas artes y se desarrolla la ciencia, en respuesta a las necesidades de los hombres ricos del Renacimiento, cuyo ideal aristocrático de vida

describió un contemporáneo de Copérnico, Castiglione, en su obra *// Cortegiano*, aparecida en 1514. Fue justamente la estructura económica de las ciudades italianas la que influyó en la imagen que Copérnico tenía de la sociedad ideal.

Copérnico no conoce aún el concepto de "riqueza nacional", por lo que utiliza el de "abundancia de bienes" (*abundancia rerum*) ya conocido por el temprano pensamiento escolástico. Este concepto es aludido también, y quizá por vez primera, por Tomás de Aquino. La sociedad, la *civitas* —según Tomás— debía poseer en su propio territorio todo lo indispensable para satisfacer las necesidades de sus habitantes y no depender de las importaciones de los mercaderes. El intercambio debía realizarse directamente entre el productor y el consumidor, en tanto que el abastecimiento desde el exterior sólo sería admisible en condiciones excepcionales, esto es, en caso de escasez de mercancías locales. Según Tomás de Aquino, el comercio con el exterior era más bien perjudicial, y las ciudades debían ser autosuficientes; en tiempos de guerra la autarquía garantiza la continuidad del abastecimiento, mientras que el comercio origina el afeminamiento, destruye las costumbres locales, contagia la inmoralidad³¹. En realidad el comercio es indispensable, pero no debería ser estimulado en demasía. El logro de la "abundancia de bienes" constituye un objetivo de la sociedad; en la ciudad rige la división del trabajo, los unos sirven a los otros, y de este modo todos, en conjunto, pueden alcanzar el bienestar³².

³¹ *De regimine pricipum*, parte II, cap. 3 (obra atribuida a Tomás de Aquino).

³² Schreiber, *Die volkswirtschaftlichen Anschauungen der Scholastik seit Thomas v. Aquin*, Jen», 1913, p. 22, nota 2.

La base de la vida económica de la ciudad medieval es estrecha; el grado de desarrollo de las fuerzas productivas, insuficiente; la cantidad disponible de mercancías, muy reducida. Predomina el hambre de mercancías. En esta atmósfera surge la idea de “abundancia de bienes”. La ciudad debería proponerse que sus habitantes reciban una cantidad adecuada de alimentos, y los artesanos, las materias primas necesarias.

En Copérnico, la noción de “abundancia de bienes” tiene otra connotación histórica. “Abundancia” ya no significa aquí sólo un estado de abastecimiento suficiente en alimentos para los habitantes de la ciudad; abundancia quiere decir oferta considerable. Incluso excesiva, no sólo de alimentos y materias primas, sino sobre todo de bienes de lujo, destinados a satisfacer las necesidades de la gente opulenta, de la corte y la aristocracia urbana. Esto último resulta posible gracias a que la expansión de las fuerzas productivas ha aumentado la cantidad de bienes disponibles, mientras que el progreso en la agricultura proporciona más alimentos y materias primas. Copérnico representa la ideología de una nueva época, el Renacimiento. Cuando dice que allí donde existe una moneda envilecida, reinan la pereza y la inactividad, y como consecuencia de ello se descuida el progreso de las bellas artes y de la ciencia y sobreviene la escasez general, supera ya los horizontes del pensamiento medieval. La Edad Media conoce el problema de la lucha contra la pereza y la inactividad, pero las declaraciones condenatorias de estos vicios —por ejemplo, de parte de Tomás de Aquino—, están destinadas a petrificar y afianzar

moralmente el sistema de organización social existente, sistema de privilegios y obligaciones. El campesino y el aprendiz deben ser laboriosos y dóciles; la pereza es un pecado. Copérnico, en cambio, condena la pereza y la inactividad, no porque anhele que el buen trabajador cumpla con sus obligaciones hacia el superior, santificadas por la religión, sino porque la laboriosidad y el espíritu de iniciativa favorecen el crecimiento de la producción, posibilitando la abundancia general y el cultivo de las bellas artes y la ciencia. Las motivaciones son mundanas, terrenales, renacentistas. Por esta razón, Copérnico no sólo no acepta la idea de autosuficiencia económica de Tomás de Aquino, sino que atribuye especial importancia a la influencia del comercio exterior, esperando que el dinero fuerte pueda establecer condiciones favorables para el desarrollo de este último.

Todos los autores antiguos y medievales, y muchos posteriores, consideraron a la agricultura, o sea a la posesión de tierras (no al trabajo en ellas) como la "ocupación" más importante y respetable³³. Copérnico no hace ni una sola referencia especial a la agricultura, pero destaca en cambio la significación de los buenos artesanos, la ciencia y las artes. La sociedad ideal de Copérnico es urbana, artesanal, productiva, y el esfuerzo de los productores directos se halla en primer plano. A diferencia de los escritores de la Reforma, su actitud hacia el comercio exterior es positiva, aunque se opone

³³ Tal vez únicamente Erasmo de Rotterdam no reconozca la superioridad de la agricultura con respecto a otras profesiones (cf. Roscher, *Geschichte der National Oekonomib in Deutschland*, Munich, 1874, p. 41). En cambio, Erasmo se refiere con desprecio al mercader: "el más estúpido y el más sudo de todos es el gremio de los mercaderes, por ser también su ocupación la más sucia de todas y ejercida de la manera más sucia..*Elogie de la locura*, citado de la edición polaca, Cracovia 1953, p- 95.

enérgicamente a la especulación y a la explotación monopólica, como se desprende de la ordenanza sobre la tasa al pan, acerca de la cual hablaremos a continuación.

En el concepto de “abundancia” de Copérnico, así como en el de empleo productivo de la gente o en el de la lucha contra la pereza y la mendicidad, aparecen elementos nuevos, gestados por el Renacimiento. Uno de los componentes básicos del mercantilismo tardío es el establecimiento de un estado de bienestar económico en el país (abundancia de bienes) y el empleo de la fuerza de trabajo disponible (eliminación de la Inactividad). El Inglés John Hales, supuesto autor de uno de los primeros tratados mercantilistas *A Discourse of the Common Wealth of this Realm of England* (1549) plantea el postulado de que “el Estado debería utilizar todos los medios para asegurar una gran abundancia de bienes, y esto requiere el empleo en la agricultura y en las ciudades de todas las personas en condiciones de trabajar”³⁴.

Falta en Copérnico la noción exacta del papel activo del Estado en el dominio de la producción y del empleo. Del Estado, Copérnico exige —como única función activa— su intervención en la esfera del control monetario.

En lugar de la noción de “abundancia de bienes” para satisfacer las necesidades de los ricos, en la época del mercantilismo y de la acumulación primitiva, que sigue al Renacimiento, comienza a dominar la idea de la expansión económica, el postulado de una balanza comercial excedentaria que conduce al aumento de la

³⁴ J. Hales, *A Discourse of the Common Wealth of this Realm of England*, Cambridge, 1893, ed. E. Lamond, pp. 59 y 98.

riqueza bajo la forma de plata y oro. Surgen las manufacturas y la producción empieza a ser destinada fundamentalmente al mercado masivo, y no principalmente a las cortes y palacios. Pero Copérnico no pertenece a esa época. Es, en todo sentido, un hombre del Renacimiento.

De gran interés son también las ideas sociales del eximio astrónomo, conocidas gracias a ciertos documentos relacionados con su actividad práctica como administrador de los bienes capsulares en Warmia.

La ordenanza sobre la imposición de una tasa al pan, emitida por Copérnico en 1531 (*Panis coquendi ratio*) regulaba el precio del pan en Olsztyn y en otras localidades de Warmia. Las variaciones del precio del trigo eran aprovechadas por los panaderos para obtener utilidades adicionales. La ordenanza se ocupaba específicamente de establecer la relación entre la cantidad y los precios del grano y del pan y el precio del trigo. "Sobre esta base —dice el texto de la ordenanza— puede ser fácilmente determinado el verdadero y justo peso y precio del pan." El pesaje debía ser exacto, sin escamoteo —práctica común entre los comerciantes— "puesto que no buscamos la ganancia, sino la exactitud en la medida" (*non mercaturum sed certum modum inquirimus*). El precio del pan, según Copérnico, debía cubrir los costos de adquisición del trigo y la retribución del trabajo del panadero, y, por lo tanto, tenía que determinarse fundamentalmente en relación con los costos de producción, sin incluir ganancia monopólica. Se insinúa aquí en Copérnico la concepción escolástica de "justo precio" (*iustum pretium*), que

constituye una forma primitiva de formulación del valor de acuerdo con el trabajo. La noción de “precio justo” había sido extraída de la ciencia moral escolástica, que era a la vez la economía política del feudalismo. Esta ciencia —no obstante su forma religiosa— es un reflejo de las relaciones de producción existentes entonces. La producción comercializable en expansión, con su elemento característico, que es la ley del valor, va minando las viejas relaciones de producción, consagradas por la tradición. Cuando las relaciones de producción feudales estaban aún en consonancia con el incipiente desarrollo de las fuerzas productivas, había surgido el anhelo de domar las fuerzas anárquicas de la producción mercantil, expresadas bajo la forma del capital comercial, mediante la observación estricta del principio ético-religioso del “precio justo”. Este es el precio que cubre los costos de trabajo y otros gastos (*labor et expensad*). De este modo se trató de establecer la equivalencia en el intercambio, partiendo del postulado de que la igualdad de costos de trabajo es la base del intercambio. Con la observancia del “precio justo” se quería reprimir los brotes monopólicos, limitar la explotación del campo por la ciudad, imposibilitar el abuso del monopolio “natural” de los artesanos, y especialmente del pequeño mercader. Puesto que en aquella época, debido a las condiciones del transporte, los mercados locales estaban débilmente vinculados entre sí, el pequeño mercader, al vender a los consumidores productos como, por ejemplo, sal o paños, ejercía un monopolio natural que facilitaba la explotación y el engaño. La completa

libertad de fijación de precios destruiría la estabilidad relativa de las relaciones económicas existentes.

En el período en que vivió Copérnico, existían aún relaciones que establecían el monopolio natural de los artesanos y mercaderes sobre los consumidores; la expansión de los procesos del mercado, la necesidad forzosa de adquirir en el mercado una cantidad creciente de productos aumentaban esta dependencia, pues el desarrollo de las fuerzas productivas y la oferta de bienes eran demasiado débiles como para superar esos factores monopólicos.

Esto explica la necesidad de imponer tasas que regulasen los precios y de justificar esta práctica. Sólo con posterioridad, cuando sobreviene en plenitud el proceso de acumulación primitiva y la teorización económica, y los principios de la política económica empiezan a ser influidos por los representantes del capital comercial y usurario, el principio del justo precio cede su lugar a un nuevo principio: "precio justo es aquel que se forma en el mercado", por lo que toda tasa es superflua y perjudicial. Esta nueva ideología económica, expresión del período de acumulación primitiva, surgirá más tarde y llegará a predominar sólo en el siglo XVII.

Copérnico rompe radicalmente con las concepciones del mundo medieval, no sólo en relación con la teoría monetaria —al rechazar categóricamente la doctrina dommalista—, sino que también en sus ideas sociales es mundano, laico, "moderno", *bürgerlich*, al decir de Marx. Se aparta del método escolástico; no cita, no glosa, no digiere el pensamiento de los padres de la Iglesia, sino que se basa

exclusivamente en la observación de los hechos y de ella deriva leyes económicas.

El pensamiento escolástico medieval no conoció las categorías de producción social y de trabajo productivo, ni la noción de "bienestar". Las relaciones de producción feudales, basadas en el privilegio de la propiedad de la tierra y en las prestaciones obligatorias (servidumbre) por parte de los productores directos, incorporaron a la superestructura religiosa la idea del deber de trabajar, el mandamiento moral de la laboriosidad, pero no proporcionaron una base para la solución del problema de trabajo productivo, del origen de la "riqueza", del significado del proceso productivo. El "trabajo" de las personas obligadas a él —en cuanto desposeídos de tierras— no constituía un problema económico sino más bien moral, expresado en el mandato y el deber de la laboriosidad; el objetivo de tal mandato residía en la defensa del orden social existente. Lo más importante era la salvación del alma y para ello resultaba necesario orar y trabajar. La riqueza, la fortuna, sirven a la finalidad de hacer el bien, de prestar ayuda a los desposeídos y menesterosos. A fin de asegurar a las clases privilegiadas el tranquilo goce de sus riquezas, se proclamó el ideal de la caridad como indispensable para la salvación del alma; el rico tenía la obligación de "ayudar al pobre".

Ninguna de estas categorías está presente en el pensamiento de Copérnico. Por el contrario, al hablar del auge y desaparición de "reinos, principados y repúblicas" concede la máxima importancia a los problemas económicos, subraya la significación de "la

importación de mercancías y del comercio”, la importancia de las obras de arte, de los buenos artesanos, de la “abundancia de bienes” destinados a satisfacer las necesidades comunes, destaca los efectos negativos de la pereza, la indolencia, el descuido de las artes y la ciencia y la consiguiente escasez de bienes necesarios. Copérnico tiene en alta estima a los comerciantes dedicados a la importación y exportación de mercancías, aunque alberga gran desconfianza hacia el artesano y el pequeño mercader ávidos de ganancias.

Si bien es indudable el carácter pionero de Copérnico en relación con la moderna teoría monetaria, no se puede afirmar con igual certidumbre que haya sido el primero en analizar las bases económicas del desarrollo de la sociedad. El primer intento relativamente sistemático de tal análisis del proceso de producción social lo encontramos ya en San Antonino, quien vivió en el siglo XV en Florencia, ciudad que fundaba su prosperidad no en la propiedad feudal de la tierra, sino en la dinámica producción industrial organizada en forma capitalista, en el gran comercio internacional y la banca. Pero para San Antonino lo primordial es la salvación del alma; en consecuencia, él resuelve los problemas económicos en estrecha vinculación con la religión y las normas morales.

Se puede arriesgar el juicio de que, si Copérnico hubiese expuesto sus concepciones económicas en una forma más desarrollada —al modo de *De revolutionibus*— habría sido el fundador de la ciencia económica de los albores del capitalismo, superando en precisión y

riqueza de pensamiento a los primeros esbozos económicos del Renacimiento.

El trabajo de Copérnico permaneció desconocido hasta el siglo XIX. Escrito en forma de memorial, no fue editado, salvo un resumen publicado en 1592 por Gaspar Schütz en su *Historia rerum prussicarum* (libro X, pp. 517-520).

El ideal de una sociedad con abundancia de bienes, sin pereza ni indolencia, con artesanos excelentes, etc., surgió de la elaboración intelectual, por parte de Copérnico, de elementos de la realidad concreta por él observada. Copérnico no rechaza la realidad en desarrollo, no la niega, no la sustituye por una imagen producto de la pura razón, tal como hace su contemporáneo, el gran humanista Tomás Moro en su *Utopia*. Copérnico se esfuerza por descubrir el camino que lleva a la realización de una concepción factible, palpable y verificable de la sociedad. Desea edificar una sociedad racionalmente organizada, mediante el desarrollo de elementos ya existentes. Él idealiza la sociedad real que nace, en tanto Moro esboza un plan para la organización racional de la sociedad a través de una crítica idealista, de la negación de lo existente. Pero ambos tienen en común, junto con Erasmo de Rotterdam, el contexto histórico, una misma base científica, el carácter laico de los conceptos que utilizan y la liberación con respecto al pensamiento escolástico.

Cada nueva formación social conserva parte de las categorías económicas de la formación que la antecede. Cambia solamente el contenido social de tales categorías. El principio del *iustum pretium*

tiene en Tomás de Aquino una función social distinta a la que posee en Copérnico. El objetivo de la teorización escolástica en torno del “justo precio” era el fortalecimiento de las bases del feudalismo, de las relaciones de producción feudales. La función del *iustum pretium* en el pensamiento económico del siglo XVI consiste en defender a la gente de las consecuencias depredatorias del capitalismo incipiente, en una época de insuficiente desarrollo de las fuerzas productivas y de bajo e inestable nivel de vida del pueblo, en tratar de evitar que las nuevas relaciones de producción —monopolio, especulación mercantil— condujesen a la pauperización de las grandes masas. El monopolio fue síntoma de progreso puesto que estimuló la concentración de los medios de producción, pero en esa etapa de desarrollo de las fuerzas productivas, sus efectos amenazaban a toda la sociedad. La defensa del campo contra la explotación por parte de la ciudad, la defensa del consumidor contra la explotación del productor monopolista y del mercader resultaron necesarias y progresivas, como lo fueron el desarrollo del capitalismo urbano y la acumulación primitiva del capital. Tal es la dialéctica del desarrollo histórico.

Copérnico mantuvo invariablemente una posición en consonancia con los intereses de todo el Estado polaco, y no sólo con los de su patria chica, la Prusia Real. Cuando propuso el reconocimiento oficial de sólo dos casas de moneda dentro de los límites del Estado, una “en las tierras de Su Real Majestad” y otra “en los dominios del Príncipe de Prusia”, puso como condición que “ambas monedas dependiesen del poder real” y que “por orden de Su Majestad fuesen

aceptadas en todo el Reino". Y agregaba: "Ello ha de tener una Importancia no desdeñable para la conciliación de mentes y el fomento de las relaciones comerciales".

Estas palabras reflejan no sólo una comprensión cabal de la Importancia del mercado interno, sino también el patriotismo de Copérnico, su devoción a los intereses de todos los países del multinacional Reino de Polonia.

Capítulo 9

Controversia en torno del heliocentrismo en la cultura europea

Barbara Bienkowska

Cada época tiene sus grandes problemas; cada cultura dotada de vitalidad, sus grandes controversias. Toda teoría científica nueva y justa conoce un proceso de asimilación, atraviesa etapas de indiferencia, indignación, incredulidad, propaganda reveladora y combativa, y finalmente, de plena aceptación cuando, incorporada al sistema de verdades, llega a ser tan evidente que resulta hasta trivial. No obstante, sólo algunas de las grandes teorías científicas han dado lugar a controversias que llegaron a convertirse en problemas debatidos durante épocas enteras. Una de tales teorías fue el heliocentrismo.

En la larga y tempestuosa disputa en torno del heliocentrismo se concentraron las contradicciones esenciales de la cultura intelectual europea de las postrimerías del siglo XVI y principios del XVII. Ello fue así porque la aceptación de la teoría heliocéntrica exigía una revalorización cabal, no sólo de conceptos científicos e ideológicos fundamentales, sino también de las nociones más corrientes. Por otra parte, los que se aferraban al geocentrismo corrieron muy pronto el riesgo de encontrarse al margen de la corriente principal de la vida intelectual. Difícil y cargada de consecuencias fue la alternativa ante la cual se hallaron al comienzo sólo los astrónomos, y luego generaciones enteras de creadores y beneficiarios de la cultura europea.

La teoría heliocéntrica atentaba, en aquella época, contra tres fundamentos de la ciencia sobre el mundo: la Biblia, el aristotelismo y la experiencia directa de los sentidos.

La más difícil de superar resultó la contradicción entre la tesis básica del heliocentrismo, o sea el movimiento de la Tierra, y algunos fragmentos de las Sagradas Escrituras.

El texto más controvertido y citado fueron los versículos 12-14 del capítulo 10 del Libro de Josué, donde se dice que Dios, a pedido de Josué, mandó al Sol detenerse para que los Israelitas pudieran triunfar sobre los gabaonitas. En Eclesiastés, capítulo 1, vers. 4-6, Salomón dice que la Tierra siempre permanece en su lugar “y sale el sol y pónese el sol, y con deseo vuelve a su lugar donde torna a nacer. El viento tira hacia el mediodía, y rodea al norte”. En el Salmo 92, vers. 1, se dice que Dios “afirmó tan bien el mundo que no se moverá”. Finalmente, en el Libro del Profeta Isaías, cap. 38, vers. 8, leemos las siguientes palabras de Jehová: “He aquí que yo vuelvo atrás la sombra de los grados, que ha descendido en el reloj de Achaz por el sol, diez grados. Y el sol fue tornado diez grados atrás, por los cuales había ya descendido”.

Si se toman al pie de la letra estos y otros fragmentos similares de la Biblia, la contradicción salta a la vista, lo cual —dada la autoridad omnímoda de las Sagradas Escrituras arraigada en la conciencia de las gentes de aquella época— descartaba toda discusión en esta materia y hasta la idea misma del movimiento de la Tierra. Justamente sobre esta base, el heliocentrismo fue condenado como blasfemia por los dirigentes de la Reforma —Lutero y Melanchton—,

aun antes de que lo hicieran los representantes de la Iglesia católica.

Pero en vista de los valores científicos de la nueva teoría —cada vez más evidentes y que impedían rechazarla *a priori*—, los científicos, hombres profundamente creyentes en su mayoría, empezaron a buscar vías que permitiesen conciliar ambas verdades: la científica y la revelada. Una solución podía ser, y con el tiempo lo fue, la explicación alegórica de las Sagradas Escrituras. Los partidarios de tal interpretación sostenían, remitiéndose a San Agustín, que los redactores de la Biblia se expresaban de manera sencilla y corriente acorde con las nociones del pueblo al cual dirigían sus enseñanzas. Lo hacían para que el pueblo los comprendiese; simultáneamente, al presentar en forma verosímil los fenómenos cotidianos, deseaban que el pueblo confiara en ellos en cuestiones mucho más importantes de la fe y la moral. La Biblia trata los fenómenos del cielo tal como éstos aparecen a nuestros ojos y no como son en realidad. “Las Sagradas Escrituras dicen cómo merecer el cielo y no como medirlo”, “Las Sagradas Escrituras desean hacer a los hombres cristianos y no astrónomos”: estas lapidarias frases aparecerán frecuentemente en la argumentación de los heliocentristas en el siglo XVI, XVII y aun en el XVIII.

La idea de una interpretación alegórica, metafórica de las Sagradas Escrituras se expresaba en dos formas. En primer lugar, se procuraba interpretar los fragmentos pertinentes de la Biblia de diferentes maneras, a veces muy complicadas e ingeniosas, para demostrar que éstos, adecuadamente comprendidos en su sentido

más profundo —justamente metafórico— hablaban en favor del heliocentrismo o al menos no lo contradecían. Se citaba también con gusto otros fragmentos que, tomados literalmente, contradecían la teoría de Ptolomeo. La segunda forma, que requería naturalmente mayor independencia intelectual, consistía en considerar la Biblia como fuente incompetente en cuestiones científicas, por cuanto las trataba sólo de un modo superficial, accesible al común de las gentes; en consecuencia, se afirmaba que ninguna formulación de la Biblia podía utilizarse como argumento en pro o en contra del heliocentrismo, dado que no poseía el carácter de tesis científica.

La idea de interpretar alegóricamente las Sagradas Escrituras, vinculada con San Agustín y desarrollada en el siglo XIV por Nicolás Oresme, era muy cercana a las opiniones del propio Copérnico. En la dedicatoria de su obra a Paulo III, indicó claramente que esperaba ataques contra la teoría heliocéntrica por parte de personas que se remitirían a tal efecto a ciertos pasajes de la Biblia “malamente torcidos para su propósito” (*mole ad suum propositum detortum*). De modo que Copérnico se daba cuenta de que su teoría se oponía a la letra de algunos fragmentos de la Biblia y, al mismo tiempo, estaba convencido de que era correcto interpretarlos alegóricamente. Este mismo rumbo siguieron más tarde en su razonamiento Wright, Galileo, Foscarini y la gran mayoría de los sabios heliocentristas. Si las iglesias cristianas hubiesen aceptado a principios del siglo XVII la idea de interpretar alegóricamente los pasajes cosmológicos de la Biblia —idea muy popular en los círculos intelectuales de la época—, habría desaparecido el punto más

Inflamable de la controversia. Pero, a partir del año 1616, la Iglesia católica comprometió toda su autoridad en la defensa de la Interpretación literal de la Biblia. Sólo en 1757, bajo la presión de hechos científicos incuestionables, el papa Benedicto XIV emitió un decreto que atenuó la posición de la Iglesia, pero la idea de interpretación alegórica de los fragmentos “científicos” de la Biblia no fue reconocida como doctrina oficial de la Iglesia católica sino por León XIII, en el año 1897.

De esta manera, por más de dos siglos, los católicos vieron impedido —o por lo menos considerablemente obstaculizado— el camino hacia la conciliación de las conquistas científicas con la doctrina oficial de la Iglesia. Es preciso señalar que en virtud de sucesivos decretos de los años 1620 y 1633, la prohibición se extendió tanto a la obra de Copérnico como a todos los trabajos posteriores fundados en el heliocentrismo. Huelga decir que ya en esa época era difícil —y lo sería cada vez más con el correr del tiempo— encontrar un trabajo astronómico serio basado en postulados geocéntricos.

También los representantes de las Iglesias protestantes, en el siglo XVI y a principios del XVII, estuvieron en contra de la interpretación alegórica de las Sagradas Escrituras. En este aspecto la oposición protestante no fue menos violenta que la católica, pero adquirió formas menos autoritarias y fue superada relativamente más pronto por los más esclarecidos teólogos heterodoxos.

La Iglesia ortodoxa, notoriamente conservadora, fue la última en atacar el heliocentrismo, dado que lo hizo sólo en la primera mitad del siglo XVIII, pero resultó también la más agresiva (en épocas

anteriores este problema simplemente no existía en la esfera de su Influencia). De todos modos, esta campaña tardía no pudo sino tener escasa significación.

En esta situación conflictiva, la única salida consistía en reconocer el heliocentrismo, sincera o aparentemente, como una hipótesis, lo que permitía divulgarlo y desarrollarlo sin entrar en conflicto abierto con los teólogos y los defensores del “sentido común”.

El juicio sobre el carácter hipotético de la teoría heliocéntrica —y, por lo demás, de todos los sistemas cosmológicos conocidos hasta entonces— fue formulado por Osiander en su introducción a la primera edición de *De revolutionibus*, en 1543, impresa sin firma a fin de sugerir que su autor era el mismo Copérnico, y repetida sin modificación en las ediciones de los años 1566 y 1617.

La introducción de Osiander presentaba la teoría de Copérnico como una hipótesis más, como una construcción matemática cualquiera, si bien digna de admiración por cuanto era clara y comprensible e incluía todo un tesoro de observaciones acertadas. Osiander aplicó a la obra de Copérnico un esquema que se repetía prácticamente en todo manual astronómico de la época, donde las tesis científicas se definían como supuestos abstractos mediante los cuales los astrónomos procuraban interpretar los fenómenos celestes y las propias observaciones, a fin de poder darles forma teórica y explicarlos a sus alumnos. Cuanto más perfecta es la hipótesis —se decía—, tanto más claramente explica los movimientos de los cuerpos celestes, facilitando al mismo tiempo los cálculos, pero esto

en modo alguno significa que refleje la realidad o que deba ser siquiera verosímil.

A pesar de las opiniones imperantes, puestas de manifiesto por Osiander, a Copérnico le era totalmente ajena la idea de que el heliocentrismo representaba sólo una de las muchas hipótesis sobre la estructura del universo y que la ciencia astronómica no era capaz de conocer y dar forma teórica a la verdad sobre el universo. Explicó este punto de vista tanto en la dedicatoria al Papa Paulo III, como — en forma aun más clara— en la introducción original, omitida en las primeras ediciones y publicada por primera vez en la edición varsovia del año 1854. Copérnico escribió allí lo siguiente: “Pero esta ciencia, más bien divina que humana, que investiga las cosas más elevadas, no está exenta de dificultades, especialmente cuando vemos que los que se lanzaron a cultivarla estuvieron en su mayoría en desacuerdo en sus principios y supuestos, que los griegos llaman hipótesis, y por ello no se apoyaban en las mismas razones” (*Potro divina haec magis quam humana scientia, quae de rebus altissimis inquirat, non caret difficultatibus, praesertim quod circa eius principia et assumptibus, quas Graeci bypotheses vocant, plerosque discordes fuisse videamus, qui ea tractaturi aggressi sunt, ac proinde non eisdem rationibus innoxos*).

No obstante, el conjunto de las opiniones vigentes entonces acerca de la ciencia y el papel de la astronomía determinó que en la literatura posterior la palabra “hipótesis” significara sólo una construcción arbitraria no verificada por la realidad.

La aceptación del carácter hipotético del heliocentrismo, si bien contraria a las convicciones de Copérnico, resultaba sin embargo científicamente justificada hasta aproximadamente mediados del siglo XVII, o sea hasta que no se comprobó su validez a través de la física. En cambio, a partir de la última década del siglo XVII, cuando había ya suficientes argumentos científicos en favor del nuevo sistema, sostener el carácter hipotético del heliocentrismo sólo por su disconformidad con la Biblia —como lo hacían muchos enemigos de este sistema, apoyados por las máximas autoridades— era ya una cuestión puramente ideológica.

De todos modos, la denigrante etiqueta de “hipótesis” dada a la teoría de Copérnico permitía popularizar los principios fundamentales del heliocentrismo, lo que desempeñó una importante función en la práctica escolar posterior al año 1616, y más tarde habría de facilitar la asimilación de la nueva cosmología por parte de amplios círculos de gente Instruida.

La visión cosmológica tradicional, aristotélico-tomística, formada durante la Edad Media, fue parte integrante del sistema de conocimientos sobre el mundo y el hombre. Este sistema se fundaba en ciertos principios generales de procedencia teológica, que podrían resumirse como sigue: Dios creó los cielos y la tierra, dotó a los cielos de movimiento y dejó la Tierra en reposo. A la filosofía se le reservaba la tarea de explicar el mecanismo del movimiento de los cielos, el orden de éstos, y el lugar de la Tierra en ese orden. El orden de los cielos era en cierto modo divino, porque lo sancionaba el hecho de que Dios tuviese su morada en el lugar más alto de este

sistema. El mecanismo de los cielos se regía por las leyes de la física aristotélica. En el centro del universo se hallaba la Tierra, pesada e inmóvil; el más próximo a ella era el "cielo" —*caelum*— de la Luna, y le seguían, por orden, los cielos de Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno, los "cielos" del firmamento con las estrellas fijas, el "cielo de cristal", el cielo del movimiento primario —*primum mobile*— y, por último, el Cielo del Señor, morada de Dios, de los santos y los bienaventurados. Estos "cielos" eran naturalmente esferas en las cuales se suponía que giraban uniformemente los distintos planetas. La esfera del *primum mobile* giraba con mayor rapidez, influyendo en el movimiento de las demás esferas. Estas eran entes reales, algo así como barreras infranqueables, si bien transparentes, hechas de cristal. El espacio ideal de los cielos era inmutable e inmaculado, a diferencia del despreciable y transitorio espacio terrenal. Tal visión cosmológica tenía sus naturales consecuencias ideológicas.

La influencia de esta sugestiva visión del mundo se fundaba también en su conformidad con la experiencia de los sentidos de todo ser humano. "Nuestros ojos son testigos de que los cielos giran", argumentaba con Indignación Martín Lutero. El movimiento de la Tierra, imperceptible para sus habitantes, parecía completamente absurdo si se usaba el "sano juicio". Al fin y al cabo, cada uno intuía de un modo natural la estabilidad y la posición central de la Tierra, así como la rotación de los cuerpos celestes. Cada uno, al levantar la vista, podía admirar la belleza, la perfección y la inmutabilidad de este orden. Todos conocían el lugar que

correspondía en este sistema tanto a la Tierra como al cielo, al infierno y al purgatorio. Mientras tanto, la proposición copernicana desechaba toda la ciencia vigente, prolijamente ordenada, y negaba las inquebrantables leyes de la física, contradecía la experiencia y el sentido común, y para colmo, ponía en tela de juicio las formulaciones de las Sagradas Escrituras. Justamente de este modo fue valorada por los censores del Santo Oficio, quienes, en un dictamen emitido el 24 de febrero de 1616, hacían constar que la opinión sobre un Sol inmóvil y situado en el centro del mundo “es demencial y absurda”. Pocos días después, el 3 de marzo de 1616, la Congregación del Índice de los Libros Prohibidos dictó un decreto que prohibía a los católicos leer la obra de Copérnico mientras no se introdujeran en ella enmiendas que calificasen la teoría heliocéntrica como hipótesis.

La proposición copernicana presentada en 1543 en *De revolutionibus* creaba más problemas de los que resolvía: problemas matemáticos, físicos, metodológicos y sobre todo ideológicos. Por eso marcó el rumbo a las búsquedas de la época y suscitó una larga y justificada controversia.

§. 1. Primer período de la controversia en torno del heliocentrismo: 1543-1616

La obra de Copérnico adquirió rápidamente notoriedad y despertó curiosidad no sólo entre los astrónomos profesionales, sino también entre muchos historiadores, anticuarios-lexicógrafos, bibliógrafos y biógrafos. Sus opiniones y enunciaciones que difundieron a través

de muchos países la fama de la grandeza de Copérnico, fueron al mismo tiempo elocuente prueba del conocimiento de la vida y la obra del astrónomo polaco. Pocos años después de haberse publicado *De revolutionibus*, Copérnico era generalmente considerado como uno de los más grandes sabios de todos los tiempos, y este juicio se mantuvo invariable, independientemente de la actitud hacia el heliocentrismo. Hallamos menciones sobre Copérnico y su obra no sólo en la literatura profesional, sino también en las entonces tan populares cronologías de la historia universal, vidas de hombres ilustres, antologías de citas célebres y bibliografías (por ejemplo, en la célebre *Bibliotheca universales* de Konrad Gesner, ed. en 1545 en Zúrich). Se presentaba a Copérnico como renovador de la astronomía, matemático inigualado, sabio sármata —es decir, polaco- dotado de toda clase de virtudes. En algunas publicaciones informativas se exponían también, escueta y objetivamente, los principios fundamentales del heliocentrismo (v. gr. en *Opus chronographicum* de P. Opmeer, ed. en Amberes en 1617). Pero en este período, la teoría heliocéntrica no desempeñaba aún un papel importante en la vida científica corriente. Hasta para los astrónomos, al menos para una gran mayoría de ellos, eran más importantes las detalladas observaciones y cálculos de Copérnico — los cuales le valieron inmediatamente un gran prestigio— que su arriesgada teoría del sistema solar, considerada muchas veces como una extravagancia de poca monta. Se aceptaban los resultados de los cálculos del astrónomo, pasando por alto el fundamento en el que se apoyaban. Así procedió, por ejemplo, E. Reinhold al elaborar

sobre la base de *De revolutionibus* sus en aquella época excelentes y muy populares “Tablas prusianas” (1551), donde no hay siquiera una referencia al sistema heliocéntrico.

Esta situación iba a mantenerse por largo tiempo en la astronomía práctica. Hubo, sin embargo, algunos astrónomos —por cierto muy pocos— dedicados a la investigación científica que, atascados en las contradicciones del sistema ptolomeico, no resueltas satisfactoriamente por el sistema intermedio de Tycho Brahe (1546-1601), tomaron la concepción heliocéntrica como punto de partida para sus propios estudios, logrando excelentes resultados. De ahí que intentasen también explicar los principios fundamentales de esta concepción y trataran de divulgarla. Tal era justamente el propósito del opúsculo publicado en 1576 por el astrónomo inglés Thomas Digges, *Perfit description of the caelestial orbis...*, que contenía una exposición apologética del heliocentrismo copernicano, tratado como fiel imagen de la realidad. Este opúsculo llegó a ser muy popular, como lo prueban sus seis ediciones impresas hasta el año 1605.

Sobre el curso ulterior de la discusión científica en torno de este problema, gravitaron de manera decisiva la importante actividad de Kepler (1571-1630), que fundó su astronomía sobre las hipótesis copernicanas —hecho que señala claramente en sus obras— y los logros en materia de investigación y popularización obtenidos por Galileo (1564-1642), estrechamente vinculados también con la teoría de Copérnico. Las obras de Kepler y Galileo pesaron decisivamente en la balanza de la argumentación científica.

Prácticamente desde entonces el desarrollo de la astronomía se basó en el heliocentrismo, considerado como la única posibilidad y no como una entre muchas. Los sistemas intermediarios —por ejemplo, «1 de Riccioli o de Longomontano— se elaboraban no con fines científicos, sino para servir a la enseñanza. Eran tentativas, emprendidas por motivos ideológicos, de conciliar la idea de una Tierra en reposo y situada en el centro del sistema con los resultados particulares de la nueva astronomía. Por eso, hasta mediados del siglo XVIII y aun más tarde, tales sistemas fueron utilizados en la enseñanza, la cual, trabada por prohibiciones eclesiásticas, no podía propagar el heliocentrismo copernicano en su totalidad.

Simultáneamente con aquellos astrónomos, la nueva hipótesis despertó el interés de algunos poetas y pensadores atraídos por su inverosimilitud, su originalidad y sus consecuencias filosóficas. Para estos hombres, que se distinguían por su gran sensibilidad e imaginación, a la vez que por sus escasos conocimientos matemáticos, la concepción de Copérnico parecía terrorífica en su insensatez. Por lo tanto, sus ataques se basaban principalmente en argumentos del “sano juicio”, asimilados de buen grado por los legos en astronomía y repetidos por largo tiempo en las escuelas, pese a que los científicos explicaran reiteradamente que la experiencia de los sentidos no es ni puede ser criterio definitivo de la verdad de una teoría científica.

Ya en el año 1578, el poeta francés Du Bartas, en su poema “La semana o la creación del mundo”, criticó fuertemente la teoría

heliocéntrica, partiendo precisamente de esta posición, o sea blandiendo argumentos tomados de la experiencia cotidiana. Años más tarde, en 1591, el poeta escocés George Buchanan polemizaba con Copérnico en *De Sphaera*, libri V, argumentando que si la Tierra estuviese dotada de movimiento, se caería todo lo que se encuentra en su superficie. Otros aspectos de la nueva teoría llamaron la atención de los poetas ingleses. Así, por ejemplo, John Davies (1594) y Joshua Sylvester (1604) describieron y elogiaron el heliocentrismo en sendos poemas. John Donne (1611), en cambio, al comprobar la creciente popularidad del nuevo sistema cosmológico, previa con inquietud sus consecuencias ideológicas y filosóficas. Una intuición mucho más pobre demostró medio siglo más tarde —en 1666— el célebre poeta inglés John Milton, quien, al describir ambos sistemas con profusión de detalles en *El Paraíso perdido*, no se pronunció respecto de la validez de ninguno de ellos, tratando este problema como una disputa científica enteramente abstracta.

Con una visión más amplia, a pesar de ser también un lego en la materia, analizó la teoría heliocéntrica Jean Bodin, famoso historiador y escritor político francés, en su obra *Universae naturae theatrum*, publicada en 1592. A juicio de Bodin, Copérnico no tenía razón, porque si se aceptara su postulado de los tres movimientos de la Tierra, y agregando el movimiento de atracción hacia el centro habría que atribuir a aquella cuatro movimientos naturales. Mientras tanto, tal supuesto era desmentido por todos los principios de la física, que atributa un solo movimiento a cada cuerpo. Si la

Tierra, pesada e inerte como es, girara alrededor de su propio centro y alrededor del Sol, con cada revolución suya se vendrían abajo casas, ciudades y montañas. Esta teoría —decía Bodin— es también contraria a la Biblia, donde se dice que Dios afirmó la Tierra y que ésta no se moverá. Al combatir el heliocentrismo con argumentos extraídos de la práctica diaria y de la física aristotélica, Bodin menciona sólo tangencialmente, y sin asignarle excesiva significación, la disconformidad con la Biblia. Sin embargo, muy pronto esta objeción llegaría a ser la más importante, a lo que contribuyó sobremanera la actividad de Giordano Bruno.

Este filósofo y místico, quemado en la hoguera en el año 1600 a causa de sus opiniones teológicas, utilizó la teoría heliocéntrica como punto de partida para sus fantásticas concepciones cosmológicas. Bruno, un verdadero visionario dotado de talento poético, bosquejó apoyándose en el heliocentrismo una imagen muy sugestiva de un universo inconmensurable e infinito, vinculado a la idea de la pluralidad de los mundos, que fascinarla a los hombres del siglo XVII y XVIII. De esa manera contribuyó a la difusión de la teoría copernicana, pero al mismo tiempo destacó los peligros ideológicos de ésta y movilizó en su contra a la oposición teológica. La idea de pluralidad de los mundos resultaba, desde el punto de vista teológico, más peligrosa aun que la teoría del movimiento de la Tierra, ya que se oponía no sólo a muchos pasajes del Antiguo Testamento sino también a la idea misma del Nuevo Testamento.

No es extraño, por lo tanto, que la argumentación de los defensores del helio- centrismo empezara a concentrarse en torno del aspecto

teológico. En este contexto, reviste particular significación el prefacio del astrónomo Inglés E. Wright al famoso libro de William Gilbert sobre el magnetismo terrestre (*De magnate...*, Londres, 1600). A juicio de Wright, el movimiento diario de la Tierra esclarece perfectamente todos los fenómenos astronómicos hasta entonces inexplicables. A pesar de lo que dicen los adversarios de esta idea, en favor de ella hablan también razones lógicas, es más fácil suponer que la pequeña Tierra gira alrededor de su eje, que imaginar que todo el enorme universo gira con tremenda velocidad en torno de la Tierra. (*Frustra fit per plura, quod fieri potest per pauciora*, decía Wright.) La Naturaleza no comete semejantes errores, es económica, parsimoniosa. Este argumento —esbozado ya en la dedicatoria de Copérnico a Paulo III— será aducido por los heliocentristas durante decenas de años y asumirá con el tiempo la firma de una anécdota sobre cierto cocinero que, dando vueltas con el fuego alrededor del asado, en lugar de cocerlo normalmente, solucionó la disputa de los astrónomos.

La economía de la naturaleza, la finalidad y armonía de la construcción del universo reveladas por Copérnico constituirán un poderoso argumento ideológico en manos de los heliocentristas. Wright, Bruno, Galileo, Kepler, Berulle, Muratori, Sniadecici y toda una pléyade de heliocentristas de diferentes credos desarrollarán persistentemente la idea de que sólo la teoría de Copérnico demuestra cabalmente el poder y la sabiduría del Creador, revelando la perfección de su obra. Esta idea será aceptada por el común de las gentes instruidas a medrados del siglo XVIII, y de ese

modo se conciliarán las conquistas ya incuestionables de la ciencia moderna con la autoridad de la teología, que terminará aceptando calladamente la necesidad de una Interpretación alegórica de la Biblia. Pero antes de que en torno del heliocentrismo se constituyese el edificio de la nueva física, la nueva cosmología y la nueva interpretación religiosa, las crecientes contradicciones llevaron la disputa a un punto crucial representado por la Inclusión de *De revolutionibus* en el Índice de los Libros Prohibidos, en el año 1616. Este hecho abrió una nueva etapa en la controversia europea acerca del heliocentrismo.

§. 2. El período culminante de la controversia científica e ideológica en torno del heliocentrismo: 1616-1687

En este periodo, los hombres de ciencia, al acumular nuevas pruebas en favor del sistema copernicano, no cerraron todavía la disputa con argumentos concluyentes, aunque el número de éstos era cada vez mayor. El factor decisivo para el triunfo de esta teoría será la publicación, en 1687, de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de Isaac Newton. Desde este momento, la física newtoniana estará inseparablemente ligada a la astronomía copernicana. Por eso hemos tomado el año 1687 como fecha convencional para marcar el fin del período culminante de la disputa científica en cuestión. Naturalmente, pasarán todavía decenas de años antes de que las conquistas de Newton y de sus predecesores directos sean asimilados por todos los centros científicos y docentes, extinguiéndose con ello la controversia acerca

del heliocentrismo en sus aspectos fundamentales. De todos modos, a partir de la última década del siglo XVI, el heliocentrismo se convierte en teoría científica plenamente documentada, y tratarla como hipótesis será desde entonces prueba de conservatismo científico o de subordinación total de la ciencia a las decisiones del colegio cardenalicio. Desde fines del siglo XVII, la controversia se desplaza cada vez más al plano ideológico y concierne, también cada vez en mayor medida, no a los creadores, sino a los consumidores de los bienes culturales y científicos.

La nueva situación en la controversia acerca del heliocentrismo se relaciona directamente con el famoso caso de Galileo.

En el año 1610, Galileo publicó un tratado titulado *Nuntius sidereus*, donde presentó los resultados de sus observaciones del cielo, realizadas con ayuda de un telescopía, que proporcionaban nuevos argumentos en favor del heliocentrismo. Entre tales argumentos figuraban, en primer lugar, el descubrimiento de cuatro satélites de Júpiter y la observación de las fases de Venus, prueba de que este planeta giraba alrededor del sol. En 1613, nuevamente gracias al telescopio, Galileo observó el desplazamiento de las manchas solares. Más allá del propio descubrimiento de las manchas en la superficie del Sol, que rebatía la tesis generalmente aceptada sobre la perfección e inmutabilidad de los cuerpos celestes, el desplazamiento de estas manchas indicaba la existencia de un movimiento del Sol alrededor de su eje, correspondiente al movimiento diario de la Tierra. Galileo no pensaba ocultar sus descubrimientos. Todo lo contrario, por medio de publicaciones,

pláticas, encuentros y correspondencia procuró ganar el mayor número de partidarios para las verdades que había hallado. Al mismo tiempo, atacaba con gran fervor a sus adversarios, colocándolos en una situación molesta y despertando a menudo su ira. Adversarios de Galileo eran los profesores aristotélicos que no podían aceptar la nueva física y los religiosos católicos —principalmente los dominicos—, quienes lo acusaban de divulgar teorías contradictorias con las Sagradas Escrituras. La oposición contra Galileo creció a tal punto en los círculos allegados al Papa y al colegio cardenalicio, que el sabio decidió justificar su posición. Lo hizo en 1613 en una carta dirigida a Benedetto Castelli, y más ampliamente, en la llamada carta a Cristina, duquesa de Toscana. En estos escritos, Galileo arguye que la Biblia habla del sistema del mundo de un modo alegórico o metafórico. Y si se leen de esta forma los fragmentos pertinentes, el estado y el orden verdaderos de la naturaleza —obra de Dios— no estarán en contradicción con las Sagradas Escrituras, dictadas también por Dios, dado que dos verdades no pueden excluirse mutuamente. Dios es autor de dos libros: del libro de la naturaleza y del libro de las Escrituras. Dios no puede contradecirse a sí mismo.

Una posición similar adoptó Foscarini, provincial napolitano de los carmelitas, en un opúsculo publicado en 1615 que contenía la Interpretación adecuada de los fragmentos bíblicos relativos a los cielos y a la Tierra. Tanto Galileo como Foscarini declaraban su fidelidad a la religión católica. Ambos trataban las Sagradas

Escrituras como palabra divina y, al mismo tiempo, estaban convencidos de la verdad del heliocentrismo.

Foscarini mandó su trabajo al cardenal Roberto Bellarmino, jesuita, conocidísimo en Roma como adversario de innovaciones en materia de teología y ciencia, pidiéndole su dictamen al respecto. Bellarmino respondió a Foscarini en una carta fechada el 15 de abril de 1615, en la que expresaba la actitud de las autoridades supremas de la Iglesia. El cardenal decía allí que siempre había comprendido la teoría copernicana como una hipótesis que explicaba mejor los fenómenos celestes que la teoría de Ptolomeo. Semejante concepción del heliocentrismo —continuaba— no es peligrosa para la fe y resulta suficiente para los matemáticos. En cambio, atribuirle a esta teoría el carácter de verdad concreta atenta contra la filosofía y la teología escolásticas. Aunque existiera la prueba —y en opinión de Bellarmino tal prueba no existía— de que el Sol *realmente* se halla en el centro y la Tierra *realmente* gira alrededor de él, igualmente habría que guardar mucha prudencia en la interpretación de los fragmentos de la Sagrada Escritura, que indican lo contrario. Dado que el asunto es dudoso, no se puede desechar la interpretación literal de la Biblia, recomendada por los Padres de la Iglesia. Tampoco se puede extender a los fenómenos celestes la ilusoria Impresión de alejamiento de las costas que se produce en las personas que se hallan a bordo de un barco en movimiento. El testimonio de la vista nos indica claramente que la Tierra está detenida, mientras que el Sol, la Luna y las estrellas giran.

En su respuesta a Foscarini, indirectamente dirigida también a Galileo, Bellarmino defendía no sólo el principio de la interpretación literal de la Biblia, sino también la física tradicional y la experiencia sensorial como elemento de verificación de la verdad de las teorías científicas.

Consecuencia de la actitud de Bellarmino fue el dictamen de la comisión de censores del Santo Oficio emitido el 24 de febrero de 1616 y el decreto de la Congregación del Índice de los Libros Prohibidos del 3 de marzo de 1616, que prohibía a los católicos la lectura de la obra de Copérnico mientras no se introdujeran en ella correcciones que definiesen el heliocentrismo como hipótesis.

Se dice que Galileo, notificado sobre la decisión de las autoridades eclesiásticas, prometió que no difundiría de modo alguno la teoría sobre el movimiento de la Tierra.

En el año 1623 fue elegido papa el cardenal Maffeo Barberini, conocido por su benévolo Interés por la nueva ciencia. Galileo decidió entonces salir nuevamente en defensa del heliocentrismo. Con este propósito, pidió una audiencia al papa, durante la cual Urbano VIII le aconsejó agregar al proyectado libro un prefacio y un epílogo donde se indicara el carácter hipotético del heliocentrismo. Galileo siguió aparentemente este consejo y su *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo...* —publicado en 1632 y donde, como se sabe, se demuestra la validez de la teoría copernicana— fue provisto de una introducción y una conclusión en las cuales se presentaba dicha teoría como suposición. Naturalmente, la Inquisición se dio cuenta de que aquello era un ardid. A esto

siguieron hechos suficientemente conocidos: Galileo, que tenía por entonces casi 70 años, fue sometido a un juicio por haber quebrantado la prohibición del año 1616. El 22 de junio de 1633 se dictó la sentencia por la que se condenaba a Galileo a retratarse públicamente de sus opiniones y a permanecer bajo custodia. Su libro fue prohibido, y la teoría heliocéntrica nuevamente condenada. El decreto del año 1616, fundado sobre todo en la disconformidad formal del heliocentrismo con la Biblia, y las agudas querellas personales cobraron nueva actualidad con la condena de 1633 y por mucho tiempo determinaron la actitud del mundo católico hacia Copérnico y sus sucesores.

La interdicción del colegio cardenalicio no podía, sin embargo, detener el desarrollo de la concepción heliocéntrica por parte de los astrónomos, ni la publicación de un creciente número de libros que documentaban la validez científica de esta concepción y el carácter infundado de los argumentos bíblicos esgrimidos en su contra. Estas publicaciones dieron lugar a una verdadera avalancha de réplicas por parte de los defensores del decreto, quienes, por otro lado, no sólo provenían de los círculos católicos. No obstante, precisamente en este período de agudísima lucha ideológica, los protestantes aprovechaban con frecuencia aquel decreto como prueba del papel negativo de la Iglesia Católica con respecto al progreso de la ciencia. Los publicistas católicos, en cambio, al atacar el heliocentrismo solían presentarlo como teoría propagada por los herejes. Huelga añadir que, por ambas partes, se trataba de trucos propagandísticos, pues la realidad era mucho más compleja.

Si bien la difusión del heliocentrismo resultaba relativamente más fácil en los círculos heterodoxos, es preciso recordar que muchos de los grandes defensores de esta teoría provenían de los círculos católicos —por ejemplo, Descartes o Fontenelle—, sólo que a menudo se veían obligados a encubrir sus opiniones utilizando diferentes argucias, por lo demás fácilmente detectables para sus contemporáneos. Sea como fuere, había partidarios de ambos sistemas cosmológicos en diferentes medios confesionales. La línea divisoria, pues, establecía dos campos en conflicto: los matemáticos y los teólogos, independientemente de su credo. No es extraño, por lo tanto, que uno de los rasgos característicos de este periodo fuesen las polémicas entre astrónomos y teólogos.

Por ejemplo, las publicaciones proheliocéntricas de los astrónomos —Felipe y Jacobo Lansberg, A. Deusing, D. Lipstorp— se vieron rebatidas por teólogos como L. Fromondi o M. Inchofer, quienes recurrieron a los muy conocidos y mil veces repetidos argumentos basados en la disconformidad con las Sagradas Escrituras interpretadas literalmente —y de otro modo no era posible interpretarlas—, con la física aristotélica y con la experiencia sensorial.

Algunos científicos, principalmente jesuitas (v. gr. A. Kircher, K. Scheiner, J. Riccioli), movidos sobre todo por razones ideológicas, seguían tratando de conciliar los adelantos particulares de la astronomía empírica con la concepción geocéntrica en líneas generales. Pero los más independientes entre los astrónomos se pronunciaban en favor del sistema heliocéntrico, argumentando que

el desarrollo experimentado por la ciencia durante el último centenio no sólo no había eliminado la teoría copernicana, sino que, por el contrario, la había confirmado y seguía confirmándola con nuevas pruebas, cada vez más convincentes.

Sin embargo, la presión ideológica era tan vigorosa en esa época, que obligaba a actuar con disimulo aun) a las individualidades científicas más fuertes. Muy característica en este contexto es la actitud que Descartes manifiesta en sus *Principia philosophiae*, editadas en 1644 en Ámsterdam.

El gran filósofo reconoció allí el heliocentrismo como parcialmente justo, admitiendo que el Sol ocupaba una posición central con respecto a los planetas. Negaba en cambio que la Tierra estuviese dotada de movimiento propio, sosteniendo que ésta, al igual que los demás planetas, era arrastrada por la materia fluida del cielo, que formaba los famosos torbellinos cartesianos. Naturalmente, el hecho de que se formularan sobre el carácter hipotético del movimiento terrestre, opiniones opuestas al juicio de Copérnico se debió en gran parte al proceso de Galileo.

Se conoce una carta de Descartes, de noviembre de 1633, donde éste afirma que todos los fundamentos de su filosofía se desprenden de la teoría heliocéntrica y ruega a M. Mersenne que le informe sobre la actitud de la Inquisición con respecto a este problema. Cuando el filósofo se enteró de la condena de Galileo, pidió a Mersenne, en otra carta de abril de 1634, que retirara de la imprenta su obra *Le monde*, en la que propagaba abiertamente la

teoría del movimiento de la Tierra. Confesó entonces que prefería no exponerse y ocultar sus verdaderas opiniones.

La actitud de Descartes fue debidamente comprendida por ambas partes en esta polémica, las que reconocieron inequívocamente y con rara unanimidad a este filósofo como el pilar del heliocentrismo. En efecto, la cosmología copernicana podía ser aceptada y desarrollada sobre todo en el contexto de la oposición cartesiana contra el aristotelismo.

Para los investigadores de la segunda mitad del siglo XVII, el heliocentrismo se volvía cada vez más un elemento integral de la concepción científica del mundo. Así, por ejemplo, Tomás Hobbes, en su famoso *Elementa philosophiae* (1655), admitía el sistema planetario copernicano de una manera completamente natural y lo reconocía como algo fuera de discusión. Pero la controversia no se extinguía. Lo prueba, por ejemplo, el hecho de que el célebre matemático, físico y biólogo inglés Robert Hooke le asignara absoluta vigencia, al escribir en 1670 un trabajo que llevaba el elocuente título de *Un intento de probar el movimiento de la Tierra a partir de las observaciones* (*An attempt to Prove the notion of the Earth from observations*, Londres, 1674). Hooke esgrimía sólo argumentos científicos, burlándose de los polemistas que, a causa de su ignorancia y de diferentes prejuicios, ni siquiera eran capaces de concebir el movimiento de la Tierra. Pero la mayoría de los sabios, valorando debidamente el peso de los argumentos religiosos, aceptaban una plataforma más amplia de discusión. Así procedió, por ejemplo, Peter Megerün, astrónomo y matemático de Basilea, al

publicar un extenso libro titulado *Systema mundi Copernicanum argumentis invictis demonstratum et conciliatum theologiae* (Ámsterdam, 1682), donde demostraba tanto la validez física del sistema heliocéntrico como su conformidad con la Biblia interpretada, como es natural, alegóricamente.

Una popularidad considerablemente mayor que aquellos tratados científicos le ganaron a la teoría heliocéntrica los *Diálogos sobre la pluralidad de los mundos* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, París, 1686), escritos en estilo ligero y con gran soltura por Bernard de Fontenelle, talentoso hombre de letras y vulgarizador de la ciencia. El autor, al considerar hipotéticamente la posibilidad de que existiesen otros sistemas planetarios, tomó como punto de partida la teoría de Copérnico, calificándola de clara y lógica, conforme con la finalidad y la economía de las obras de la naturaleza. Fontenelle repitió y desarrolló allí el argumento, aducido ya por Copérnico, Wright y otros, según el cual la lógica del sistema heliocéntrico representa la prueba más convincente de la sabiduría del Creador. Este motivo se repetiría con creciente frecuencia en años posteriores y constituiría la interpretación ideológica usual del sistema copernicano ya aceptado. La disquisición de Fontenelle no perdió actualidad durante más de cien años, dado que aun en 1789 apareció la traducción alemana de los *Diálogos*, que habían tenido hasta entonces doce ediciones en francés, cuatro en inglés, dos en ruso y una en polaco. La cantidad de ediciones y traducciones constituye la mejor prueba de la atrayente forma de esta obra, pero sobre todo habla de la vitalidad del problema mismo, que apasionó

con igual fuerza a tres generaciones de lectores. Finalmente, es una prueba de lo arraigadas que estaban las concepciones cosmológicas tradicionales.

§. 3. Período final de la controversia acerca del heliocentrismo: desde el año 1687 hasta fines del siglo XVIII

En la segunda mitad del siglo XVII, el desarrollo de la astronomía y la física europeas culmina en una serie de logros universalmente conocidos, que serán coronados y hasta cierto punto codificados por Newton, cuya obra debe considerarse como punto crucial en la historia de la aceptación científica del heliocentrismo. Simplemente, a partir de Newton dejó de existir en la ciencia la alternativa geocéntrica.

La nueva visión del mundo, creada por los sabios del siglo XVII, no fue propiedad exclusiva de ellos. El común de las personas instruidas, que salían de las escuelas y universidades con ideas sobre el universo forjadas por la filosofía aristotélico-tomística, podían ya cambiar sus opiniones bajo la influencia de la literatura que popularizaba los últimos adelantos de las ciencias naturales y particularmente de la filosofía cartesiana, tan en boga en el linde de los siglos XVII y XVIII. Hemos dicho que podían cambiarlos, pero no siempre —y en realidad raras veces— lo hacían.

La polémica en torno del heliocentrismo siguió tentando un carácter violento hasta fines del siglo XVII y principios del XVIII, pero ahora se desarrollaba en otro nivel y las personas que participaban en ella también eran diferentes. Para los científicos “independientes”, no

ligados a escuela alguna y no obligados por lo tanto a exponer teorías cosmológicas anticuadas, la disputa sobre este problema carecía ya entonces de objeto. Los que seguían defendiendo el heliocentrismo eran aquellos para quienes lo más importante consistía en conciliar esta teoría con la Biblia.

En las escuelas, especialmente en las mantenidas por diferentes órdenes religiosas, empieza a hablarse cada vez más del heliocentrismo, a explicarse sus principios, pero sigue tratándose como una hipótesis cómoda para los cálculos astronómicos. La contradicción con algunos pasajes de la Biblia es la única razón que se cita para no aceptarla como verdad física. Por consiguiente, la última etapa de la controversia consistirá en demostrar la concordancia de la teoría copernicana con la Biblia y en probar que aquélla no conduce al ateísmo, sino que, por el contrario, debido a su perfección y armonía, inclina a conocer y adorar mejor a Dios.

Característica de esta tendencia y muy importante en sus resultados fue la intervención de Ludovico Antonio Muratori, sacerdote católico, historiador y escritor religioso muy conocido en su época. Muratori formó parte del grupo de sacerdotes italianos favorables a las ideas de la Ilustración. En el libro *De ingeniorum moderatione in religionis negotio*, publicado en 1714, combatió las exageraciones que habían apareado entre los católicos en lo referente al culto religioso y a la Interpretación de la ciencia moderna. La obra de Muratori marcó un viraje en el enfoque de esta problemática, a cien años de distancia de Galileo y Foscarini, que habían defendido un punto de vista análogo. Así debe juzgársela,

dado que durante esos diez años prácticamente los únicos en exigir una interpretación alegórica de los pasajes “científicos” de la Biblia habían sido los heterodoxos. Esta vez era un sacerdote católico quien se pronunciaba en favor de ella, pidiendo —entre otras razones, para el bien de la Iglesia misma— que le fuera quitado al heliocentrismo el estigma de la herejía.

La voz de Muratori no podía, claro está, ocasionar un cambio inmediato y general de las opiniones acerca de la Interpretación de la Biblia. Muchos católicos y muchos protestantes seguirían viendo en aquellos fragmentos una prueba evidente de la falsedad de la teoría copernicana.

La controversia en torno del heliocentrismo inspiraría aún nuevas publicaciones en la cuarta década del siglo XVIII y también más tarde, pero con el correr del tiempo éstas se volvían evidentemente anacrónicas. En todas ellas aparecía claramente el vínculo entre el heliocentrismo y el conjunto de los problemas de la filosofía cartesiana y de las ciencias naturales modernas. La teoría de Copérnico se había convertido en un elemento inseparable de la nueva ideología científica propagada por los hombres de la Ilustración. La oposición de los círculos conservadores implicaba forzosamente la lucha contra toda la ciencia moderna, lo cual en la segunda mitad del siglo XVIII resultaba ya casi imposible, dado el nivel de conocimientos científicos de la parte instruida de la sociedad.

Desde entonces, en la mayoría de los círculos culturales católicos empezó a imponerse la idea de la interpretación alegórica de la

Biblia, tal como lo habla propuesto Muratori. Esto permitió admitir las contradicciones entre el heliocentrismo y la letra de las Sagradas Escrituras. En consecuencia con estas tendencias apareció el conocido decreto del papa Benedicto XIV. La sociedad católica no tardó en aceptar el nuevo sistema de ideas sobre el universo, propagando las sucesivas conquistas de la astronomía y la física como pruebas de la sabiduría de Dios y de la armoniosa estructura de la Naturaleza.

Y sólo entonces se extinguió totalmente la gran controversia en torno de la teoría de Copérnico.

Bibliografía copernicana escogida

Elaborada por Jerzy Dobrzycki

Hasta ahora la lista más completa de publicaciones acerca de Copérnico ha aparecido en el libro *Bibliografia Kopernikowska 1509-1955* de Henry Baranowski, editado en Varsovia en el año 1958. Este volumen contiene la descripción de casi 4 000 títulos publicados hasta el año 1955. Un valioso complemento en lo que se refiere a publicaciones posteriores es la *Annotated Copernican Bibliography* en E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, Nueva York, 1959.

En 1972 aparecerá un suplemento a la Bibliografía de Baranowski con las obras publicadas con posterioridad al año 1955. En la presente selección, los números entre corchetes corresponden a la numeración de Baranowski.

A. Principales ediciones y traducciones de obras de Copérnico

I. *De revolutionibus*

El autógrafo se encuentra en la Biblioteca Jagiellonska de Cracovia, sign. 10000.

Reproducción del autógrafo: 1. *Gesamtausgabe...* hrsg. v. F. Kubach. München. Bd 1. *Opus de revolutionibus coelestibus manu propria*. Faksimile-Wiedergabe. 1944 (130) 2. *Opera omnia*, t. 1. Facsimile. Varsovia, 1971.

Ediciones del texto en latín:

1. *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*. Norimbergae 1544, J. Petreius (196).
Reproducciones: París, 1927 (101); Amsterdam-Torino, 1943 (126); Leipzig 1965 (ejemplar de la biblioteca de Kepler); Bruxelles, 1966.
2. *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*. Basileae 1566, officina Henricpetrina (4).
Reproducción: Praha, 1971 (ejemplar de la biblioteca de Tycho Brahe).
3. *Astronomia instaurata libri sex comprehensa, qui de Revolutionibus orbium coelestium inscribuntur*. Ed. N. Mulerius, Amsterodami 1617, W. Janssonius (9).
4. *De revolutionibus orbium coelestium libri sex*. Ed. J. Baranowski. Varsovia 1854 (27).
(Título y texto también en idioma polaco. En esta edición fue publicada por primera vez la introducción de Copérnico al libro I, omitida en las ediciones anteriores. La edición varsoviaña comprende también las obras menores de Copérnico.)
5. *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*. Curavit Societas Copernicana Thorunensis. Thoruni 1873 (45).
6. *Gesamtausgabe*, Münche, Bd 2. *De revolutionibus orbium coelestium libri sex*. Ed. Fr. Zeller, C. Zeller 1949 (136).
7. *De revolutionibus orbium coelestium liber primus*. Ed. R. Gransiniec, A. Birkenmajer. Varsovia, 1953 (142).
(Edición del texto latino y traducción al polaco del libro I hasta el capítulo 11 inclusive.)

Traducciones

Al español:

Trad. M. Tagüena Lacorte, C. Moreno Canadas. *Revoluciones de las órbitas celestes*. México, 1969.

Para los lectores de habla española citamos:

Nicolás Copérnico, *Las revoluciones de las esferas celestes*. Libro primero. Introducción y notas de Alejandro Koyré. Traducción de Jorge Fernández Chiti. Buenos Aires, 1965.

José A. Coffa, *Copérnico*, Buenos Aires, 1969. Con selección de fragmentos de *Narratio prima* y de *revolutionibus* (Libro I), y versión completa del *Commentariolus* y de la *Carta contra Werner*.

Al alemán:

Trad. y comentario L. C. Menzzer. *Über die Kreibewegungen der Weltkörper*, Thorn, 1879 (56).

Reedición: Leipzig, 1939 (121).

Al francés:

Trad. y comentario A. Koyré. *Des révolutions des orbés célestes*. Paris, 1934 (Trad. del libro I hasta el cap. 11 inclusive) (105). II edición, Paris, 1970.

Al inglés:

Trad. C. G. Wallis. *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*. Chicago, 1952 (138 a).

Trad. J. F. Dobson, S. Brodetsky. *De revolutionibus*. Preface and Book I. Occasional Notes Royal Astronom. Soc. N° 10, 1947 (134).

Al polaco:

Trad. J. Baranowski, Warszawa, 1854 (edición bilingüe latino-polaca) (27).

Trad. M. Brozek, comentario A. Birkenmajer, Warszawa, 1953 (edición bilingüe latino-polaca del libro I) (142).

Al ruso:

Trad. y comentario I. N. Veselovski. *O vrashcheniyaj nebesnij sfer*. Moskva, 1964.

II. *De lateribus et anguli triangulorum*... Vittembergae, 1542, J. Luft. (2).

III. Otros escritos astronómicos de Copérnico

Se trata de dos cortas disertaciones de las que se han conservado únicamente copias del siglo XVI: K

1. *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*.

Ediciones del texto latino en:

Inedita Copernicana. Ed. M. Curtze. Toruni, 1878. Mitt-en Cop. Ver. I (55).

De hypothesibus... Ed. A. Lindhagen, Stockholm, 1881. Svenska vet Akad. Handlingar Bd 6 n° 12 (58).

L. Prowe *Nicolaus Copernicus*, Bd 2, Berlin, 1884 (63).

- Erster Entwurf seines Weltsystems...* Ed. F. Rossmann, München, 1948 (135).
 Texto latino con traducción paralela al alemán.
 Traducción inglesa en:
 E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York, 1959.
2. *De octava sphaera contra Wernerum*. Rev. Dom. Bernardo Wapowski (opúsculo conocido con el nombre de Carta a Wapowski).
 Ediciones del texto latino en:
De revolutionibus... Warsawa, 1854 (27).
 L. Prowe, *Nicolaus Copernicus*. Bd 2, Berlin, 1884 (63).
 Traducción inglesa en:
 E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York, 1959.
 Los *Three Copernican Treatises* de E. Rosen merecieron una tercera edición, Nueva York, 1971, ampliada con una biografía de Copérnico y en la cual los ítems de la Bibliografía copernicana anotada alcanzan a 1092.

IV. Escritos económicos

1. *Monetas cudendae ratio*
 Ediciones del texto latino en:
Dissertatio de optima monetae cudendae ratione, anno MDXXVI scripta nunc primum ex eius autographo typis vulgata. Ed. F. Bentkowskis, Warszawa, 1816.
 Pamietnik Warszawski, t. V, y separata (10). El título y el texto también en idioma polaco.
De revolutionibus... Warszawa. Berlin, 1873 (27)
 en: L. Prowe, *Monumenta Copernicana*. Berlin, 1873 (46).
Copernicana. Berlin, 1873 (46).
Spicilegium Copernicanum. Ed. F. Hipler, Braunsberg, 1873 (48).
Rozprawy o monecie i inne pisma ekonomiczne... Oprac. J. Dmochowski. Warszawa, 1924 (96). Título y textos en latin y en polaco (*Disertaciones sobre la moneda y otros escritos económicos...* Red. J. Dmochowski).
 Traducción francesa:
 Trad. W. Zótowski en: *Écrits notables sur la monnaie*, Paris, 1934, t. 1 (106).
 Traducción inglesa:
 Extensos fragmentos en: J. Taylor, *Copernicus on the evils of inflation*, London, 1955, Journ. Hist. of Ideas, t. 5.
 Traducciones polacas:
Dissertatio de optima monetae... Warszawa, 1816 (10).
Rozprawy o monecie... Warszawa, 1924 (96).
2. Las versiones anteriores de la disertación sobre la moneda, procedentes de los años 1517, 1519 y 1522, fueron publicadas en:
Acta Tomiciana, t. V, pp. 167-169 (versión del año 1517).
 A. Birkenmajer, *Stromata Copernicana*, Kraków, 1924 (492).
Rozprawy o monecie..., Warszawa, 1924 (textos latinos y su traducción al polaco (96).
Spicilegium Copernicanum... Braunsberg, 1875 (versiones de los años 1519 y 1522 (48).

V. Otros escritos de Copérnico (principalmente cartas).

Los autógrafos se encuentran en las bibliotecas y archivos de Cracovia, Olsztyn, Gotinga y Estocolmo.
 Ediciones de los textos latinos en:
De revolutionibus... Warszawa, 1854 (27).
 L. Prowe, *Monumenta Copernicana*, Berlin, 1873 (46).
Spicilegium Copernicanum, Ed. F. Hipler, Braunsberg, 1873 (48).

M. Biskup, *Nowe materialy do dzialalnosci publicznej Mikolaja Kopernika z lat 1512-1537 (Nuevos documentos para el estudio de la actividad pública de Nicolás Copérnico de los años 1512-1537)*, publicado en *Studia i Materialy z Dziejów Nauki Polskiej*, Serie C, Cuaderno 15, 1971.

VI. Simocatta Theophylactus Scholasticus. *Epistolae morales, rurales et amatoriae*. Obra traducida del griego al latín por Nicolás Copérnico.

Edición latina: Cracoviae, 1509, ed. J. Haller (1).

Facsímil de la traducción de Copérnico, textos griego y latino, ed. dirigida por R. Gansinieo; traducción al polaco de J. Parandowski, Warszawa, 1953 (139).

B. Las más importantes publicaciones acerca de Copérnico y su obra

1. L. Prowe, *Nicolaus Copernicus*, Berlin, 1883-1884, t. 1-2 (429).
2. L. A. Birkenmajer, *Mikolaj Kopernik*, Kraków, 1900 (449).
3. L. A. Birkenmajer, *Stromata Copernicana*, Kraków, 1924 (492).
4. Th. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, Cambridge, 1957.
5. J. R. Ravetz, *Astronomy and Cosmology in the Achievement of Nicolaus Copernicus*, Wrocław-Warszawa, 1965.
6. J. Dobrzycki, L. Hajdukiewicz, Mikolaj Kopernik en: *Polski Słownik Biograficzny (Diccionario biográfico polaco)*, t. XIV, cuaderno 1, Wrocław-Warszawa-Kraków, 1968.
7. E. Rosen, *Nicolaus Copernicus* en: *Dictionary of Scientific Biography*, t. III, New York, 1971.
8. A. Birkenmajer, *Etudes d'histoire des sciences en Pologne*, Warszawa, 1971. *Studia Copernicana*, t. IV.
9. M. Biskup, *Regesta Copernicana*, Warszawa, 1972.

Cronología de la vida y la obra de Copérnico

- 1473, 19 de febrero Nace en Torun, Nicolás Copérnico, hijo de Nicolás, comerciante de Torun, y de Bárbara Watzenrode, hermana de Lucas (futuro obispo de Warmia).
- 1483 Aproximadamente en esta fecha fallece el padre de Nicolás Copérnico.
- 1491, otoño Nicolás Copérnico se inscribe en la matrícula de la Universidad de Cracovia.
- 1495 Copérnico, luego de 4 años de estudio en la Facultad de Artes Liberales de la Academia Cracoviana, obtiene — indudablemente gracias al apoyo del obispo Lucas Watzenrode— una canonjía en el capítulo de Warmia, pero la ocupará efectivamente sólo en el año 1497, debido a la oposición de una parte del capítulo.
- 1496, otoño Copérnico parte con su hermano Andrés a Italia, en un viaje de estudio.
- 1497, enero Copérnico inicia estudios de Derecho Canónico en la Universidad de Bolonia.
- 1497, 9 de marzo Copérnico, junto con el astrónomo boloñés Doménico María Novara, observa el eclipse de Aldebarán por la Luna. Es la primera observación astronómica efectuada por Copérnico de la que tenemos conocimiento.
- 1500 Copérnico se encuentra en Roma durante el Año de Jubileo, probablemente con el propósito de cumplir un período de práctica Jurídica en la Curia romana.
- 1500 Según relación posterior de Rheticus, Copérnico dió en Roma conferencias sobre astronomía para un grupo de especialistas.
- 1501 Copérnico regresa por unos meses a Polonia y obtiene el permiso del capítulo para continuar sus estudios en Italia,

	esta vez de Medicina.
1501, otoño	Copérnico empieza los estudios de Medicina en Padua.
1503, mayo-junio	Estadía en Ferrara; el 31 de mayo Copérnico obtiene allí el grado de doctor en Derecho canónico.
1503, verano	Copérnico regresa de Italia a Warmia.
1503-1510	Copérnico reside en Lidzbark, en la corte de Lucas Watzenrode, obispo de Warmia.
1504, 1505, 1507	Copérnico asiste a las asambleas de los estados de Prusia Real.
1507	Aproximadamente en esta fecha, Copérnico elabora el primer esbozo de la teoría heliocéntrica (<i>Commentariolus</i>), divulgado en forma de copias manuscritas.
1509	Se publica en Cracovia la traducción latina, hecha por Copérnico, de las <i>Epístolas</i> de Teofilacto Simocatta, escritor bizantino del siglo VII (<i>Epistolae morales, rurales et amatoriae</i>).
1510-1513	Copérnico es canciller del capitulo de Warmia.
1510	En este año, aproximadamente, Copérnico confecciona el mapa de una parte de Pomerania (el mapa no se ha conservado).
1512, 29 de marzo	Fallece en Torun, Lucas Watzenrode, obispo de Warmia. Poco antes Copérnico se radica en Frombork.
1513-1516	Copérnico participa en la discusión acerca de la reforma del calendario, redactando una respuesta propia a la encuesta -organizada por la correspondiente comisión del Concilio de Letrán.
1515	Aproximadamente en esta fecha, Copérnico inicia el trabajo sobre su obra principal, <i>De revolutionibus</i> .
1516-1519	Copérnico, en calidad de administrador de los bienes del capitulo de Warmia, reside en el castillo de Olsztyn.

1517, 15 de agosto	Copérnico termina su primera disertación sobre la moneda.
1519- 1520	Breve estadía de Copérnico en Frombork.
1520-1521	Guerra con la Orden Teutónica.
1520, enero	Un ataque teutónico destruye los edificios del capitulo de Warmia anexos al castillo de Frombork. Copérnico se traslada a Olsztyn.
1520, agosto	Copérnico es nombrado comisario de Warmia.
1520, noviembre - 1521, junio	Copérnico ocupa nuevamente el cargo de administrador de los bienes del capítulo.
1521, agosto	Copérnico regresa definitivamente a Frombork.
1521-1522	Copérnico es visitador de las propiedades del capítulo.
1522, marzo	Copérnico presenta su memoria sobre la reforma monetaria ante la asamblea de los estados de la Prusia Real.
1523, enero - octubre	Copérnico es administrador general del obispado de Warmia, mientras queda vacante la sede episcopal.
1523-1525	Copérnico es nuevamente canciller del capítulo.
1524, 3 de junio	Copérnico envía a Bernard Wapowski una crítica del tratado <i>Del movimiento de la octava esfera</i> , de Johann Werner. La disertación de Copérnico conocida como <i>Carta a Bernard Wapowski</i> se ha conservado en varias copias procedentes de la segunda mitad del siglo XVI.
1528	Copérnico redacta la versión definitiva de su tratado sobre la reforma monetaria (<i>Monetae cudendae ratio</i>), participa en las deliberaciones de los estados prusianos en Malbork y Elblag, consagradas al problema de la reforma.
1528-1529	Copérnico es canciller del capítulo.
1529, 12 de marzo	Observación de Venus, la última de las observaciones de Copérnico aprovechadas en <i>De revolutionibus</i> .

1530-1532	Copérnico es visitador del capítulo.
1531	Copérnico elabora e impone la tasa al pan en la región de Olsztyn.
1533	El secretario papal refiere en Roma al Papa Clemente VII las opiniones de Copérnico sobre el movimiento de la Tierra.
1534-1537	Copérnico es visitador del capítulo.
1535	Por iniciativa de Bernard Wapowski, Copérnico confecciona un almanaque (calendario astronómico), que no se ha conservado.
1536	El cardenal Nicolás Schönberg escribe a Copérnico desde Roma, animándole a que publique sus descubrimientos. La carta de Schönberg apareció en la 1 edición de <i>De revolutionibus</i> , de 1543.
1539, fines de mayo	Georg Joachim de Porris (Rheticus) llega a Frombork.
1539-1540	Copérnico completa el texto de <i>De revolutionibus</i> .
1539, junio	Martín Lutero critica a Wittenberg las opiniones de “un nuevo astrónomo que ha querido demostrar que la Tierra se mueve”, sin mencionar su nombre.
1539, septiembre	Rheticus escribe su <i>Narratio prima</i> .
1540, marzo	En Gdansk se publica la <i>Narratio prima</i> de Rheticus.
1541, 20 de agosto	Copérnico observa un eclipse de Sol; es la última observación astronómica hecha por Copérnico de la que se tiene conocimiento.
1541, abril-mayo	Copérnico cura a un cortesano del Gran Duque Albrecht en Königsberg.
1541, octubre	Felipe Melanchton condena en Wittenberg la “absurda” tesis de Copérnico, el cual “mueve a la Tierra y detiene al Sol”.

1541 Segunda edición de *Narratio prima* de Rheticus en Basilea. Rheticus abandona Warmia llevándose, una copia de la obra de Copérnico destinada a la imprenta.

1542, junio Copérnico escribe la "Epístola Dedicatoria" al Papa Paulo III. En Nüremberg comienza la impresión de *De revolutionibus*.

1542 En Wittenberg aparece la Trigonometría de Copérnico editada por Rheticus (*De lateribus et triangulorum... libelista*), que constituye la parte final del I libro de *De revolsttiombus*.

1542, primera noticia sobre la enfermedad de Copérnico.
diciembre

1543, marzo Termina la impresión de *De revolutionibus*.

1543, 24 de Copérnico muere en Frombork.
mayo

Los autores

Dr. Stanislaw Heibst (n. 1907), catedrático de la Universidad de Varsovia, jefe del Departamento de Historia Moderna de dicha Universidad, presidente de la Sociedad Histórica Polaca. Historiador, destacado investigador de la historia de la cultura y de la historia de las ciudades.

Dr. Jerzy Dobrzycki (n. 1927), profesor adjunto del Departamento de Historia de la Ciencia y la Técnica de la Academia Polaca de Geodas, subjefe de la Sección Copernicana. Astrónomo, historiador de la astronomía, profundo conocedor de la obra de Copérnico.

Dr. Aleksandcr Birkenmajer (1890-1967), fue catedrático de la Universidad de Varsovia el más eminente de los investigadores polacos que se ocuparon de la vida y de la obra de Copérnico, investigador de la historia de las ciencias exactas, bibliólogo.

Dr. Wlodzimierz Zonn (n. 1905), catedrático de la Universidad de Varsovia, director del Instituto Astronómico de dicha Universidad, astrónomo y vulgarizador de los problemas de esta disciplina.

Dr. Leopold Infeld (1898-1968), fue catedrático últimamente de la Universidad de Varsovia, físico teórico de fama internacional, durante muchos años colaborador de Albert Einstein.

Dr. Waldemar Voisé (n. 1920), catedrático subjefe del Departamento de Historia de la Ciencia y la Técnica de la Academia Polaca de Ciencias. Metodólogo e historiador de las ideas sociales.

Dr. Bogdan Suchodolski (n. 1903), catedrático de la Facultad de Psicología y Pedagogía de la Universidad de Varsovia, jefe del

Departamento de Historia de la Ciencia y la Técnica de la Academia Polaca de Ciencias, miembro ordinario de dicha Academia, eminente pedagogo e investigador de la historia de la cultura.

Dr. Edward Lipinski (n. 1888), catedrático jubilado de la Universidad de Varsovia, miembro ordinario de la Academia Polaca de Ciencias, presidente honorario de la Sociedad Económica Polaca, destacado economista e historiador de las ideas económicas.

Dra. Barbara Bienkowska (n. 1934), profesora adjunta de la Universidad de Varsovia, jefa del Departamento de Biblioteconomía de dicha Universidad, investigadora de la historia de la cultura.