Nicolás Copérnico

Breve exposición de sus hipótesis acerca de los movimientos celestes *(Commentariolus)*

NOTA SOBRE LA EDICION

El *Commentariolus* une a su ya problemática condición de obra inédita la circunstancia adicional de conocerse a través de tres manuscritos diferentes que, por más que puedan proceder de una misma copia (véase la introducción), presentan innumerables variantes de detalle, tanto en la terminología como en los parámetros. Las características de esta edición de bolsillo impiden obviamente reflejar las distintas lecturas posibles del texto y, en consecuencia, en cada caso se ofrecerá la que a la luz de las investigaciones más recientes parezca disponer de un mejor aval.

Observo que nuestros predecesores recurrieron a un elevado número de esferas celestes [1] a fin, sobre todo, de poder explicar el movimiento aparente de los planetas respetando el principio de uniformidad. En verdad parecía completamente absurdo que un cuerpo celeste no se moviera uniformemente a lo largo de un círculo perfecto. Pero se dieron cuenta de que mediante distintas composiciones y combinaciones de movimientos uniformes podían lograr que un cuerpo pareciera moverse hacia cualquier lugar del espacio.

Calipo y Eudoxo, que trataron de resolver el problema por medio de círculos concéntricos, no fueron sin embargo capaces de dar cuenta por este procedimiento de todos los movimientos planetarios. No sólo tenían que explicar las revoluciones aparentes de los planetas, sino también el hecho de que tales cuerpos tan pronto nos parezcan ascender en los cielos como descender, fenómeno éste incompatible con el sistema de círculos concéntricos. Ese es el motivo de que pareciera mejor emplear excéntricas y epiciclos, prefe-

rencia que casi todos los sabios acabaron secundando.

Las teorías planetarias propuestas por Ptolomeo y casi todos los demás astrónomos, aunque guardaban un perfecto acuerdo con los datos numéricos, parecían comportar una dificultad no menor. Efectivamente, tales teorías sólo resultaban satisfactorias al precio de tener asimismo que imaginar ciertos ecuantes, en razón de los cuales el planeta parece moverse con una velocidad siempre uniforme, pero no con respecto a su deferente ni tampoco con respecto a su propio centro. Por ese motivo, una teoría de estas características no parecía ni suficientemente elaborada ni tan siquiera suficientemente acorde con la razón.

Habiendo reparado en todos estos defectos, me preguntaba a menudo si sería posible hallar un sistema de círculos más racional, mediante el cual se pudiese dar cuenta de toda irregularidad aparente sin tener para ello que postular movimiento alguno distinto del uniforme alrededor de los centros correspondientes, tal y como el principio del movimiento perfecto exige. Tras abordar este problema tan extraordinariamente difícil y casi insoluble, por fin se me ocurrió cómo se podría resolver por recurso a construcciones mucho más sencillas y adecuadas que las tradicionalmente utilizadas, a condición únicamente de que se me concedan algunos postulados. Estos postulados, denominados axiomas, son los siguientes.

Primer postulado

No existe un centro único de todos los círculos o esferas celestes.

Segundo postulado

El centro de la Tierra no es el centro del mundo, sino tan sólo el centro de gravedad y el centro de la esfera lunar.

Tercer postulado

Todas las esferas giran en torno al Sol, que se encuentra en medio de todas ellas, razón por la cual el centro del mundo está situado en las proximidades del Sol [2].

Cuarto postulado

La razón entre la distancia del Sol a la Tierra y la distancia a la que está situada la esfera de las estrellas fijas es mucho menor que la razón entre el radio de la Tierra y la distancia que separa a nuestro planeta del Sol, hasta el punto de que esta última resulta imperceptible en comparación con la altura del firmamento [3].

Quinto postulado

Cualquier movimiento que parezca acontecer en la esfera de las estrellas fijas no se debe en realidad a ningún movimiento de ésta, sino más bien al movimiento de la Tierra. Así, pues, la Tierra —junto a los elementos circundantes— lleva a cabo diariamente una revolución completa alrededor de sus polos fijos, mientras que la esfera de las estrellas y último cielo permanece inmóvil.

Sexto postulado

Los movimientos de que aparentemente está dotado el Sol no se deben en realidad a él, sino al movimiento de la Tierra y de nuestra propia esfera, con la cual giramos en torno al Sol exactamente igual que los demás planetas. La Tierra tiene, pues, más de un movimiento.

Séptimo postulado

Los movimientos aparentemente retrógrados y directos de los planetas no se deben en realidad a su propio movimiento, sino al de la Tierra. Por consiguiente, éste por sí solo basta para explicar muchas de las aparentes irregularidades que en el cielo se observan.

Una vez establecidos estos postulados, voy a tratar de mostrar brevemente cómo puede preservarse sistemáticamente la uniformidad de los movimientos. Me ha parecido que, en beneficio de la brevedad, convendría prescindir aquí de las demostraciones matemáticas, que reservo para una obra más amplia. No obstante, en el curso de la explicación de los círculos se darán las longitudes de los radios de las esferas y, gracias a ello, cualquiera mínimamente versado en matemáticas podrá advertir con facilidad cuán estrecha es la correspondencia entre esta disposición de círculos y los datos numéricos y las observaciones.

No se crea, pues, que —como los pitagóricos— he afirmado a la ligera el movimiento de la Tierra: en mi exposición acerca de los círculos podrá hallarse un argumento de peso en su favor. De hecho, los argumentos a los que recurren los filósofos naturales para demostrar la inmovilidad de la Tierra se basan por lo común en las apariencias: son estos argumentos los primeros en derrumbarse aquí, puesto que la propia inmovilidad de la Tierra se interpreta como una apariencia.

El orden de las esferas

Las esferas celestes se inscriben unas dentro de otras según el orden siguiente[4]. La superior es la esfera inmóvil de las estrellas fijas, que contiene a todas las demás cosas y les da un lugar[5]. Inmediatamente después se encuentra la esfera de Saturno, seguida por la de Júpiter y, a continuación, por la de Marte. Debajo de ésta se halla la esfera en la que nosotros giramos, a

la cual siguen la esfera de Venus y, finalmente, la de Mercurio. La esfera lunar, por su parte, gira en torno al centro de la Tierra y es arrastrada con ella a la manera de un epiciclo. Idéntico orden guardan asimismo las velocidades de revolución de las esferas, según sean mayores o menores los círculos que trazan. Así, el período de revolución de Saturno es de treinta años, de doce el de Júpiter, dos el de Marte, un año el de la Tierra, nueve meses el de Venus y tres el de Mercurio.

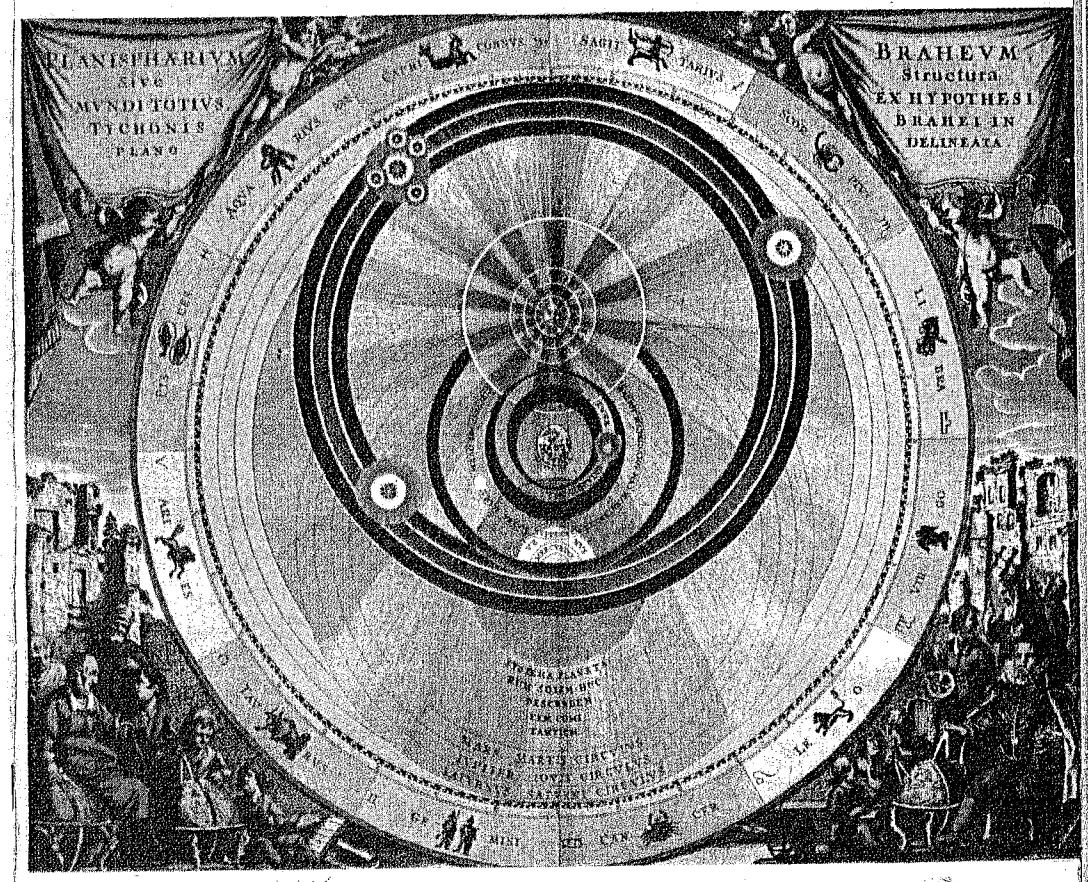
Los movimientos aparentes del Sol

La Tierra tiene tres movimientos. En primer lugar, gira anualmente sobre un gran círculo alrededor del Sol[6], siguiendo el orden de los signos[7] y describiendo siempre arcos iguales en tiempos iguales: la distancia que media entre el centro del círculo y el centro del Sol es de una veinticincoava parte del radio de dicho círculo. Así, pues, dado que se supone que la longitud de este radio es inapreciable en comparación con la altura de las estrellas fijas, parecerá que es el Sol el que gira con este movimiento, como si la Tierra permaneciese estacionaria en el centro del mundo. Sin embargo, no es el movimiento del Sol el responsable de esta apariencia, sino más bien el movimiento de la Tierra, de manera que cuando ésta se encuentra, por ejemplo, en Capricornio, el Sol se verá en la posición diametralmente opuesta, Cáncer, y así sucesivamente. De igual modo, y debido —como ya se ha dicho— a la distancia que separa al Sol del centro del círculo, su movimiento no parecerá uniforme, siendo $2\,{}^{1}/_{6}°$ la máxima desigualdad alcanzada. La línea que va del Sol al centro del gran círculo está invariablemente dirigida a un punto del firmamento situado a unos 10° al Oeste de la más luminosa de las dos estrellas centelleantes de la cabeza de los Gemelos. Por lo tanto, el Sol se encontrará a su distancia máxima con respecto a la Tierra cuando ésta se halle en el lugar opuesto a dicho punto y el centro del círculo esté entre ambos cuerpos. Y no

Hugh Kearney

Biblioteca para el Hombre Actual

Orígenes de la ciencia moderna, 1500 - 1700



La revolución científica —que abarca desde Copérnico hasta Newton— se considera actualmente como uno de los acontecimientos más dignos de tenerse en cuenta dentro de la historia del mundo, ya que es entonces cuando se asientan las bases y tiene su origen la ciencia moderna. Durante los siglos XVI y XVII los nuevos descubrimientos matemáticos y las nuevas técnicas experimentales que se pusieron en práctica modificaron muchas de las ideas tradicionales sobre el mundo y su naturaleza, y en algunos casos las echaron totalmente por tierra.
Esta revolución no discurrió, sin embargo, a lo largo de una línea de progreso ordenada metódicamente, como se asume con frecuencia; tampoco hay que suponer que los hombres que la promovieron actuaron siempre de forma racional.
Por el contrario, su actuación era, con frecuencia, mucho más mágica que científica. En esta obra no se pasa por alto este aspecto de la cuestión, sino que se le da su justo valor dentro del ambiente de aquella época. En ella su autor abarca, además, todo lo que constituía el mundo científico de entonces, es decir, desde la astronomía (Copérnico, Kepler y Galileo) a la medicina (Harvey y Vesalio) y a la filosofía (Descartes y Pascal), enfocando su estudio en tres tradiciones fundamentales:
la organicista, la mágica y la mecanicista, y rechazando la interpretación del pasado que se basa en dividir a los hombres en dos categorías: progresistas y revolucionarios.
Finalmente, trata del ambiente social en que se desenvolvió este movimiento y el impacto que produjo en las disciplinas «no científicas», como la literatura.

Hugh Kearney es profesor de Historia en la Universidad de Edimburgo.

Kepler

En la obra del astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630), la tradición mágica alcanzó uno de sus momentos críticos. Kepler fue copernicano convencido durante su juventud, lo que le señaló como excepción entre los astrónomos contemporáneos y le hizo sentirse miembro de una pequeña minoría oprimida. Por esta causa instó a Galileo a que hablase claramente en defensa de la cosmología co-

El famoso observatorio de Tycho Brahe, en Uraniborg, en la isla de Ileen, cerca de la costa de Dinamarca. Tycho (1546-1601) hizo complicados horóscopos a distintos miembros de la familia real danesa. Abajo a la izquierda aparece la villa del emperador Fernando en Praga, desde donde Tycho hizo observaciones en 1600-1601.

pernicana. El hecho de que el copernicanismo se tuviera aún como actitud excéntrica en el año 1600 merece resaltarse, porque deja sentado como punto de partida que Kepler fue también un excéntrico.

El papel de Kepler dentro de la tradición mágica se caracterizó por dos factores. El primero fue la ingente cantidad de observaciones astronómicas recogidas por el danés Tycho Brahe (1546-1601), y de las que Kepler supo aprovecharse. El segundo, la influencia que ejercieron los trabajos de Gilbert en la formulación de las hipótesis cosmológicas de Kepler.

El interés de Tycho por la astronomía se debió a una obsesión enorme por la astrología, que lo empujaba hacia la magia natural. Se dedicó a fabricar instrumentos que le permitiesen reproducir el firmamento estrellado con una precisión hasta entonces desconocida; pero esto no se reducía a una curiosidad científica desinteresada. Se trataba de un entusiasmo nacido de la idea de que un conocimiento mejor de las estrellas y planetas abriría el camino a horóscopos mucho más precisos. La información así recogida no pensaba constituían una colección particular de datos que buscaba aumentar para lograr una indiscutible posición de privilegio en el campo de la astrología. Apoyándose en sus observaciones pensaba convertirse —como se convirtió, de hecho— en el astrólogo *por excelencia.*

La carrera de Tycho es muy interesante porque muestra hasta qué punto la solicitud astronómica del siglo XVI brota de una credulidad casi religiosa en la importancia de las estrellas. Tycho se parece a los grandes científicos del siglo XIX por su entrega a la observación; pero la semejanza se para ahí. Tycho era un místico que buscaba su salvación en el firmamento estrellado, y que guardó celosamente los resultados de sus exploraciones. Si Kepler pudo aprovecharse de los datos de Tycho para sus propósitos personales fue porque aceptó el puesto de «ayudante de investigación» en el equipo del astrónomo danés. La información, pues, no se puso libremente al servicio del progreso doctrinal y de la revolución científica. La

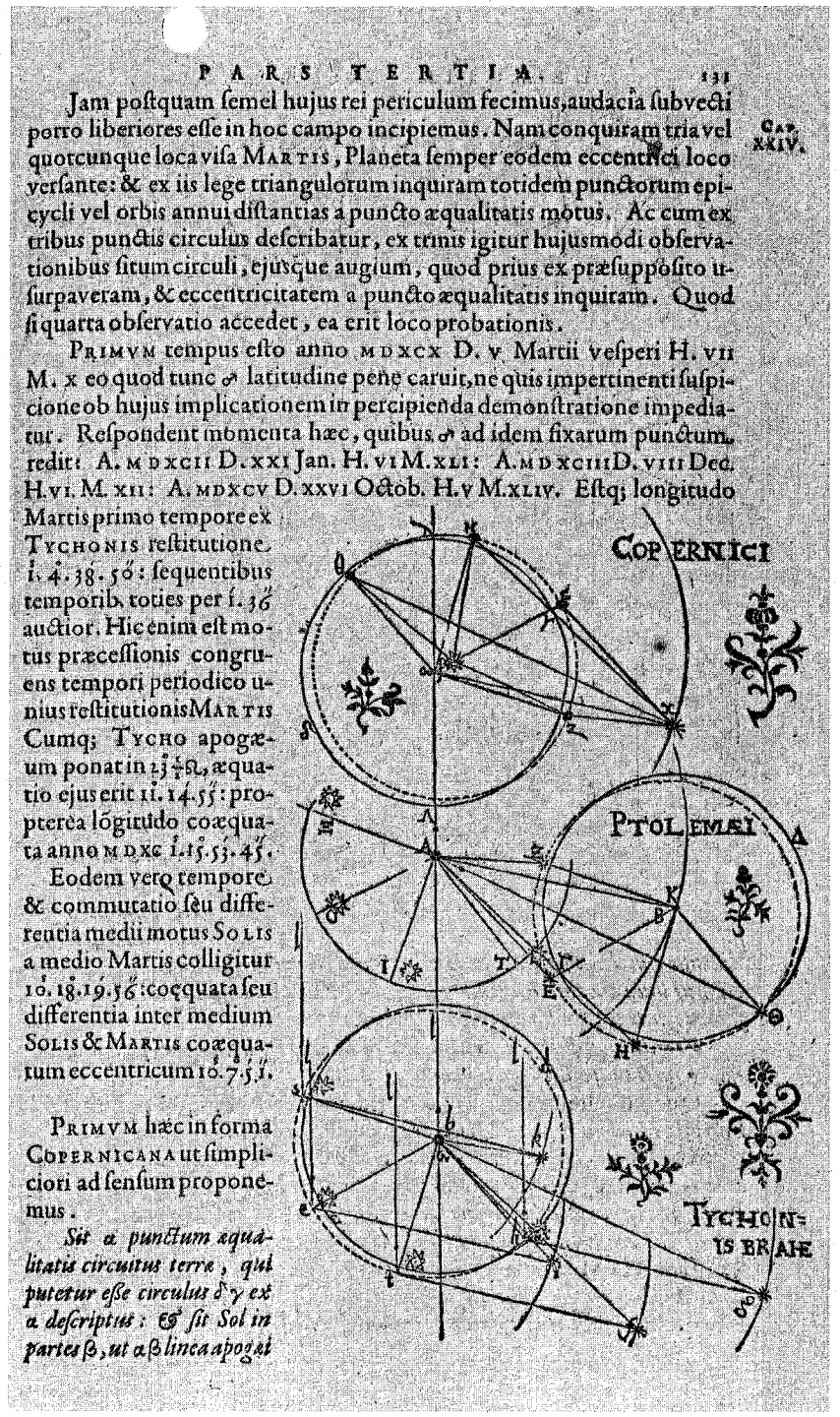
Una página de *Astronomía Nova* (1609), de **Kepler**, en que se vale de lo observ[illegible] en Marte por Tycho Brahe para apoyar la cosmología de Copérnico. Cada uno de los diseños ilustra la marcha de Marte según Copérnico, Ptolomeo y Tycho, respectivamente. La teoría heliocéntrica del primero era la más sencilla de entender, pero su creencia en que las órbitas eran circulares planteaba muchos problemas falsos. Kepler fue, sin embargo, el que demostró que las órbitas eran elípticas.

ciencia de Tycho fue esencialmente esotérica dentro de la gran tradición mágica.

Si las observaciones de Tycho le sirvieron a Kepler de instrumentos para atestiguar sus hipótesis, la teoría del magnetismo de Gilbert sirvió de estímulo para su imaginación. Siguiendo a Gilbert, Kepler vio la tierra como un imán enorme; pero fue más allá al aplicar el concepto de atracción mágica a todo el sistema planetario. El magnetismo, tal como Kepler lo vio, dejó de hacer necesaria la inteligencia sideral para guiar a los planetas en sus órbitas. Y suministraba un indicio de que los lazos misteriosos existentes entre el sol y los planetas podían debilitarse a medida que aumentara la distancia. Al volverse hacia Gilbert, Kepler se volvió hacia un hombre de espíritu parecido al suyo que le facilitó pruebas demostrativas de la hipótesis copernicana dentro de la tradición mágica.

Kepler fue luterano desde su nacimiento y se educó en la Universidad luterana de Tubinga. Como estudiante sin recursos, su carrera más indicada parecía ser la de la Iglesia; pero sus ideas religiosas no eran ortodoxas, o no las creyeron tales los superiores. Se convirtió en profesor de matemáticas en el seminario protestante de Graz, que se hallaba vinculado a la Universidad de Tubinga. Mientras ocupó este humilde puesto de profesor (1594-1600), Kepler escribió su primera obra de envergadura: *Mysterium Cosmographicum*. La escribió antes de verse influenciado por Gilbert y antes de conocer a Tycho. Aunque era algo mucho más modesto que un tratado de especulación cosmológica, como sugiere el título, Kepler pretende mostrar en ella que las esferas de los seis planetas (incluida la tierra) del sistema copernicano corresponden a los cinco sólidos perfectos de Euclides: el tetraedro, exaedro, octaedro, dodecaedro e icosaedro:

La tierra [escribió] es la medida de todas las demás órbitas. Circunscribe un dodecaedro regular alrededor; la esfera que lo circunde será la de Marte. Haz que la órbita de Marte sea circunscrita por un sólido de cuatro caras; la esfera que se describa alrededor será la de Júpiter. Circunscribe la órbita de Júpiter con un cubo; la esfera descrita alrededor será la de Saturno.


PARS TERTIA. 131

Jam postquam semel hujus rei periculum fecimus, audacia subvecti porro liberiores esse in hoc campo incipiemus. Nam conquiram tria vel quotcunque loca visa MARTIS, Planeta semper eodem eccentrici loco versante: & ex iis lege triangulorum inquiram totidem punctorum epicycli vel orbis annui distantias a puncto æqualitatis motus. Ac cum ex tribus punctis circulus describatur, ex trinis igitur hujusmodi observationibus situm circuli, ejusque augium, quod prius ex præsupposito usurpaveram, & eccentricitatem a puncto æqualitatis inquiram. Quod si quarta observatio accedet, ea erit loco probationis. CAP. XXIV.

PRIMVM tempus esto anno MDXCX D. V Martii vesperi H. VII M. X eo quod tunc ♂ latitudine pene caruit, ne quis impertinenti suspicione ob hujus implicationem in percipienda demonstratione impediatur. Respondent momenta hæc, quibus ♂ ad idem fixarum punctum redit: A. MDXCII D. XXI Jan. H. VI M. XLI: A. MDXCIII D. VIII Dec. H. VI. M. XII: A. MDXCV D. XXVI Octob. H. V M. XLIV. Estq; longitudo Martis primo tempore ex TYCHONIS restitutione 1. 4°. 38'. 50": sequentibus temporib. toties per 1'. 36" auctior. Hic enim est motus præcessionis congruens tempori periodico unius restitutionis MARTIS Cumq; TYCHO apogæum ponat in 23° ♋ ♌, æquatio ejus erit 11°. 14'. 55": propterea lõgitudo coæquata anno MDXC 1°. 15°. 53'. 45".

Eodem vero tempore & commutatio seu differentia medii motus SOLIS a medio Martis colligitur 10°. 18°. 19'. 56": coæquata seu differentia inter medium SOLIS & MARTIS coæquatum eccentricum 10°. 7°. 5'. 1".

PRIMVM hæc in forma COPERNICANA ut simpliciori ad sensum proponemus.

Sit α punctum æqualitatis circuitus terræ, qui putetur esse circulus δγ ex α descriptus: & sit Sol in partes β, ut αβ linea apogæi

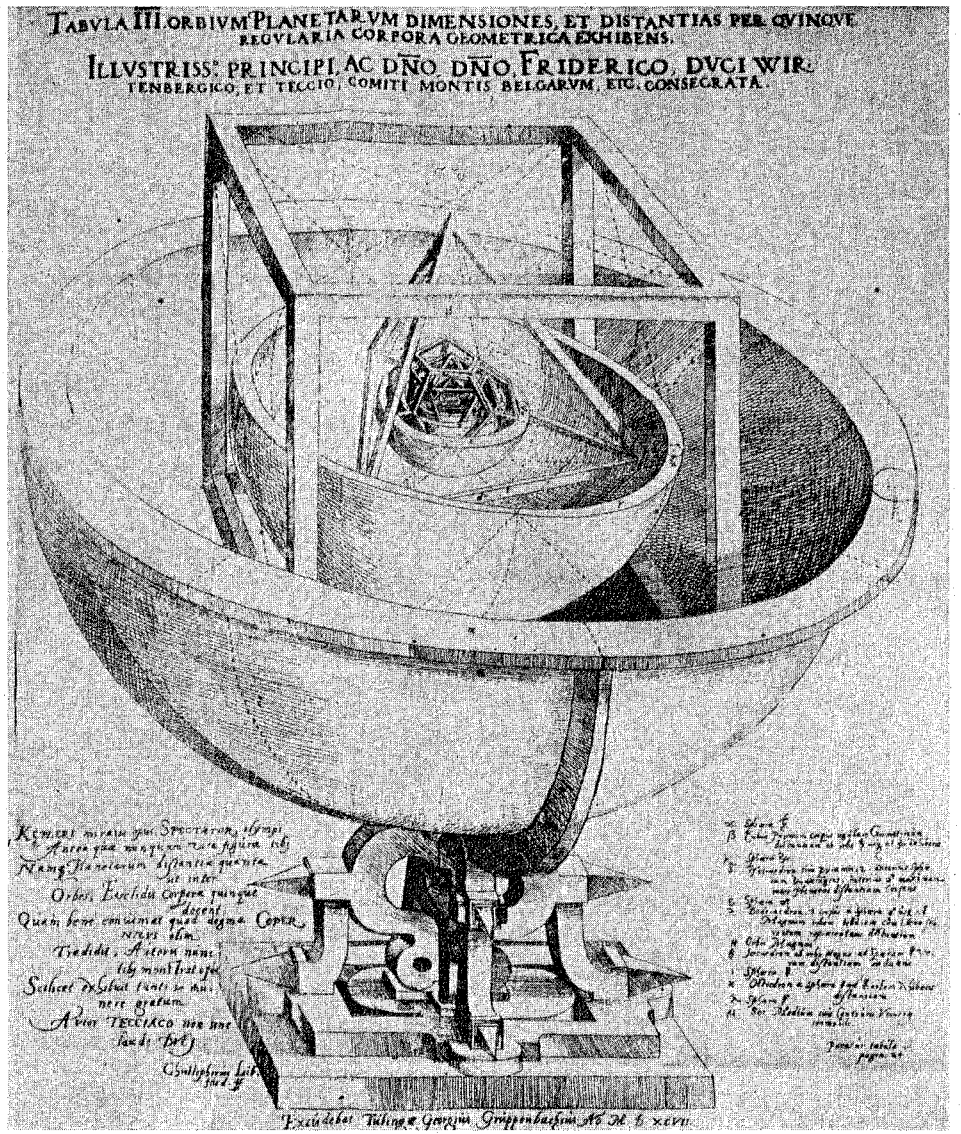
Ahora pon una figura de veinte caras en la órbita de la tierra; la esfera inscrita en ella será la de Venus. Coloca un octaedro en la órbita de Venus; la esfera inscrita en ella será la de Mercurio. Ahí tienes la base del número de los planetas [32].

El interés de este pasaje es doble. Primero, nos revela al Kepler pitagórico que trata de aplicar al cosmos las razones matemáticas que Pitágoras había descubierto en la música. Segundo, nos muestra al Kepler copernicano que acepta la tierra como planeta. Las dos vertientes son inseparables. Kepler no pretendía únicamente descubrir las órbitas de los planetas; intentaba a la vez explicar *por qué* hay sólo seis. En otros términos, trataba de penetrar en la mente o intención de Dios. Dios creó el cosmos guiándose por las leyes divinamente inspiradas de la geometría. De ahí que las conclusiones de Kepler fueran místicas y geométricas al mismo tiempo. Verdad es que el *Mysterium Cosmographicum* fue la obra primeriza de Kepler, escrita por un joven de veinticinco años; pero un tono parecido podemos hallarlo también en sus obras de madurez.

El libro siguiente, titulado *Astronomia Nova,* lo escribió hacia 1605-1606, aunque no se publicó hasta 1609. Para entonces se había trasladado a Praga, primero como ayudante de Tycho y luego como astrónomo imperial de Rodolfo II. Fue durante este período cuando leyó el *De Magnete,* de Gilbert, que influyó poderosamente sobre él. Parece que después de escribir el *Mysterium Cosmographicum,* Kepler se entregó más intensamente al estudio de las matemáticas.

La *Astronomia Nova* fue la primera obra revolucionaria sobre astronomía desde el *De Revolutionibus,* de Copérnico. Kepler propuso en ella dos innovaciones radicales. Ante todo, afirmó que los planetas se movían en órbitas elípticas alrededor del sol; y en segundo lugar, que la velocidad de los planetas al recorrer sus órbitas no era uniforme. Estas dos proposiciones fueron la base de las dos primeras leyes de Kepler y deben mucho a la influencia de Tycho y Gilbert. Los datos suministrados por Tycho le sirvieron para atestiguar sus hipótesis, o para rechazarlas cuando no se ajustaban a

Kepler quedó convencido en 1595 de que la estructura del sistema planetario se basaba en los cinco poliedros regulares, y trató de persuadir a Federico, Duque de Württemberg, de que se mandase hacer una copa según el modelo del universo. Cada una de las esferas planetarias ofrecería su propia bebida, desde el *aqua vitae* del sol hasta el «vino añejo malo» de Saturno. Esta idea fue abandonada, primero en favor de un globo y luego de un planetario móvil, pero ninguno de los proyectos de Kepler llegó a realizarse.



Retrato de Johannes Kepler (1571-1630), cuyos descubrimientos astronómicos constituyeron una transición esencial entre el mundo de Tycho Brahe y el mundo newtoniano.

los hechos. Sólo tras muchas formulaciones se decidió Kepler a aceptar la elipse como órbita planetaria. Las teorías magnéticas de Gilbert le proporcionaron una idea que le permitió aceptar la posibilidad del movimiento planetario según velocidades variables, fenómeno que podía explicarse por la debilitación de la fuerza magnética al aumentar la distancia entre ellos y el sol.

Aparte de su deuda con Tycho y Gilbert, Kepler debió muchísimo a la fuerza sustentadora de su creencia pitagórica en la matemática del universo. Kepler se resistió a darse por vencido cuando un fracaso seguía a otro y los hechos no se ajustaban a sus hipótesis sucesivas. Esa tenacidad provenía de su convicción casi religiosa de que Dios había creado el universo según leyes matemáticas.

Las dos primeras leyes de Kepler modificaban radicalmente no sólo el sistema ptolemaico, sino también el copernicano, tal como se expuso originalmente en 1543. Copérnico sostuvo la idea del movimiento circular, que inevitablemente implicaba el sostenimiento de los epiciclos como parte de su explicación. También supuso que los planetas se movían con velocidad uniforme. Pero Kepler echó por tierra ambas suposiciones, al menos en teoría. De hecho, su *Astronomia Nova* tuvo escasa resonancia. Kepler era demasiado neoplatonico para la mayor parte de sus colegas astrónomos, y demasiado matemático para sus colegas neoplatónicos. Esta obra, que a nosotros nos parece tan revolucionaria, apenas fue tenida en aprecio hasta que Isaac Newton descubrió su verdadero valor, más de cincuenta años después de su publicación. Galileo y Descartes, los científicos más prestigiosos del siglo XVII —con anterioridad a Newton—, aceptaron como axiomático que los planetas se movían en órbitas circulares y a velocidad uniforme, y por eso rechazaron las teorías de Johannes Kepler, considerándolas simplemente como especulaciones infundadas.

La tercera gran obra de Kepler, *Harmonices Mundi*, publicada en 1619, fue fruto de los años pasados como matemático en la escuela protestante de Linz, a donde se trasladó en 1612, después de la muerte de Rodolfo II. En este libro, Kepler, tomando por base su primera obra, pero acaso también como reacción frente a la precariedad de su vida cotidiana, ensayó una síntesis neoplatónica y trató de exponer el lenguaje matemático del Creador en casi todos los aspectos del universo. El interés del libro para los astrónomos posteriores radica en la exposición de su tercera ley, a saber: que se da una razón constante entre el cuadrado del período planetario de revolución y el cubo de la distancia media de los planetas al sol.

Mas esta ecuación, probativa de que Dios era, ante todo, un matemático, se hallaba casi perdida en un montón de especulaciones neoplatónicas.

Lo que el historiador no debe hacer es separar al Kepler científico del Kepler místico neoplatónico. Kepler no se hubiera planteado la cuestión del fundamento de las teorías cosmológicas existentes si no hubiese sido neoplatónico desde el principio. Esto nos lo avala su *Mysterium Cosmographicum*. Pero el tono empleado en esa obra de 1597 puede hallarse también en su lenguaje de veinte años más tarde al describir cómo

> me siento arrastrado y poseído por un rapto indecible en torno al divino espectáculo de la armonía celestial [33].

Y en *Harmonices Mundi* (1619) habla de cómo «las configuraciones empiezan a tocar: la naturaleza sublunar danza al son de la música» [34].

En este último libro Kepler aplicó a los planetas la analogía de la música polifónica moderna. Cada planeta tiene su propia partitura y el momento cumbre musical se produce en los acordes que los seis planetas tocan conjuntados. El Dios de Kepler era, pues, un artista que se complacía en el instrumento músico creado por él. «Los movimientos de los cielos —escribió— no son, pues, sino un concierto perenne», hecho de música racional (no audible). Si la música polifónica causaba tanto placer era por ser reflejo de la música celestial.

Como Gilbert y Bruno, Kepler creyó que el sol era un alma. Su copernicanismo original, manifestado en el *Mysterium Cosmographicum,* se apoyaba en la idea de que el sol, en cuanto «fuerza» espiritual que actúa a distancia, era responsable del movimiento de los planetas en sus órbitas. Se expresó de este modo:

Si queremos acercarnos a la verdad y establecer alguna correspondencia en las proporciones [entre las distancias y velocidades de los planetas] debemos elegir entre estos dos supuestos: o las almas que mueven a los planetas son menos activas cuanto más se distancia el planeta del sol, o sólo existe un alma motora en el centro de todas las órbitas, es decir, el sol, que mueve a los planetas más vigorosamente cuanto más cerca se hallan, pero cuya fuerza casi se extingue al actuar sobre los planetas alejados, a causa de la gran distancia y la debilitación de fuerza que esto ocasiona [35].

Kepler creyó en la existencia del alma de la tierra, que percibía las relaciones geométricas y expulsaba los «humores subterráneos» (nuestros volcanes y terremotos) cuando los rayos planetarios se encontraban en un ángulo apropiado:

Es costumbre de ciertos médicos —escribía Kepler— curar a sus pacientes

mediante una música agradable. ¿Cómo puede la música influir en el cuerpo de una persona? Pues del mismo modo que el alma de la persona, al igual que la de algunos animales, cuando oye la armonía se alegra de ella, se siente aliviada y por su medio se vuelve más fuerte dentro del cuerpo, de modo parecido, también la tierra se ve afectada por la armonía y la música dulce. Porque en la tierra no existe sólo la humedad inerte y desprovista de razón, sino también un alma inteligente que empieza a danzar cuando las circunstancias tocan para ella. Si se dan circunstancias nefastas, el alma cumple su función con mayor violencia, lanzando vapores hacia arriba y produciendo toda suerte de tormentas; mientras que, si no se da ninguna circunstancia adversa, se mantiene tranquila y no produce más exhalación que la necesaria para los ríos [36].

Kepler consideraba el papel del científico análogo al del sacerdote o al del profeta; el poeta, el amante y el científico eran de imaginación parecida. En *Harmonice Mundi* refirió cómo

me entregué al frenesí sagrado, robé los vasos de oro de los egipcios para hacer con ellos un tabernáculo sacro a mi Dios, lejos de las fronteras de Egipto [37].

Dios no fue para Kepler un lógico o un ingeniero, sino un mago travieso que dejó sus huellas en el universo para que nosotros las descubriéramos. El mundo de la naturaleza poseía para él señales o marcas dejadas por Dios en calidad de claves indicadoras del verdadero significado o utilidad de las cosas. Y así, una planta destinada a curar una enfermedad concreta llevaría sobre sí una «marca» que lo indique.

Dios mismo —escribió— era demasiado bueno para permanecer ocioso, y empezó a jugar el juego de los signos, dejando marcada su semejanza en el mundo; por eso, me atrevo a pensar que la naturaleza entera y el maravilloso firmamento están simbolizados en el arte de la geometría [38].

En el trabajo científico de Kepler descubrimos un estilo pecu-

liar que tiene tanto en común con Pico, Lulio y Paracelso, como con Galileo. Kepler se parece más a Miguel Angel que a Leonardo en su búsqueda de la armonía invisible de la naturaleza. Es verdad que chocó con el inglés Robert Fludd a causa del uso hermético y místico que éste hacía de los números. Sin embargo, desde nuestra perspectiva temporal, Kepler y Fludd se nos antojan mucho más cercanos entre sí de lo que les pareció a ellos mismos o a sus coetáneos. Kepler fue un matemático genial, pero reflexionó «more hermetico», al estilo del neoplatonismo.

5 El mund como máquina

Galileo

La interpretación mecanicista de los fenómenos naturales, como hemos dicho anteriormente tuvo su origen en la Italia renacentista. Las máquinas de Leonardo, los intereses mecánicos de Nicolás Tartaglia y la restauración ideológica de Arquímedes forman parte de un mismo conjunto de ideas que acentuaba la interacción predecible de fuerzas mecánicas en la naturaleza. Leonardo, por ejemplo, con su máquina voladora intentó reproducir a nivel mecánico los vuelos naturales de las aves. Mas durante el siglo XVI la corriente mecanicista estuvo confinada a un área experimental muy reducida.

Sólo en la centuria siguiente tomó cuerpo la idea —iniciada con Galileo y desarrollada por Mersenne y Descartes— de considerar la naturaleza *entera* en un contexto mecanicista.

El mecanicismo moderno empezó con Galileo, mas no fue él quien inventó el concepto. Una de las influencias más decisivas en su visión científica fue, indudablemente, la de Arquímedes, a quien menciona un centenar de veces, a menudo en términos de la mayor reverencia («el muy divino Arquímedes»). Galileo fue también discípulo espiritual de Tartaglia, aunque aplicó sus métodos a una gama más amplia de problemas teóricos. Esta mentalidad mecanicista se puso de manifiesto ya cuando Galileo era estudiante en la Universidad de Pisa, y aún prevalecía en él cuando escribió sus *Discursos acerca de las dos nuevas ciencias*, obra publicada en 1638, hacia el término de sus días.

Galileo es recordado principalmente en los manuales a causa de su enfrentamiento con la Inquisición papal en torno a la teoría copernicana del universo. Este episodio tiene todos los caracteres de un gran drama, pero es tal vez desorientador si se toma por guía para penetrar en la mentalidad de Galileo. Porque nos induce a alinearlo con Copérnico, Bruno y Kepler en la tradición neoplatónica de la filosofía natural, cuando la verdad parece ser que Galileo se apropió la cosmología heliocéntrica con miras a sus propios fines, y la integró en un marco referencial enteramente distinto. Lo que Descartes

Galileo (1564-1642) presentando su telescopio a las musas y señalando un sistema heliocéntrico. Esto implica que la astronomía era aún una de las artes liberales.

haría más tarde con la circulación harveyana de la sangre, Galileo lo hizo a mayor escala. En cierto sentido, sorprendió a los copernicanos bañándose y echó a correr con sus vestidos.

En astronomía, el principal derecho a la fama le corresponde a Galileo por haber descubierto la utilidad de un instrumento óptico inventado por otro. Galileo tuvo la idea de usar el telescopio para observar los planetas y de anunciar sus hallazgos a un amplio sector en el breve opúsculo que lleva por título *Mensaje de las estrellas* (1610). El telescopio le permitió descubrir los satélites de Júpiter, y de ahí concluyó que tenía una prueba de la hipótesis copernicana. Galileo no tenía nada de la veneración neoplatónica hacia el sol, ni de su creencia en el alma de la tierra. Se sintió arrastrado a aceptar el copernicanismo debido a cierta analogía mecánica extraída de sus observaciones astronómicas. No aceptó la teoría kepleriana de las órbitas elípticas de los planetas, ni la idea no-mecánica de la atracción magnética a distancia. El secreto del movimiento planetario, tal como lo vio Galileo, consistía en la tendencia de los cuerpos a seguir una trayectoria circular: «De donde yo concluyo la racionabilidad de pensar que para el mantenimiento de un orden perfecto entre las partes del universo se requiera un movimiento sólo circular de los cuerpos celestes».

Galileo no tomó por blanco principal de sus ataques a los neoplatónicos; el veneno de su sarcasmo lo reservó para los aristotélicos. Pero su actitud con respecto a las ideas de Kepler y Bruno se manifiesta con bastante claridad en pasajes como el siguiente, que trata de las mareas:

> Yo no puedo suscribir la idea de los astros, ni de los calores templados, ni la acción predominante de cualidades ocultas, ni otras vanas imaginaciones por el estilo que se hallan tan lejos de ser, o de poder ser, causas de la marea, que, al contrario, la marea es causa de ellas [89].

Fue también crítico de Gilbert y, aun cuando quedó impresionado por sus hallazgos sobre magnetismo, rechazó la interpretación que Gilbert dio sobre ellos:

Galileo [illegible]enía que Dios era un matemático que había construido el universo como un modelo matemático. De aquí que el lenguaje clave fuesen las matemáticas, de las que esta página, tomada de los *Diálogos*, de Galileo, constituye un ejemplo.

Lo que yo hubiera deseado en Gilbert es que hubiese sido algo mejor matemático y, sobre todo, bien cimentado en geometría, cuyo ejercicio le habría vuelto más reacio a aceptar por verdaderas demostraciones los argumentos que adujo como causas de las conclusiones ciertas observadas por él [40].

Según esto, podemos considerar a Galileo situado entre dos tradiciones distintas: la aristotélica y la neoplatónica; y no sólo empeñado, como a menudo se ha dicho, en un combate singular contra el mundo aristotélico.

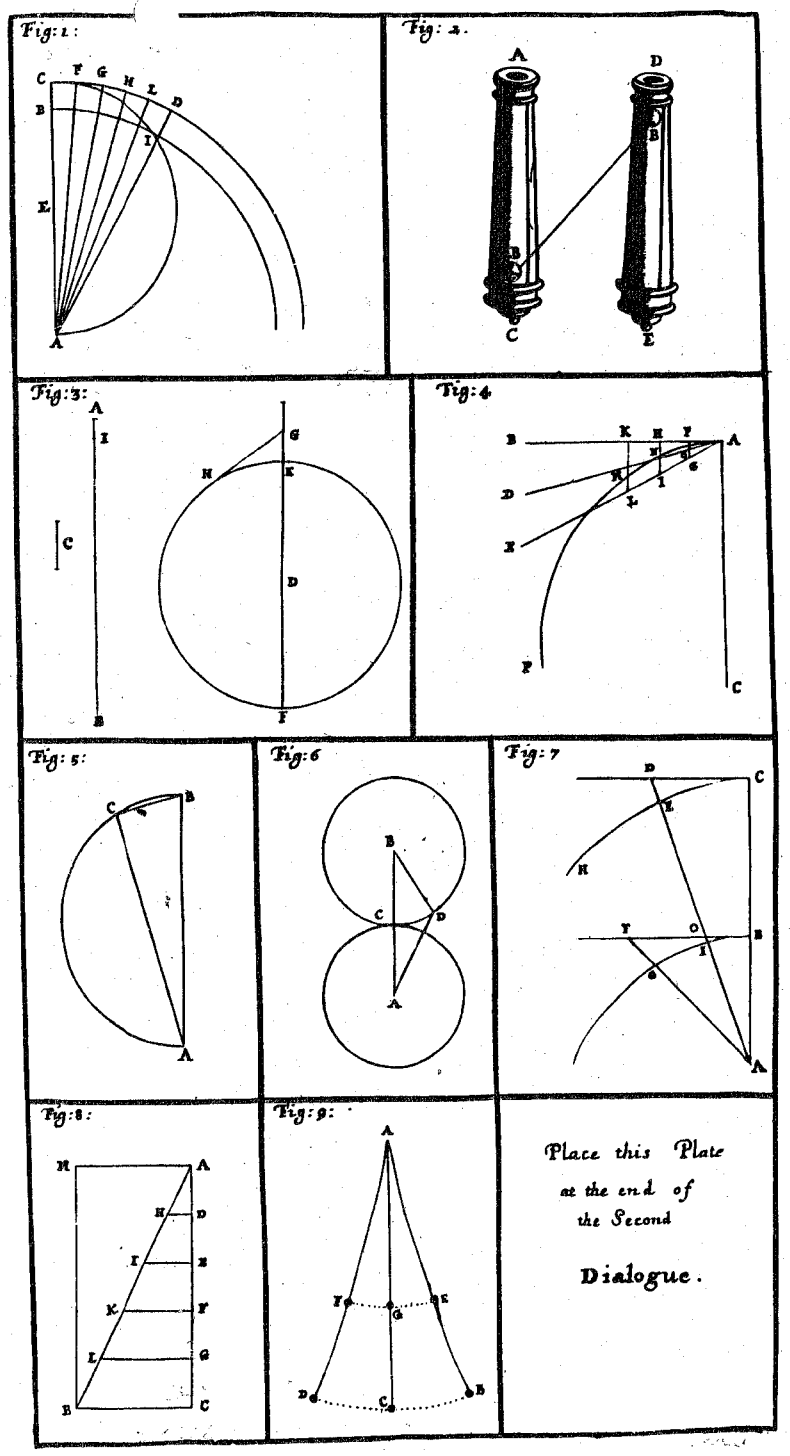
Uno se siente tentado a creer que Galileo también liberó la teoría copernicana de su encuadramiento casi religioso, y la expuso en un contexto mecánico secular. Pero esto es verdad sólo hasta cierto punto. Galileo, como todos los científicos del siglo XVII, tenía un concepto de Dios que fue fundamental para su interpretación del universo.

Veía la naturaleza como un reflejo de la mente divina; y puesto que el mundo natural de Galileo era mecanicista, su Dios fue inevitablemente un artesano, aunque artesano divino. De hecho, alude al arte y habilidad de Dios:

El recurso al gran libro de la naturaleza, que es el objeto propio de la filosofía... en cuyo libro... al ser obra de Dios omnipotente... [el recurso] es más decisivo y noble allí donde se revela en toda la grandeza su arte y habilidad [41].

En otro lugar habla de Dios como de un Arquitecto Divino que compone el mundo como mejor le parece:

Supongamos que entre los planes del Arquitecto Divino está la creación de esas esferas en movimiento continuo y la designación del sol como centro inmóvil de sus revoluciones; podemos imaginar que hizo todas las esferas en el mismo sitio y con una inclinación intencional a moverse hacia el



Johan Hevel (o Heveliu[le Danzig, cuya *Selenographia* constituye uno de los más importantes estudios astronómicos del siglo XVII, hizo el primer mapa de la luna. En éste figuran las zonas oscuras, que desde los tiempos de Galileo se habían llamado «mares» (como el Mar de las Tormentas, arriba a la izquierda, y los cráteres, a los que empezó a dar nombres hacia 1650, como Tycho, abajo en el centro, y Copérnico, a la izquierda).

centro hasta que adquiriesen aquellas velocidades que en un principio le parecieron bien a la Mente Divina [42].

El Dios de Galileo era también un matemático:

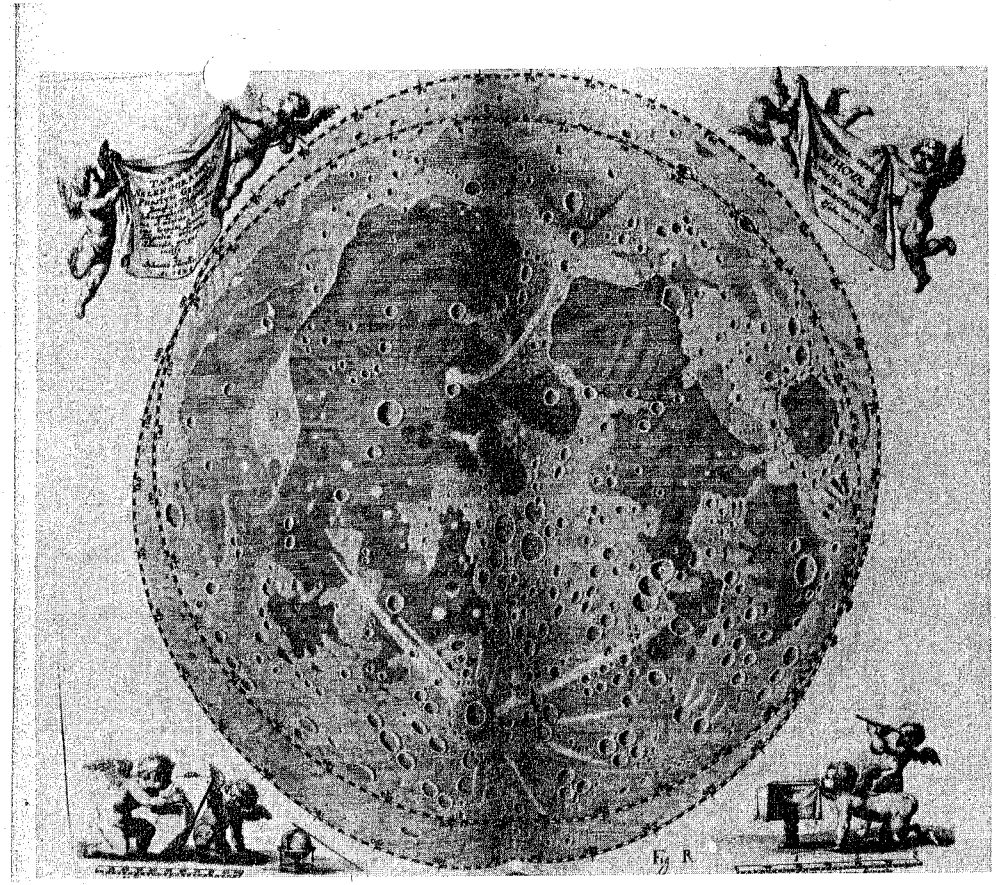
Yo digo que la sabiduría humana entiende algunas proposiciones de modo tan perfecto y está tan absolutamente cierta de ellas como la misma naturaleza; y así son las ciencias matemáticas puras, a saber: la geometría y la aritmética. En ellas la Divina Sabiduría conoce infinitamente más proposiciones, porque las conoce todas [43].

El modo en que Galileo juega aquí «la carta divina» es sorprendente; pero, para nuestro punto de vista, constituye un vislumbre de la mentalidad de Galileo. Al igual que los neoplatónicos y aristotélicos, los mecanicistas poseían su concepto peculiar de la naturaleza divina y lo usaban para respaldar sus teorías. Por su parte, Galileo hubo de apelar para conseguir restablecer el equilibrio de las propias.

La interpretación mecanicista de Galileo sobre la naturaleza lo situó en una postura de choque con los aristotélicos, aun en el caso de que no se hubiera arriesgado a entrar por el campo de la astronomía, puesto que aquélla implicaba el rechazo del énfasis aristotélico acerca de las causas finales. En sus *Diálogos*... criticó implícitamente el finalismo, al confiar su defensa a un tal Simplicio, personaje caricaturesco cuya simplicidad se pone al descubierto a cada paso.

La defensa que hace Simplicio de las causas finales es como sigue:

[las causas finales existen] porque vemos claramente que todas las generaciones, corrupciones, etc. que acontecen en la tierra van encaminadas directa o indirectamente al uso, conveniencia y provecho del hombre; los caballos nacen para uso del hombre, la tierra produce hierba para alimento de los caballos, y las nubes riegan la hierba... el fin a que [todas las cosas es-



tán] orientadas [es] las necesidades, uso, conveniencia y provecho del hombre [44].

Uno de los usos que tuvo el telescopio en manos de Galileo fue probar la falsedad de la creencia aristotélica en que los cielos eran perfectos. Como le hace decir a Simplicio:

Los cuerpos celestes, al ser eternos, inalterables, impasibles, inmortales, etc., tienen que ser necesariamente perfectos [45].

En todos los puntos importantes Galileo atacó la postura aristotélica. Donde él mimo quedaba a merced del contraataque era al plan-

tear abiertamente las implicaciones de su postura de cara a la interpretación ortodoxa de la Biblia.

Galileo rechazó también la distinción cualitativa aristotélica del movimiento en «natural» e «innatural». Y fue capaz de probar en *Dos nuevas ciencias* que el movimiento de un proyectil no era una forma simple de movimiento, sino que seguía una trayectoria dictada por la interacción casi mecánica de dos tipos diferentes de moción. Los experimentos apartaron a Galileo del mundo aristotélico «real» de las cualidades, llevándolo a un mundo abstracto en donde las diferencias cuantitativas eran factor primario.

Tales críticas tenían implicaciones que desbordaban ampliamente su interés científico, dado que el aristotelismo no era sólo un movimiento académico, sino también una ortodoxia arraigada y poderosa. En la Iglesia de la Contrarreforma, y especialmente en Italia, el Concilio de Trento (1545-1563) aumentó la disciplina eclesiástica y precisó la doctrina, en respuesta al desafío de Lutero y Calvino. En todo esto desempeñó un papel decisivo la orden de jesuitas, fundada en 1540, que adoptó a Aristóteles y a Tomás de Aquino como sus guías oficiales en filosofía y teología. Los jesuitas lograron imponerse en las discusiones teológicas de Trento, lo que dio por resultado el que los conceptos filosóficos de Aristóteles entraran a formar parte de las definiciones teológicas oficiales. Durante el medio siglo que siguió a Trento, los jesuitas, con el apoyo del papado, fueron el instrumento educativo sostenedor de la restauración aristotélica. Paralelamente al Santo Oficio, creado por el papa en 1542, actuó como cancerbero de la ortodoxia y el aristotelismo. Con cuartel general en Roma, el Santo Oficio controlaba la mayor parte de la vida intelectual de Italia. La excepción fue la República de Venecia, donde perduró una atmósfera más liberal. Cualquiera que se hiciese sospechoso de mantener opiniones peligrosas estaba expuesto a ser llevado ante el Santo Oficio para ser procesado y castigado, tal vez con la muerte, como descubrió Giordano Bruno en 1600.

Al criticar, pues, el aristotelismo, Galileo no atacaba los últimos residuos de una filosofía anticuada. Por el contrario, se exponía a

un gran riesgo. Sus *Diálogos*, publicados en 1632, no eran un tratado astronómico técnico, como el *De Revolutionibus*, de Copérnico, sino una obra polémica brillante dirigida al «sistema» clerical.

Galileo contó con el apoyo de sus protectores: el papa Barberini (Urbano VIII) y el archiduque de Toscana. Pero en ambos casos su confianza quedó frustrada. Urbano VIII cedió a las presiones de la Inquisición; y, una vez muerto el archiduque de Toscana, Galileo quedó a merced de sus enemigos y se vio obligado a capitular. Si se quiere, puede considerarse tal hecho, primariamente, como una victoria de la intolerancia sobre la libertad intelectual. Mas, para nuestro punto de vista, es de mayor interés descubrir ahí un choque entre dos paradigmas o actitudes: la organicista y la mecanicista. Los aristotélicos salieron triunfantes en 1633, pero antes de finalizar el siglo se hallaban en estado de descomposición.

La tradición de Galileo sobrevivió en Italia para una generación más intelectual. En la obra de Evangelista Torricelli (1608-1647) la visión mecanicista de Galileo se aplicó al estudio de la presión del aire. El objetivo primordial del experimento de Torricelli era demostrar, sirviéndose de una columna de mercurio, que el aire, uno de los cuatro elementos de Aristóteles, se comportaba de acuerdo con leyes mecánicas. Torricelli extendió así la analogía de la máquina a otro campo de la investigación natural. Las implicaciones radicales de su trabajo fueron vistas a la vez por Mersenne y Pascal. El sencillo experimento de Torricelli, del que hablamos en páginas anteriores, planteaba la cuestión de la posibilidad del vacío en la naturaleza, que para las premisas aristotélicas (como para las cartesianas) era una contradicción en los términos.

Después de Torricelli, la tradición mecanicista estuvo representada por sus sucesores en Florencia, Viviani (1622-1703) y Alfonso Borelli (1608-1679). El más importante de los dos fue Borelli, quien aplicó las interpretaciones mecánicas al campo de la anatomía y astronomía, y propuso una teoría del movimiento planetario basada en la idea de que los planetas se desplazaban orbitalmente impulsados por los rayos luminosos emanados del sol.