

SUMARIO

La conmemoración de Galileo en España.

Antonio Román, S. J.—La Obra astronómica de Galileo Galilei.

Julio Palacios.—Galileo, fundador de la Física.

Índice de Revistas.

Cuestiones propuestas.

JUNTA DIRECTIVA

DE LA

REAL SOCIEDAD MATEMÁTICA ESPAÑOLA

(*Ordenes del Ministerio de Educación Nacional de 6-II-1941 y 17-IV-1941.*)

PRESIDENTES HONORARIOS:

D. Alfonso Peña.

D. Julio Rey Pastor.

D. Esteban Terradas.

PRESIDENTE:

D. Juan López Soler.

VICEPRESIDENTES:

D. José M.^a Torroja Miret.

D. José M.^a Orts Aracil.

D. Francisco Navarro Borrás.

VOCALES:

D. Sixto Cámara Tecedor.

D. Wenceslao del Castillo.

D. Tomás Rodríguez Bachiller.

D. Carlos Mataix.

D. Eduardo Butler Orbeta.

D. Ernesto de Cañedo Argüelles.

D. Fermín Casares.

D. Fernando Peña.

D. Joaquín García Rúa.

TESORERO:

D. Manuel Calderón Jiménez.

DELEGADO DE PUBLICACIONES:

D. Joaquín García Rúa.

SECRETARIO:

D. Enrique Línés Escardó.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Patronato «Alfonso el Sabio»

4.^a Serie.—Tomo II

1942

Número 4

REVISTA MATEMÁTICA HISPANO-AMERICANA

PUBLICADA POR EL INSTITUTO «JORGE JUAN»
DE MATEMÁTICAS Y LA REAL SOCIEDAD
MATEMÁTICA ESPAÑOLA

MADRID

1942

LA CONMEMORACION DE GALILEO EN ESPAÑA

Con motivo de haberse cumplido el 8 de enero del corriente año, el tercer centenario de la muerte de Galileo Galilei, se han celebrado en distintos países, actos alusivos a dicha fecha, y al propio tiempo, diversas revistas científicas publican artículos biográficos y trabajos sobre su obra, rindiendo de este modo homenaje a la memoria del gran astrónomo de Pisa.

España no podía dejar de sumarse a esa corriente de admiración hacia Galileo, y así, en esta primavera, al organizar el Instituto de Cultura Italiana un acto conmemorativo, que presidió el Excmo. Sr. Ministro de Asuntos Exteriores, la Academia de Ciencias, la Universidad, el Instituto «Jorge Juan» del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Sociedad Matemática Española, y diversos organismos oficiales, prestaron su colaboración al mismo y ofrecieron su entusiasta adhesión.

Pronunció en dicha sesión una brillante Conferencia el gran matemático e ilustre Profesor Francesco Severi, que con su capacidad científica y sus extraordinarias condiciones oratorias, expuso un claro y acertado juicio sobre la figura de uno de los más destacados nombres de la astronomía moderna: Galileo Galilei.

El sabio Profesor trazó la silueta del gran investigador, tratando de la obra que realizó en Astronomía, y de sus trabajos en la Música y en la Poesía, ya que cultivó el arte simultáneamente con la ciencia.

Habló de sus descubrimientos: de las nuevas estrellas, de las

fases de Venus, de los satélites de Júpiter, de las manchas solares, y del estudio de las leyes del movimiento, que corroboraron la intuición de Copérnico, ocupándose a continuación de sus inventos, principalmente del primer telescopio construído.

Presentó, como una muestra de su incesante labor, el hecho de que aun después de quedar ciego, cuatro años antes de su muerte, siguiere investigando, haciendo aplicación del péndulo al reloj ordinario, y resolviendo otros problemas de Mecánica que le permitió publicar un tratado con los cimientos de la nueva ciencia, que más tarde Newton, entre otros, había de consolidar.

Terminó el Profesor Severi su interesante conferencia con unas atinadas frases sobre las cualidades espirituales de Galileo.

Y faltaba, para completar el debido homenaje iniciado con el citado acto, que esta Revista, como órgano oficial del Instituto «Jorge Juan» y Sociedad Matemática Española, dedicara, uno de sus números, como en su día ofreció, en recuerdo del Matemático del Gran Duque de Toscana, y lo cumple hoy, insertando en sus páginas trabajos de dos prestigiosas firmas de la ciencia española.



LA OBRA ASTRONOMICA

DE

GALILEO GALILEI

POR

ANTONIO ROMANÁ, S. J.

El nombre de Galileo Galilei ocupa justamente un puesto de honor entre los de los fundadores de la moderna Astronomía, al lado de los de sus contemporáneos, los grandes astrónomos Copérnico, Tycho Brahe y Kepler. Basta, para convencerse de ello, considerar el gran número de descubrimientos que realizó, gracias a su fecunda idea de aplicar el telescopio a la observación de los cuerpos celestes, y la serie de argumentos con que logró dar cada vez mayor probabilidad al por entonces hipotético sistema de Copérnico.

Pero más aún que por estos motivos, el nombre de Galileo es famoso en la Historia de las Ciencias por presentarse aureolado con la fama de campeón infatigable de la renovación de las tendencias científico-positivas contra los métodos y prejuicios de las antiguas Escuelas. Nada más justo, si con ello se quiere indicar la decisión y constancia con que desde su juventud se lanzó el gran Maestro a la investigación de la verdad por medio de la observación e interpretación atenta de los fenómenos, sin arredrarse por las dificultades que en su camino se atravesaban. «El método experimental establecido sobre bases incommovibles: he aquí el más excelente título de Galileo al reconocimiento de la posteridad», ha dicho muy bien Favaro. Pero por desgracia no es así como interpretan algunos título que tan acreedor hace a Galileo a la admiración y estima de cuantos se esfuerzan en seguir sus huellas en el cultivo de la Ciencia. Y por encima de su personalidad científica, prefieren mirarlo como una especie de personificación romántica de las víctimas de la Inquisición y del obscurantismo de la Corte Romana, sin caer en la cuenta que los tristemente célebres procesos de Galileo, bien poco tuvieron que ver con su actividad científica propiamente tal, y que el querer erigir su estatua sobre pedestal de

esta índole, es arrancarlo a las serenas regiones del Templo de la Ciencia para convertirlo en signo de contradicción y tema de polémica de escuelas y partidos.

Figuras próceres como las de Galileo no necesitan alzarse sobre otros méritos que los propios para descollar sobre la masa de sus contemporáneos y aun de muchas generaciones de científicos. Por eso en las páginas que siguen vamos a procurar dar un fiel reflejo de la magnitud e importancia de su obra astronómica, destacando en particular su ímproba labor en pro de la teoría de Copérnico. Quizás a alguno le maraville que al par que sus grandes aciertos citemos también sus equivocaciones. Haciéndolo, creemos servir a la gloria del gran hombre, como creemos que en Hagiografía se sirve mejor la gloria de los Santos narrando también sus defectos que cubriéndolos con el silencio y elogiando sólo sus virtudes. Los tropiezos en el Santo y los yerros en el Sabio muestran que eran hombres, y que para elevarse el uno a las altas regiones de la Santidad y el otro de la Verdad, tuvieron que triunfar de grandes dificultades. Entonces también se logra más el fruto de sentirse estimulado el que los contempla, a imitar sus ejemplos, al ver que no eran seres de una naturaleza aparte, sino de su misma arcilla. Fieles, pues, a esta norma, vamos a considerar la gran actividad de Galileo bajo cada uno de los dos aspectos antes dichos y como remate añadiremos unas páginas sobre sus procesos, no para repetir su historia, sobrado conocida, sino para hacer tan sólo algunas observaciones que ayuden a contemplarlos en su verdadero marco.

I

DESCUBRIMIENTOS ASTRONOMICOS

Aunque no haya sido Galileo el inventor del telescopio, en el sentido de haberlo construido el primero, es innegable que no sólo lo reprodujo enteramente por su cuenta, en cuanto tuvo noticia de su invención, sino que además lo mejoró de manera considerable.

Como él mismo refiere en su obra *Sidereus Nuntius*, a principios de 1609 se enteró de que un holandés (probablemente Za-



carías Jansen o Franz Lippershey) había construido un telescopio, con cuya ayuda los objetos alejados del ojo del observador podían distinguirse con tanto pormenor como si se hallasen próximos. Encontrándose perplejo por algunos rumores contradictorios que le habían llegado sobre el invento, vino a sacarle de dudas una carta escrita desde París por un noble francés, Jacques Bodovere, de resultas de la cual se decidió a investigar por sí mismo el fundamento del telescopio y arbitrar el medio de construirse un instrumento de este género.

Es interesante el proceso de sus ideas, tal como lo expone Nelli en su Vida citando sus mismas palabras: «El instrumento cuya construcción quería encontrar constaba evidentemente de un vidrio o de varios. No podía ser de uno solo, porque o se habría tratado de un vidrio convexo o de un vidrio cóncavo o de un vidrio plano, es decir, o de un vidrio más grueso o más delgado en el centro que en los bordes o limitado por dos superficies paralelas. Ahora bien, esta última forma no altera en modo alguno los objetos que se ven a través; el vidrio cóncavo los disminuye; y el convexo, aunque los agranda, los hace algo confusos. Por consiguiente, ninguno de estos vidrios tomado por separado, podría producir el efecto que se observaba. Pasando entonces a la combinación de dos vidrios y teniendo en cuenta que los de caras paralelas no producen alteración alguna de los objetos, concluí que el efecto no podía provenir del acoplamiento de un vidrio de esta clase con uno de las otras dos. Luego sólo quedaba probar qué resultado daría la combinación de un vidrio cóncavo con otro convexo y vi que efectivamente llevaba al objeto deseado. Tal fué el progreso de mi razonamiento y el resultado me convenció de su exactitud.»

Adaptando una lente cóncava y otra convexa a los dos extremos de un tubo de cuero, experimentó la emoción de ver que realmente los objetos se le presentaban como si se hallasen a un tercio de su distancia, es decir, como si fuesen nueve veces mayores. Una cuidadosa aplicación de los principios de la teoría de la refracción pronto le permitió construir otro telescopio que aumentaba los objetos más de sesenta veces. Más tarde, no reparando, como él mismo dice, ni en trabajo ni en gastos, llegó a hacerse con uno tan superior a los precedentes, que los

objetos aparecían aumentados casi mil veces, o sea más de treinta veces más cerca que observados a simple vista.

El primer cuerpo celeste a cuyo estudio se consagró Galileo fué, naturalmente, la Luna. Desde la más remota antigüedad habían reparado los hombres en la existencia en nuestro satélite de unas zonas brillantes y otras más oscuras, sobre cuya naturaleza habían formulado diversas hipótesis. Demócrito había creído que eran debidas a la sombra proyectada por montañas extraordinariamente elevadas. A nadie se le oculta que aunque el filósofo griego acertaba, lo mismo que Plutarco y Anaxágoras, al creer en la existencia de montañas lunares, erraba no obstante al atribuir a su sombra las manchas visibles a simple vista. En la edad media fué prevaleciendo la opinión de que el globo lunar, al igual que los demás cuerpos celestes, tenía que ser enteramente esférico, por ser a juicio de los peripatéticos dicha forma la más perfecta; el mayor o menor brillo de las diversas partes se explicaba de varias maneras, por ejemplo, por ser más o menos densa la materia de que constaban.

La primera vez que Galileo dirigió su telescopio a la Luna, descubrió muchas otras manchas, enteramente distintas de las conocidas de antiguo, mucho más pequeñas, pero tan numerosas que salpicaban toda la superficie lunar y en especial las zonas más luminosas. Junto a ellas aparecían unos a manera de ojos o círculos, brillantes o claroscuros, que hicieron que el gran astrónomo, echando mano de una imagen sumamente gráfica, comparase la superficie lunar a la cola de un pavo real.

Descubierta la existencia de estas manchas planteábase a Galileo el problema de explicar su naturaleza. La solución comenzó a vislumbrarla cuando al observar la Luna en el cuarto o quinto día del Novilunio notó dentelladuras en el terminador y puntos iluminados que emergían de la sombra. «Como resultado de estas observaciones muchas veces repetidas—dice en el *Sidereus Nuntius*—llegué a tener por cosa cierta que la superficie de la Luna no es pulimentada, igual y dotada de perfecta esfericidad, como opina la mayor parte de los filósofos, sino, por el contrario, desigual, áspera, llena de cavidades y elevaciones, al modo de la superficie terrestre, que está surcada por las cumbres de los montes y las profundidades de los valles.»

En el mismo *Sidereus Nuntius* expone Galileo el raciocinio

riguroso por el cual llegó a tan exacta conclusión sobre la naturaleza de la topografía lunar; pero mejor todavía aparece la deducción en una de sus cartas al astrónomo jesuita P. Cristóbal Grienberger, de la que tomamos las siguientes líneas: «La línea o arco—dice—que separa la parte oscura de la Luna de la iluminada, se presenta llena de crestas, sinuosa y sumamente desigual. Por lo tanto, no puede ser límite de iluminación de una superficie esférica, tersa e igual, sino de una montañosa y desigual. Además, en la parte iluminada de la Luna se ven muchísimas manchas negras, las cuales son mayores, más frecuentes y más oscuras cerca del límite de la luz, que lejos del mismo; con la particularidad de que todas se extienden hacia la parte opuesta a la irradiación del Sol, y hacia la parte del Sol están circundadas por algunos contornos más claros que las partes circunvecinas, y por la parte opuesta por otros contornos semejantes, detrás de los cuales siguen algunas proyecciones oscuras. Tales manchas van disminuyendo a medida que avanza el límite de iluminación, esto es, a medida que el Sol se va elevando, hasta que al fin se pierden del todo y se desvanecen, quedando en el plenilunio todas las partes relucientes. Y, por el contrario, al girar el Sol y decrecer la Luna, vuelven a verse junto al límite de la luz otras manchas análogas muy negras, las cuales a medida que el Sol va bajando, se van alargando, mostrándose asimismo rodeadas de algunos contornos muy brillantes. Y finalmente dentro de la parte no iluminada de la Luna, algo lejos del terminador, aparecen a modo de estrellas algunas particitas iluminadas, las cuales cuando la Luna es creciente, creciendo asimismo poco a poco, van a unirse con el límite de la luz que al mismo tiempo se adelanta hacia ellas, y al revés, cuando es decreciente tales estrellitas se separan más y más y por último se extinguen y pierden. Ahora bien, como tales accidentes y apariencias en modo alguno pueden acaecer en una superficie esférica que sea lisa e igual y en cambio responden *ad unguem* a una desigual y montuosa, se deduce necesariamente que la superficie lunar está llena de alturas y depresiones.»

No faltaron quienes objetasen a Galileo que si la Luna era *undique aspera*, por todas partes accidentada, tendríamos que verla como una rueda dentada. En el mismo *Sidereus Nuntius* resuelve Galileo la dificultad, recurriendo a un efecto de pers-

pectiva: el limbo de la Luna nos parece liso «del mismo modo que en la Tierra, con tal que el observador se encuentre suficientemente alejado y alto, las cumbres de un grupo nutrido de montañas parecen dispuestas en una superficie plana, o en un mar tempestuoso se ven también en un mismo plano las crestas elevadas de las olas, aunque de hecho haya entre las aguas gran abundancia de vórtices y abismos, y por cierto de tal profundidad que no sólo los cascos de los buques, sino también las popas y las velas quedan ocultas entre los mismos.»

Puesta fuera de duda la existencia de las montañas lunares, inmediatamente trató Galileo de calcular su altura. El método que empleó no fué el de determinar las longitudes de las sombras y relacionarlas con la altura del Sol sobre el horizonte de la región lunar en que los montes estudiados se encuentran, como más tarde hicieron Schröter, Mädler, Schmidt y tantos otros; sino que, como se ve por el *Sidereus Nuntius* y su carta al P. Grienberger sobre la *Montuosidad de la Luna*, se sirvió del método de los rayos tangentes, determinando la distancia que media entre el terminador y las cimas iluminadas situadas en la parte oscura. Para ello en los días del cuarto creciente y cuarto menguante, cuando parece sensiblemente recto el ángulo formado por el terminador y los rayos solares, Galileo midió con la mayor precisión que pudo la distancia dicha, expresándola en partes del diámetro de la Luna. Aplicando entonces el teorema de Pitágoras al triángulo recto que tiene como catetos la distancia media y el radio de la Luna y como hipotenusa la suma de este mismo radio y la altura buscada, obtuvo fácilmente esta última, considerando como despreciable el cuadrado de esta misma altura expresada igualmente en partes del radio o del diámetro. Galileo apreció distancias de un vigésimo del diámetro lunar y llegó a la conclusión de que las alturas lunares son más elevadas que las de la Tierra. No hay duda que tal afirmación es exacta, si se comparan unas y otras con los radios respectivos de los dos cuerpos. En absoluto resulta un tanto exagerada la evaluación del gran Astrónomo, ya que alturas de unos 8.000 metros, como serían las exigidas por la separación de un vigésimo del diámetro, sólo se hallan cerca del Polo Sur de nuestro Satélite, donde el método de Galileo es difícilmente aplicable; pero de hecho se apartaba de la verdad mucho menos

que Herschell, que a pesar de disponer de medios de observación mucho más perfeccionados, afirmó que la altura máxima no pasaba de los 2.800 metros. Y lo más notable del caso y que más alto habla en favor de las cualidades excepcionales de observador del gran astrónomo de Pisa es que en su tiempo se desconocía todavía el micrómetro y en todas sus determinaciones tuvo que proceder por simple estima.

A Galileo se debe el primer mapa de la Luna, naturalmente muy imperfecto, por la deficiencia de los instrumentos. De él proviene asimismo el nombre de *mares*, con que se designa las partes oscuras de nuestro satélite. No es seguro que los creyese realmente tales, como tampoco lo es que creyese en la existencia de una atmósfera lunar bastante densa, que propone también, como hipótesis, para resolver la dificultad antes citada de que no nos aparezca el limbo de la Luna con muescas y dentelladuras. Otros nombres suyos han caído en desuso, al imponerse definitivamente años más tarde la nomenclatura del jesuita Riccioli.

Otro de los problemas lunares que ocuparon la actividad de Galileo fué el de la luz cinérea. Contra la opinión de Fortunato Liceti y algunos otros, que, ilusionados por el descubrimiento entonces reciente del fósforo de Bolonia (sulfato de barita), atribuían la luz cinérea a un fenómeno de fosforescencia, sostuvo Galileo que era ello imposible, porque en tal caso no dejaría la Luna de ser vista durante los eclipses y no obstante él la había visto desaparecer por completo durante un eclipse total. De acuerdo con la realidad, adopta en el *Sidereus Nuntius* la explicación, atribuida por Kepler en su *Astronomiae Pars Optica*, de 1604, a su maestro Moestling, y por otro a Leonardo de Vinci, pero que Galileo parece haber formulado con entera independencia, de ser debida la luz cinérea a una segunda reflexión por la Luna de la luz solar previamente reflejada por la Tierra. Como la fase de la Tierra es siempre complementaria de la de la Luna y no todas las partes de la superficie terrestre tienen el mismo poder reflector, es evidente que la luz cinérea ha de disminuir durante la primera parte de la lunación y crecer durante la segunda, lo mismo que variar de intensidad y aun de coloración según que la Tierra presente a la Luna océanos o continentes. Pues bien, a pesar de carecer de toda clase de fotómetro,

Galileo observó ya la primera particularidad, y en el tercer *Diálogo sobre los dos máximos Sistemas del Mundo* expone claramente la segunda.

Algunos han atribuido a Galileo el descubrimiento del movimiento de libración, debido en realidad a Cassini. Lo que Galileo descubrió, como se deduce de una carta suya fechada en Arcetri a 20 de febrero de 1637, es la llamada libración diurna, o sea la aparición y desaparición periódica de los accidentes lunares próximos al limbo del astro, de resultas de los cambios de paralaje debidos a sus variaciones en declinación y a sus diferentes alturas sobre el horizonte. Galileo, que llama a este movimiento *titubeo de la Luna*, claramente describe su origen en la carta citada y gráficamente pinta el fenómeno con una comparación humorística. La Luna, dice, se comporta unas veces «como si descubriese y ocultase alternativamente los cabellos de su frente y la parte de la barbilla diametralmente opuesta» y otras «como si volviese la cabeza a derecha o izquierda, descubriéndonos y ocultándonos cada una de las dos orejas». Desgraciadamente, el gran astrónomo tuvo que interrumpir sus estudios sobre este fenómeno por la debilidad de su vista creciente de día en día.

La Vía Láctea había preocupado desde antiguo a los astrónomos. Contrastando con las opiniones de los que la juzgaban de origen meteórico, Demócrito y Manilio habían ya afirmado que su brillo procedía de innumerables estrellas, que por razón de su multitud y su distancia no llegaban a verse por separado. Pero, naturalmente, no habían tenido medio alguno de probar su aserto. Al enfocarla con su telescopio resolvió Galileo definitivamente el problema. En primer lugar comprobó que las estrellas eran muchísimas más que lo que se había creído. A las seis magnitudes conocidas añadió otras seis: las de la primera magnitud no visible a simple vista, o sea la séptima de la clasificación general, se le mostraban con el telescopio más brillantes que las de la antigua segunda magnitud, vistas sin él. La Vía Láctea se le presentaba como una masa inmensa de estrellas agrupadas en enjambres: aunque no faltaban en ella algunas grandes y brillantes, predominaban las débiles que le parecían innumerables. Otras dos regiones del cielo que estudió Galileo con especial cuidado son Orión y las Pléyades. En la pri-

mera afirma en el *Sidereus Nuntius* que hay que añadir a las estrellas conocidas de antiguo, más de quinientas nuevas en un espacio cuadrado de dos grados de lado: en especial agregó otras ochenta a las tres del Tahalí y a las seis del Escudo, fijando gráficamente su posición y magnitud. En las Pléyades a las seis visibles de ordinario agregó de la misma manera treinta más.

Con todo, por lo que respecta al estudio de las estrellas, donde mejor se revela la poderosa intuición de Galileo es en haber apuntado al fin de su 4.º *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo* que los movimientos aparentes de las estrellas, mejor estudiados, han de ayudar con el tiempo a demostrar el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, previsión plenamente confirmada siglo y medio más tarde con el descubrimiento de la aberración por Bradley; y más aún en haber dado con toda claridad la primera idea del método para determinar la paralaje de las estrellas, por comparación de posiciones relativas de estrellas próximas de desigual magnitud, gracias a cual habla de lograr Bessel unos doscientos años más tarde determinar la paralaje de la 61 del Cisne. Dice, en efecto, en el 3.º de sus *Diálogos sobre los dos grandes sistemas del Mundo*: «... yo no creo que todas las estrellas se hallen distribuidas sobre una superficie esférica, equidistantes de un centro: sino que opino que sus distancias son tan diversas que algunas pueden distar dos y tres veces más que otras; de modo que si se encontrase con el telescopio, muy próxima a alguna de las mayores, alguna estrella pequeñísima y que por lo mismo estuviese muy lejana, podría suceder que llegase a comprobarse algún cambio sensible [de posición] entre las mismas.» Sir John Herschell trató de negar la paternidad del método a Galileo advirtiendo en una nota en la 2.ª edición de su *Tratado de Astronomía* que en el lugar citado no se habla ni de la manera particular de realizar la observación ni de sus dificultades. Sin negar que el método indicado por Galileo haya ido siendo perfeccionado por astrónomos posteriores y en especial por Sir Guillermo Herschell, que en 1781 formó un catálogo de pares de estrellas de diferente luminosidad que parecían más aptos para aplicar el procedimiento, es innegable que el primer esbozo del mismo se halla en el lugar que hemos citado y que para hallarlo men-

cionado por segunda vez es preciso esperar casi medio siglo, hasta la carta de Gregory, de Edinburgo, de 24 de junio de 1675, a la Real Sociedad de Londres, en que lo explica ya en forma clara y precisa. Huygens, en su *Cosmotheoros*, de 1695, no hace sino reproducir la idea de Galileo. En cuanto al primero que trató de llevarla a la práctica parece que fué Roberto Long a mediados del siglo XVIII.

Varias otras veces nos habla Galileo de las estrellas en sus escritos y aunque algunas veces yerra en sus puntos de vista, cosa por lo demás enteramente natural dado el estado de las Ciencias y medios de observación en su tiempo, siempre, no obstante, deja traslucir su laboriosidad como observador y la agudeza de su ingenio. Así, por ejemplo, tratando de las dimensiones y distancia de las estrellas expone algunos métodos, naturalmente ilusorios, para medir su diámetro, ya sea con el telescopio, ya a simple vista; pero a propósito de los mismos da un procedimiento ingenioso para desembarazarse de los rayos ficticios, que en los anteojos primitivos parecían aumentar el diámetro de los astros. Deducer también con acierto la enorme distancia de las estrellas del hecho de la extrema lentitud de los movimientos que cree haberse observado en ellas y de que no varíen sus diámetros aparentes con la traslación anual de la Tierra alrededor del Sol. En cambio, es curiosa su opinión sobre el centelleo, que cree deber atribuir «a la vibración que las estrellas imprimen a su luz propia, es decir, a una luz que nace en lo íntimo de la sustancia». En cuanto a la estrella nueva de 1604, en la lección profesada sobre la misma en la Universidad de Padua, que sólo fragmentariamente ha llegado hasta nosotros, insinúa poderse deber a una especie de mutua influencia de Marte y Júpiter, basándose en que parecían acoplarse en ella los colores típicos del centelleo de estos dos planetas y que su aparición había tenido lugar cerca del sitio en que ellos se habían hallado en conjunción. Por extravagante que pueda parecernos este aserto, no lo es más que el del mismo Tycho-Brahe a propósito de la célebre Nova de 1572, que creía resultado de una reciente aglomeración de materia difusa repartida antes por todo el Universo. Origen parecido lo cita también como posible Galileo a propósito de la estrella de 1604, diciendo en su antes citado discurso que no es en modo alguno imposible que

se evapore de la Tierra una cantidad suficiente de sustancias para que se pueda formar una mole tan grande como la de la nueva estrella. En cambio, como hace notar Capri en su publicación de 1605, *Consideratione astronomica circa la nova e portentosa stella che nell'anno 1604 a di 10 ottobre apparse*, Galileo, «en sus doctísimas lecciones», dedujo con mucho acierto de la falta de paralaje de la Nova, que no se encontraba más cerca de la Luna, como muchos entonces creían, sino más allá de los planetas, en el cielo de las estrellas fijas.

De los planetas fué Júpiter el primero estudiado por Galileo. Según Cassini, en sus notas al *Sidereus Nuntius*, Galileo observó muy pronto varias bandas oscuras paralelas entre sí y en la dirección de la órbita del planeta. Pero lo que más celebridad dió en este particular al astrónomo de Pisa fué el descubrimiento de los cuatro primeros satélites conocidos. El 7 de enero de 1610, a primera hora de la noche, dice en el *Sidereus Nuntius*, como estuviese observando los astros con un telescopio nuevo mucho más potente que el que había usado anteriormente, observó en Júpiter una particularidad que hasta entonces se le había escapado. Enteramente en línea recta con el planeta y paralelamente a la eclíptica vió tres estrellitas pequeñas, pero muy brillantes, dos al Este de Júpiter y una al Oeste. Esta última y la situada más al Este parecían mayores que la tercera y todas parecían brillar más que las restantes estrellas de la misma magnitud. Al día siguiente el asombro de Galileo fué extraordinario al notar que las tres estrellitas se encontraban todas al Oeste del planeta. Como las tomaba por estrellas fijas, creyó que era Júpiter el que se había desplazado y no lograba explicarse tal inesperada irregularidad en su marcha. El 9 estuvo nublado; pero el 10 pudo volver a contemplar los astros en cuestión, de los que sólo pudo ver dos al Este del planeta; el tercero le pareció que debía estar oculto por Júpiter. Esto le hizo caer en la cuenta de que los cambios de posición no podían ser debidos a movimientos de Júpiter, sino de las estrellas que parecían acompañarle; y como el 11 viese de nuevo dos estrellitas al Este de Júpiter, pero con la particularidad de haber cambiado sus distancias relativas y ser una más brillante que la otra, en tanto que las observadas la víspera parecían iguales, ya no le cupo duda alguna de que había hallado en el cielo tres estrellas que

giraban en torno de Júpiter, como Mercurio y Venus alrededor del Sol. Dos días después comprobó que se trataba, no de tres, sino de cuatro estrellas errantes, y las designó con el nombre de *planetas Mediceas*, en honor de la familia de Médicis a la que pertenecía el Gran Duque de Toscana.

Aunque Galileo no pudo determinar desde el primer momento las órbitas de los satélites, llegó no obstante muy pronto a varias conclusiones de interés. En primer lugar los satélites giraban en pocos días alrededor del planeta a la par que en doce años alrededor del centro del Mundo. En segundo lugar los círculos que describían eran a todas luces desiguales, como se demostraba por el hecho de tener lugar las conjunciones siempre cerca de Júpiter y nunca lejos del mismo. Dedujo luego que los satélites más próximos al planeta giraban más aprisa, pues con mayor frecuencia se veían a uno y a otro lado del mismo. Por último le pareció que el más externo empleaba unas dos semanas aproximadamente en recorrer su órbita. En los años siguientes determinó Galileo las dimensiones de las órbitas y la duración de las revoluciones, que fijó en 1 día y 18 horas para el primer satélite; 3 días con 3 horas y un tercio aproximadamente para el segundo; 7 días y $\frac{1}{2}$ horas para el cuarto, y finalmente 16 días y 18 horas para el quinto. Aunque un tanto erróneos, tales valores son muy aproximados, dada la época y medios con que fueron determinados; sólo en el período del segundo llega el error cometido por Galileo al 12 por 100; pero en los otros no pasa cuando más del 1,5 por 100.

Se ha querido discutir a Galileo la prioridad del descubrimiento de los satélites de Júpiter, pero sin motivo justificado. Escritores holandeses la han atribuido a un compatriota; pero una simple confrontación de fechas hace ver que el pretendido descubridor habría realizado su precoz observación a la edad de seis años... Los únicos rivales de importancia son el inglés Harriot y el alemán Simon Marius, matemático y médico del marqués de Brandeburgo, que en su obra *Mundus Jovialis* asegura haberlos descubierto antes que el astrónomo de Pisa. Pero aun prescindiendo de que la obra de Marius, publicada en 1614, es posterior en cuatro años a la de Galileo y de que en cuestiones científicas aquél puede arrogarse justamente la paternidad de un hallazgo es el que lo hace primero del dominio público, Marius

comenzó a llevar cuenta de sus observaciones sobre los satélites de Júpiter el 8 de enero de 1610, por consiguiente un día más tarde que Galileo. Ciertamente parece haberlos visto ya a fines de noviembre del año anterior; pero sin sospechar su verdadera naturaleza y tomándolos por estrellas fijas. En cambio es hoy día seguro que su hallazgo fué del todo independiente y que no hay motivo alguno para acusarle de plagario; a él se deben los nombres que se han dado definitivamente a los satélites, Io, Europa, Calisto y Ganimedes.

En cuanto al inglés Harriot, joven hombre de ciencia, muerto por desgracia prematuramente, lo más que se puede llegar a asegurar es que, si contaba por el Calendario Gregoriano, vió por primera vez los satélites el 16 de enero de 1610, nueve días más tarde que Galileo; y más de tres semanas después, si por el calendario no reformado, como parece lo más probable. Más aún, de una carta del Dr. Robertson a Sir David Brewster se deduce que las primeras observaciones de Harriot propiamente tales datan sólo del 17 de octubre de 1610, pues en la hoja manuscrita en que se encuentra descrita la situación de los satélites en dicho día, se halla esta nota del mismo Harriot: «Mi primera observación de los nuevos planetas.»

Prosiguiendo más tarde sus estudios sobre Júpiter, creyó Galileo poder atribuir a la diferente diafanidad de su atmósfera los cambios de brillo de los satélites, error evidente, pues ello habría exigido que Júpiter estuviese envuelto por una capa gaseosa de dimensiones enormes. En cambio se debe a Galileo la idea, que tan fecunda ha sido luego en resultados, de utilizar los eclipses de los satélites para determinar la longitud de los diferentes puntos de nuestro Globo. Con este fin dió varios pasos cerca de los Gobiernos de España y Holanda para organizar la determinación de las longitudes en el mar; pero no se llegó a nada práctico, porque a pesar del número verdaderamente enorme de observaciones llevadas a cabo por él y sus discípulos, sus tablas, aun después de corregidas y completadas por el religioso olivetano P. Renieri, eran demasiado inexactas. Sólo más de un siglo más tarde, gracias al crecimiento y perfeccionamiento de la técnica astronómica y sobre todo a las mejoras introducidas por Laplace en la teoría de los satélites de Júpiter, se pudo llevar a la práctica con éxito la idea de Galileo.

La verdadera naturaleza de los anillos de Saturno fué siempre un misterio para Galileo. Los vió muy pronto, pero sin identificarles como tales. Para tener tiempo de comprobar su descubrimiento y no exponerse por otra parte a perder la prioridad del mismo, Galileo lo enunció en el *Sidereus Nautius*, según el gusto de la época, bajo la forma de un logogrifo. Ordenadas convenientemente las letras del mismo componían la frase: «*Altissimum planetam tergeminum observavi.*» Kepler, que ante ningún problema se arredraba, buscó con obstinación el significado del anagrama de Galileo y acabó por sacar del mismo un verso latino, bien poco ortodoxo desde el punto de vista gramatical, en que se enunciaba un descubrimiento relativo a Marte. Por fin en una carta dirigida al Duque de Toscana dió Galileo mismo la clave del enigma, declarando que el planeta le parecía constar de tres cuerpos, *tricornis*, término que explica como sigue en una carta de 13 de noviembre de 1610 a Juliano de Médicis, Embajador del Gran Duque cerca del Emperador: «Cuando observo a Saturno con un anteojo que aumenta más de treinta veces, la estrella central me parece la mayor, en tanto que las otras dos, situadas una al oriente y otra al occidente, sobre una línea que no coincide con la dirección del zodiaco, parecen tocarla. Son como dos servidores que ayudan al viejo Saturno a andar su camino y se mantienen siempre a su lado. Con un anteojo de menos aumento la estrella parece alargada y de forma de aceituna.» Mes y medio después, en una carta dirigida al benedictino P. Castelli, afirmaba que Saturno se componía de tres estrellas inmóviles cada una respecto de las otras. Esta total desorientación sobre la verdadera índole de los anillos de Saturno fué común a todos los contemporáneos de Galileo y se fué acentuando con el cambio progresivo de su forma aparente al ir variando la posición de su plano respecto de la eclíptica. De hecho la desaparición de los anillos en 1612 desconcertó de tal modo a Galileo, como se ve por una carta suya a Velsler, que comenzó a temer haberse equivocado en sus observaciones anteriores y dejó casi por completo el estudio del fenómeno. ¡Lástima que así lo hiciese, pues no hay duda que con su gran poder de intuición habría llegado probablemente a penetrar su verdadera esencia, como le ocurrió de hecho a Huy-

ghens, a quien la desaparición del anillo de 1656 dió la clave para la solución del problema!

En cuanto a Venus es verdaderamente curioso que durante los primeros meses de sus observaciones no pensase Galileo en dirigir a este planeta su anteojo. Sólo a fines de septiembre de 1610 comenzó a ocuparse de él. Con fecha 5 de noviembre de aquel mismo año, le preguntaba por carta desde Brescia su amigo el benedictino Dom Castelli si no creía que Venus y Marte tenían fases como la Luna. Dudoso todavía de su realidad, se excusó de momento Galileo de poder contestar adecuadamente, alegando su mucho trabajo y el mal estado de su salud, que le impedía por aquellos días pasar las noches a la intemperie; pero poco después, seguro ya de las fases, se aseguró la prioridad del descubrimiento publicando el 11 de diciembre el célebre logogrifo «*Haec immatura a me jam frustra lenuerunt. O. Y.*», que el 1.º de enero explicaba ya con claridad, haciendo notar que con sus letras convenientemente ordenadas se componía el siguiente verso: «*Cynthiae figuras aemulatur Mater Amorum.*», la Madre de los Amores (Venus) emula las figuras de Diana (la Luna).

Sobre las fases de Marte no llegó por el contrario nunca a tener una seguridad plena, pues en carta al P. Castelli del 30 de diciembre de 1610, en que ya le daba cuenta privadamente de la existencia de las de Venus dos días antes de hacerlas públicas, añade: «no me atrevo a asegurar que haya podido observar otro tanto en Marte, aunque, si no me engaño, me ha parecido ver que no es perfectamente redondo». En cambio notó los cambios de diámetro aparente del planeta, observando que en la oposición le parecía seis veces mayor que en la conjunción.

Mucho habla en favor de la perspicacia de Galileo haber previsto en cierto modo el descubrimiento de Urano, Neptuno y Plutón, al decir que a su entender el espacio comprendido entre Saturno y las estrellas estaba probablemente poblado de planetas invisibles hasta entonces; y no menos prueba su buen sentido, no haber querido emitir opinión alguna sobre la cuestión que en aquella época apasionaba los ánimos de muchos humanistas, a saber, si había o no en los otros planetas seres vivos parecidos a los de la Tierra. «Si se me propone esta pre-

gunta—decía el 25 de enero de 1613 en carta al Príncipe Cesi—no contestaré ni sí ni no.»

Mucho se ha discutido sobre la prioridad del descubrimiento de las manchas solares. Si se trata de quién fué efectivamente el primero en observarlas, la cuestión es poco menos que insoluble, pues es preciso atenerse a testimonios tardíos y conjeturas, que difícilmente pueden llegar a producir certeza. Descartado desde luego el Jesuíta P. Scheiner, pues él mismo dice en sus cartas a Ve'ser y en su monumental obra *Rosa Ursina* que, aunque las vió por primera vez en marzo de 1611, fué sin darse plena cuenta de su naturaleza, y sólo a partir del 21 de octubre del mismo año comenzó a observarlas propiamente, la duda se ciñe al inglés Harriot, al holandés Fabricio y a Galileo. De Harriot asegura Mr. de Zach haber visto manuscritos con observaciones de manchas del 8 de diciembre de 1610, pero seguramente empleaba el calendario no reformado. En cuanto a Galileo, no parece poderse tener en cuenta el testimonio de Fray Fulgencio Micanzio, posterior en diecinueve años a los acontecimientos, según el cual Galileo había observado las manchas en Venecia en agosto de 1610 y las había enseñado al P. Maestro Paolo Sarpi, proyectándo'as sobre un cartón blanco, porque está en contradicción con la afirmación del propio Galileo que en carta a Ve'ser de 4 de mayo de 1612 hace remontar sus primeras observaciones sólo a dieciocho meses antes y porque el método de observación de que habla Micanzio sólo más tarde fué empleado por Galileo, el cual dice haberle sido comunicado por Castellí. Lo más probable es que a Galileo le ocurriese lo mismo que al P. Scheiner, es decir, que al principio viese las manchas sin caer en cuenta de que lo eran, pues de lo contrario no se explica que no se asegurase desde luego la prioridad del descubrimiento, como hizo por aquella misma época con sus observaciones sobre Saturno y las fases de Venus.

Ateniéndonos a la fecha de publicación de las obras que fueron apareciendo sucesivamente sobre las manchas del Sol, la más antigua es la de Fabricio *Ioh. Fabricii Phrysií, de Maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione Narratio*, cuyo prólogo dedicatoria va fechado el 13 de junio de 1611. Las cartas de Scheiner a Ve'ser son del 12 de noviembre y 19 y 26 de diciembre del mismo año y de 26 de enero de

1612. La carta de Galileo *Epistola ad Velserum de Maculis solaribus* es de 4 de mayo de 1612 y su *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti* de enero de 1613. Pero esto no quita que las observaciones realizadas por Galileo fuesen llevadas a cabo con entera independencia de las de Fabricio y Harriot; y que, si no la existencia de las manchas, fuese por lo menos el primero en probar su íntima conexión con el Sol y en defender que eran como nubes que formaban parte de su superficie, contra el parecer de algunos que querían atribuir las a pequeños planetas, que giraban alrededor del mismo. También descubrió Galileo las fáculas o zonas brillantes de la superficie solar, lo cual por una parte acabó de vencer la oposición de los que se oponían a considerar las manchas como accidentes de la misma, y sirvió además para probar la rotación del Sol, siendo un elemento de gran importancia para la determinación de la duración de la misma. Varias cartas de Galileo muestran que había comprendido perfectamente el interés de comparar las intensidades luminosas de diversos puntos del disco solar, en especial del centro y de los bordes, y que las observaciones que realizó directamente le llevaron a la opinión de que tal intensidad era la misma. Determinó asimismo con bastante aproximación la duración de la rotación solar y se ocupó de la inclinación del eje del Sol. Con toda la organización sistemática de la observación del Astro-Rey desde diversos puntos del globo y la determinación precisa de los elementos de su rotación fué obra del P. Scheiner, que dió cuenta de sus trabajos en la ya mencionada obra *Rosa Ursina*, in folio de más de 800 páginas, aparecido en 1630.

Algunos han reprochado a Galileo la inexactitud de sus ideas sobre los cometas. A propósito de los tres observados en 1618 sostuvo equivocadamente en su controversia con el P. Horacio Grassi que la paralaje no era en este caso un medio adecuado para determinar la distancia y que podrían ser puros efectos ópticos como los halos, parhelios y arcoiris. Esta reiteración de opiniones antiguas y tan ajenas al espíritu investigador del gran Maestro, quizás se debiese, como observa atinadamente el P. Carrara, S. J., a que de resultas de los achaques que entonces padecía, no pudo Galileo observar por sí mismo dichos as-

tros y tuvo que basar sus juicios en las referencias que otros le daban.

Todavía otros dos títulos hacen acreedor a Galileo al puesto de honor que ocupa entre los fundadores de la moderna Astronomía. En sus *Diálogos sobre los dos máximos Sistemas del Mundo* es Galileo el primero en indicar un procedimiento para medir la velocidad de la luz, que los antiguos creían infinita. He aquí sus palabras en las que inmediatamente se descubre el primer esbozo del método empleado más tarde por Fresnel: «Supongamos dos observadores provistos cada uno de una luz, que pueden cubrir y descubrir instantáneamente con una pantalla; y que, manteniéndose a algunos pasos de distancia el uno del otro, se ejercitan en descubrir la luz propia, tan pronto como ven la de su compañero. Una vez suficientemente adiestrados, se alejarán entre sí dos o tres millas y repetirán la experiencia, teniendo cuidado de anotar el tiempo transcurrido entre el instante en que el primero descubre su luz y aquel en que habrá visto la del segundo. El intervalo será evidentemente igual al doble del tiempo que la luz emplea en ir de la primera estación a la segunda. Si con dos o tres millas no consiguen un resultado apreciable, se alejarán ocho o diez y se servirán de un telescopio.» Galileo realizó por sí mismo varias experiencias en este sentido a una distancia de una y dos millas; y algunos miembros de la Academia del Cimento las repitieron bajo su dirección a otras considerablemente mayores; como se puede suponer, el resultado fué nulo, dado lo enorme de la velocidad que se trataba de medir y la imperfección de los medios de que los observadores tenían que valerse.

También son mérito astronómico de Galileo sus estudios sobre el péndulo y su aplicación a la medida del tiempo. Prescindiendo del descubrimiento realizado en su juventud en la Catedral de Pisa del isocronismo de las oscilaciones y de los diversos empleos que más tarde hizo del mismo en sus observaciones celestes, sabemos por su célebre discípulo Viviani que en 1641, ya ciego, se le ocurrió servirse de un péndulo para conseguir la igualdad de las oscilaciones de un reloj ordinario, y que más tarde su hijo llevó a la práctica esta idea de su padre en un reloj construido por él mismo.

II

GALILEO Y EL SISTEMA DE COPERNICO

Hemos expuesto en el párrafo anterior el cúmulo de descubrimientos con que Galileo contribuyó más que ninguno de sus predecesores o contemporáneos a aumentar el caudal de los conocimientos astronómicos sobre la naturaleza de los astros y que justamente le constituyen creador de la Astronomía Física. Con todo la nota característica de su actividad astronómica es su esfuerzo ininterrumpido para hacer triunfar las ideas de Copérnico acerca de la constitución del Universo, sobre las de Tolomeo. De casi todos sus hallazgos puede decirse que los orientó en este sentido y los consideró a la luz de este ideal. De esta modalidad primordial de la vida del gran astrónomo vamos a ocuparnos en este párrafo, tratando de valorizar su aportación a la prueba del sistema copernicano.

El motivo principal en que se había basado Copérnico para proponer su sistema era la extraordinaria complicación que encontraba en el de Tolomeo. Ciertamente lograba éste dar una explicación suficientemente satisfactoria de los movimientos aparentes de los cuerpos celestes. En una de las *Memorias de la Academia de Ciencias de París de 1772* demuestra Lagrange que sean las que fueren las desigualdades angulares observadas en el movimiento de un planeta, es siempre posible explicarlas por completo multiplicando suficientemente el número de epiciclos; y lo mismo prueban autores de nuestros días como Tisserand y Andoyer en su conocida obra *Leçons de Cosmographie*, pp. 241-243, «Transition du système de Ptolémée à celui de Copernic». Pero, como dice muy bien Galileo en su *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo*, aunque el astrónomo puramente geómetra pudiese quedar plenamente satisfecho con el sistema de Tolomeo, no así el astrónomo filósofo, al que la extraordinaria complicación de los sistemas de esferas, epiciclos, excéntricas, deferentes, etc., no podía menos de parecer motivo suficiente para dudar de su realidad. Fracastor, por ejemplo, astrónomo contemporáneo de Copérnico, había llegado nada menos que a necesitar media docena de tales adminículos

para dar cuenta del movimiento de las estrellas fijas, 17 para el de Saturno, 11 para el de Júpiter, 9 para el de Marte, 4 para el del Sol, 11 para el de Venus, 11 para el de Mercurio y 7 para el de la Luna... Se comprende sin más la frase que, según se cuenta, había dicho bromeando en cierta ocasión nuestro Rey Alfonso el Sabio, en una Asamblea de Obispos y magnates, que «si Dios le hubiese llamado para ayudarle a crear el Mundo, lo habría hecho menos complicado»... Entre atribuir a la Tierra sola un movimiento diurno bastante moderado alrededor de su eje y otro anual alrededor del Sol, o a tantos cientos y miles de astros movimientos por una parte alrededor de la Tierra a velocidades vertiginosas y por otra sujetos al mismo tiempo al complicadísimo andamiaje antes dicho, no vaciló Copérnico y se pronunció por lo que le pareció más sencillo, por creer que es siempre la sencillez la característica de las obras de la Naturaleza.

Pero sus razonamientos no pudieron menos de chocar con las ideas entronizadas desde siglos, que a fuerza de antigüedad, habían llegado a parecer evidentes. Sería un error creer que la hipótesis del movimiento de la Tierra no había sido tomada en consideración por los antiguos. Tolomeo mismo la examina detenidamente en su *Almagesto*, y si se pronuncia en contra hácelo en virtud de razones que distan mucho de ser pueriles: más aún, dados los conocimientos de su tiempo, se comprende que pudiesen parecerle de verdadero peso. Poco más o menos son las mismas que se objetaron a Copérnico, pues sabido es el espíritu conservador y el respeto a la autoridad de los siglos medievales. Si Venus—decían—carece de luz propia y gira alrededor del Sol, ¿cómo no presenta fases como la Luna? Objetábase asimismo que, aunque es cierto que el sistema de Copérnico simplificaba algunos de los movimientos celestes, parecía en cambio complicar otros, como el de la Luna que, arrastrada juntamente con la Tierra alrededor del Sol y girando a la par en torno de nuestro planeta, tendría que describir una trayectoria bastante más complicada que la circunferencia que hasta entonces se la había atribuido. También era muy grande la repugnancia a admitir el movimiento de rotación de la Tierra, porque por una parte parecía contradecir el testimonio de nuestros sentidos, ya que por usar la frase de Tisserand, no podía

verse con otros ojos que con los del espíritu; y por otra, desde tiempos de Tolomeo se pensaba que tal movimiento habría tenido como consecuencia que todos los cuerpos no adheridos a su superficie habrían debido estar dotados de otro contrario al suyo y del mismo sentido que el de las estrellas, de modo que, por ejemplo, una piedra desprendida de lo alto de una torre no habría podido caer a su pie, sino desviada hacia el Oeste. Más aún, se opinaba que los puntos mismos de la superficie terrestre, animados de una velocidad inmensa, deberían haber estado sujetos a una fuerza de proyección (centrífuga) capaz de arrancar de sus fundamentos los más sólidos edificios y arrojar al espacio sus fragmentos. Por último no parecía menos oscuro cómo el eje de la Tierra, en su movimiento anual alrededor del Sol, se pudiese conservar siempre paralelo a sí mismo; y por abreviar, quizás más aún que todas las razones citadas militaba contra la fácil admisión del sistema de Copérnico la repugnancia a dejar de mirar la Tierra como un cuerpo aparte en la Creación y de naturaleza enteramente distinta de la de los astros; a lo que podríamos añadir que, como en el fondo el sistema de Copérnico no llegaba a la total simplificación de los movimientos celestes, sino que, por respeto sin duda a la idea de la perfección del movimiento circular, conservaba un cierto número de epiciclos y excéntricas para explicar las irregularidades nacidas del movimiento propio de los planetas y la Luna, quizás a más de uno le pareciese ventaja puramente accidental, la reducción del número de tales elementos, desde el momento que no se suprimían del todo.

Copérnico había ciertamente contestado a las objeciones que anteceden y en general, con acierto; pero sin poder dar de ordinario prueba alguna de la exactitud de sus respuestas. «Sí—había dicho a sus contradictores—Venus tiene fases y los hombres lograrán verlas el día en que encuentren manera de perfeccionar su vista». Por eso Galileo, al descubrir las fases de Venus, había escrito aquellas palabras llenas de honda emoción: «Oh Nicolás Copérnico!; Cuán grande habría sido tu dicha, si hubieses podido gozar de estas nuevas observaciones, que tan plenamente confirman tus ideas!» He aquí el gran mérito del astrónomo de Pisa en su actuación en pro de la teoría copernicana: haber logrado con sus descubrimientos refutar experimentalmen-

las objeciones y desembarazar así el camino, para que pudiese irse enseñoreando de los espíritus y estuviesen éstos cada vez mejor dispuesto para ir comprendiendo el valor, persuasorio primero y demostrativo después, de las congruencias y pruebas que los ulteriores hallazgos astronómicos fuesen poco a poco acumulando.

Comenzando por la dificultad de la diferencia esencial entre la Tierra y los astros, caía por su base con el descubrimiento de la topografía lunar, que mostraba en nuestro satélite un mundo parecido al nuestro; y con la demostración de que las manchas solares formaban parte real del Astro-Rey, con lo que se destruía la idea peripatética de la incorruptibilidad de los cielos. Asimismo se ve cómo quedaba demostrado que Venus carecía de luz propia y tenía fases, con la observación indubitable de éstas y hasta cierto punto de las de Marte.

Por lo que hace a la complicación de la órbita de la Luna, el descubrimiento de los cuatro satélites mayores de Júpiter resolvía en absoluto el problema, al poner ante los ojos del observador no uno, sino cuatro astros, cada uno de los cuales giraba alrededor del planeta en períodos distintos y por consiguiente siguiendo órbitas diferentes, y no obstante, le acompañaban en su curso de doce años alrededor del centro del Universo. «Aquí, decía Galileo en el *Sidereus Nuntius*, tenemos un notable y espléndido argumento para desvanecer los escrúpulos de aquéllos, que admitirían sin dificultad revoluciones sencillas de cada uno de los planetas alrededor del Sol, conforme al sistema de Copérnico, pero que se creen en la necesidad de rechazarlos porque según él, la Tierra, en su giro anual alrededor del Sol, va acompañada por la Luna, que a su vez gira en torno de ella. He aquí que ya no nos encontramos simplemente con un planeta secundario acompañando a uno de los principales, sino que nuestro mismo sentido de la vista nos muestra nada menos cuatro que, circulando en torno de Júpiter, juntamente con él giran alrededor del Sol en el espacio de doce años».

No menos afortunadamente dió también Galileo la solución de la dificultad referente a la rotación de la Tierra. Las manchas que observaba con su telescopio en el Sol veía cómo se desplazaban sobre el disco, desapareciendo por el Occidente y volviendo a aparecer por el Oriente al cabo de unos catorce días. Supues-

to que tales manchas formaban parte del globo solar, como Galileo había probado, comparándolas con las fúculas, ¿no era ello una prueba notoria de que el Sol giraba sobre sí mismo alrededor de su eje? Y en tal caso ¿qué dificultad sería podía haber en que también girase de igual modo la Tierra, tanto más cuanto que se sabía que es mucho más pequeña que el Sol?

Pero quedaba la segunda parte de la dificultad, la que había sido ya tratada por Tolomeo y modernizada en 1616 por Mgr. Francisco Ingoli, que en su *De Situ et Quiete Terrae contra Copernici Systema disputatio*, dedicada al mismo Galileo, al ejemplo clásico antes citado, de la piedra cayendo de la torre, había añadido otros, como el del proyectil disparado por un cañón, el cual, de tener realmente lugar el movimiento de la Tierra de Oeste a Este, no podría llegar a la misma distancia de la boca de fuego, según que ésta estuviese apuntada hacia uno u otro de estos dos puntos cardinales. La solución la había dado ya en sustancia Kepler en la parte 5.^a del libro 1.^o de su *Epitomes Astronomiae*; pero Galileo la dió con mucha mayor extensión y al parecer, con entera independencia en su *Carta* de 1624 al mismo Mgr. Ingoli, que por diversas causas no llegó a imprimirse, y en su 2.^o *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*. Más explícitamente que Kepler, hace notar Galileo que en el momento de ser abandonado a sí mismo desde lo alto de la torre, el cuerpo arrojado sigue participando del movimiento horizontal del punto en que se halla, el cual, componiéndose con el vertical de caída, tiene como resultante un movimiento paralelo en apariencia al lado de la torre. La solución sólo es verdadera en cuanto al principio de que parte. Galileo se quedaba a mitad de camino, y habían de pasar aún cuarenta años antes de que Newton refutase adecuadamente la dificultad, probando que el objeto desprendido, no sólo no cae detrás de la torre o a su pie, sino algo delante de la misma hacia el Este. Pero tuvo a lo menos el don de ser una solución *ad hominem* y reducir al silencio a los contradictores, sobre todo por la fuerza de una serie de experiencias y analogías, a primera vista convincentes, con que Galileo quiso apoyarla. «Sostenéis vosotros—decía en su *Carta a Mgr. Ingoli* a propósito de otro de los ejemplos propuestos por éste—que una piedra, que se deja caer desde la punta del mástil de un buque, no cae al pie del mismo, en el

caso de que el buque avance rápidamente... Si, al igual que Tycho Brahe, queréis ser sinceros, tendréis que concederme que no habéis hecho nunca el experimento, como tampoco el del disparo de cañón. No se piense que en un buque que está navegando, una piedra colocada en la punta del mástil y en movimiento con él, pasa, al caer, del estado de reposo al de movimiento; pues tenía todo el movimiento del barco, que no se pierde, cuando se la suelta, sino que por el contrario, es suficiente para hacer que siga al buque durante la caída, prescindiendo naturalmente con todo de posibles desviaciones irregulares a un lado y otro de la ruta. Así sucede que la piedra cae exactamente en el mismo punto en el que habría caído de estar el buque parado. Resulta, pues, que en este experimento de la torre encuentra la enseñanza de Copérnico, antes una confirmación que una contradicción. El experimento del cañón confieso que no lo he hecho; pero estoy firmemente convencido de que no se ha de encontrar ninguna diferencia entre los alcances del tiro en ambos casos, como vosotros sostenéis con Tycho Brahe. Para resolver a fondo esta dificultad y otras semejantes (sobre el vuelo de los pájaros, el arrastre de las nubes, etc.) os invito a hacer un experimento en una sala de un barco lo mayor posible. Metamos allí moscas, mariposas, etc., y también un gran recipiente de agua con pececitos, en el cual vaya el agua cayendo desde más arriba gota a gota. Tanto si el barco está quieto como si se mueve, todos aquellos animalitos voladores se trasladan con la misma facilidad y en el mismo tiempo de una pared a la otra, los peces nadan igualmente sin ningún cambio de un lado de la vasija a otro, las gotas de agua caen en el mismo punto, etc. Si alguno echa algo a un amigo, por ejemplo, una fruta, veréis que con tal que la distancia entre ambos no varíe, tiene que hacer el mismo esfuerzo, sea cual fuere la dirección en que el movimiento se verifique. En fin, se ve que por la consideración de los objetos contenidos en la sala no se puede decir si está un barco en movimiento o no; ¿cómo sería, pues, esto posible de la Tierra?»

En su 2.^o *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo* parece acercarse más a la verdad al recoger, por boca de Salviati, el ejemplo propuesto por Simplicio de una piedra que cayese al suelo nada menos que desde la Luna. Después de

refutar la opinión de Simplicio sobre el tiempo que emplearía en la caída y calcularlo de acuerdo con las leyes por él descubiertas de la caída libre de los cuerpos, hace notar que tal piedra no solamente no caería detrás de la vertical, sino que se adelantaría a la misma, ya que durante la caída habría tenido que ir atravesando círculos cada vez menores. He aquí el germen de una idea que de ordinario se ha atribuido a Newton.

En cuanto a la fuerza centrífuga, admitía naturalmente Galileo su existencia y decía que era precisamente ella la que hacía que la piedra soltada de lo alto de la torre siguiese animada del movimiento que ésta poseía en la dirección de la tangente del círculo que el extremo superior de dicha torre describe. Pero como la superficie de la Tierra es tan grande, añade, esta tangente coincide sensiblemente con la línea horizontal, de donde se sigue que no hay peligro de que los cuerpos abandonen la superficie terrestre, porque la gravedad los retiene junto a la misma. Solución evidentemente mucho más satisfactoria que la dada por Copérnico, el cual no había podido hacer otra cosa que apelar a la distinción entre los movimientos naturales y artificiales, y sostener que aunque los segundos, como violentos pudiesen producir los terribles efectos destructores antes dichos, no así los primeros, que como naturales, eran suaves y participaban de la incommovible armonía del Universo.

Quedaba la dificultad de cómo el eje de la Tierra, a pesar del movimiento de rotación anual de ésta alrededor del Sol, apuntaba siempre al mismo punto de la esfera celeste. De acuerdo con las ideas mecánicas de su época, Copérnico partía del supuesto de que un cuerpo no podía girar alrededor de un centro sin estar unido en cierto modo sólidamente con él, por ejemplo, por un radio real de centro a centro, o a lo menos sostenido por un cuerpo sólido, por ejemplo, una esfera de cristal que rodease al centro en cuestión. Seguíase como consecuencia que el cuerpo que giraba, la Tierra en este caso, habría debido presentar siempre al Sol la misma cara y sus diversos diámetros habrían debido irse encontrando sucesivamente dirigidos a los diferentes puntos del espacio. Ahora bien, como esto contradice a la experiencia, Copérnico suponía dotada la Tierra de lo que él llamaba el tercer movimiento, en virtud del cual el eje de rotación iba siendo llevado de nuevo a la posición paralela a la

primera, de la que el movimiento de traslación la habría apartado. También aquí Galileo dió una solución experimental mucho más satisfactoria gracias a sus progresos en Física. «Poned—dicen en su *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua e che in quella si muovono*—una esfera de madera en un recipiente lleno de agua, sostened éste con la mano teniendo el brazo extendido y dad una vuelta sobre vosotros mismos; comprobareis que la esfera gira en sentido contrario, esto es, gira sobre sí misma en sentido opuesto a vuestro movimiento y por cierto da una vuelta completa exactamente en el mismo tiempo que vosotros. Pero si consideráis el fenómeno más atentamente acabaréis por comprobar que la esfera sólo gira aparentemente (respecto del que la aguanta); en realidad guarda la misma posición en el espacio, exactamente como Copérnico lo sostiene del eje de la Tierra. Comprenderéis también igualmente que al llevar alrededor la esfera haciendo círculos, no se excluye una cierta rotación de la misma alrededor de un eje que está en su interior. De esta manera pueden, no solamente dos o tres, sino diez y cien movimientos tener lugar al mismo tiempo.» Como se ve todas las dificultades presentadas al sistema de Copérnico habían ido siendo demolidas por Galileo una a una; su obra, bajo este aspecto es verdaderamente brillante y de gran trascendencia. Veamos ahora si fué igualmente afortunado en la segunda parte de su empeño, esto es, en probar positivamente la realidad de aquel sistema del Mundo.

Cuando en el decurso de sus dos procesos se indicó a Galileo la necesidad de aportar pruebas positivas del sistema de Copérnico presentó las tres siguientes: la más fácil y racional explicación de las estaciones y retrogradaciones de los planetas en tal sistema que en el de Tolomeo; la mejor interpretación igualmente de las trayectorias seguidas por las manchas solares a consecuencia de la rotación del Sol; y sobre todo la explicación de las mareas. El primer argumento no es en rigor otra cosa que repetición del dado por el mismo Copérnico en su primer libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, aunque expuesto con nueva fuerza y enriquecido con oportunas observaciones. Los otros dos son propios de Galileo, constituyendo en rigor el segundo una nueva modalidad del de Copérnico y siendo el tercero completamente original.

Comencemos por ver cómo expone Galileo la prueba fundamental dada por Copérnico en su *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo*:

«*Simplicio*.—Pero ¿qué cosas tan exorbitantes hay en este punto en el sistema de Tolomeo, que no se hallen en el de Copérnico?

«*Salviati*.—En la hipótesis de Tolomeo están los males y en la de Copérnico sus remedios. Y ante todo, ¿no encontrarán todas las escuelas filosóficas un gran inconveniente en que un cuerpo, naturalmente destinado a moverse circularmente, gire irregularmente alrededor de su propio centro y con regularidad en torno de otro punto? Pues tal género de movimientos deformados son los que se realizan en el sistema de Tolomeo, en tanto que en el de Copérnico todos se realizan perpetuamente alrededor de sus centros propios. En el de Tolomeo es necesario asignar a los cuerpos celestes movimientos contrarios y hacer que todos se muevan de Este a Oeste y al mismo tiempo de Oeste a Este; en cambio en el de Copérnico todas las revoluciones celestes tienen lugar en un solo sentido, de Oeste a Este. Y ¿qué diremos del movimiento aparente de los planetas, tan irregular que, no solamente mientras uno va despacio, otro va deprisa, sino que algunas veces dejan por completo de moverse y luego, después de un largo tiempo, vuelven atrás de nuevo? Para salvar estas apariencias introdujo Tolomeo epiciclos muy grandes, acomodándolos uno por uno a cada planeta, con una porción de movimientos incongruentes, que todos se evitan con el movimiento solo de la Tierra. Y ¿no dirás, *Simplicio*, que es un gran absurdo el que en la hipótesis de Tolomeo, en que cada planeta particular tiene asignados sus orbes peculiares, unos encima de otros, sea forzoso decir frecuentemente que Marte, situado encima de la esfera del Sol, desciende de tal manera que rompiendo el orbe solar, se coloca debajo de él y se aproxima a la Tierra más que el cuerpo del Sol; y luego vuelve a subir de una manera desmesurada hasta ponerse de nuevo encima del mismo? Pues bien, éste y otros absurdos semejantes se remedian con sólo admitir el movimiento anual de la Tierra.

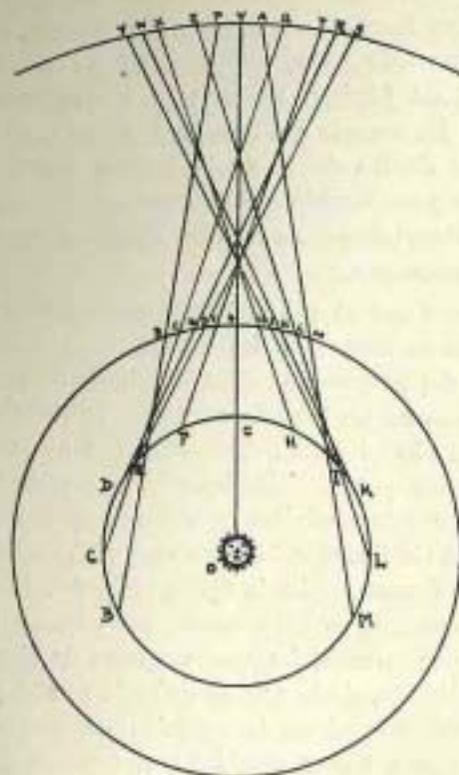
«*Sagrado*.—Me gustaría estar mejor informado de cómo estas estaciones y retrogradaciones, que siempre me han parecido su-

mamente improbables, están más de acuerdo con el sistema de Copérnico.

Salviati.—Verás que el acuerdo es tan perfecto, Sagredo, que esta sola conveniencia debería ser suficiente para mover a todo el que no sea obstinado o necio a dar su entero asenso al resto de la teoría. Pues sin que nada tenga que alterarse en el movimiento de Saturno, que es de treinta años, ni en el de Júpiter, que es de doce, ni en el de Marte, de dos, ni en el de Venus, que es de nueve meses, ni en el de Mercurio, que es de unos ochenta días, el solo movimiento anual de la Tierra entre Marte y Venus explica todas las desigualdades aparentes de las cinco estrellas dichas. Y para que lo puedas entender mejor y más fácilmente en conjunto, voy a describirte la figura de estos movimientos.

Supongamos al Sol colocado en el centro O y a su alrededor la órbita BGM descrita por la Tierra con su movimiento anual. Sea bcM el círculo descrito por Júpiter alrededor del Sol en doce años, y en la esfera de las estrellas fijas imaginémosnos el Zodíaco YVS . Tomemos en la órbita de la Tierra algunos arcos iguales $BC, CD, DE, EF, FG, GH, HI, IK, KL, LM$; y en la de Júpiter marquemos otros tantos, $bc, cd, de, \dots lm$, recorridos en el mismo tiempo que la Tierra recorre los primeros y menores que aquéllos en la misma proporción en que es menor el movimiento de Júpiter en el Zodíaco que el anual de la Tierra. Suponiendo ahora que la Tierra está en B y Júpiter en b , tracemos la línea recta BbP ; nos parecerá que Júpiter se halla en el Zodíaco en P . Supongamos luego que la Tierra se mueve de B a C y Júpiter en el mismo tiempo de b a c . Parecerá haberse trasladado en el Zodíaco a Q y haberse movido hacia adelante, en el sentido del orden de las letras PQ . En la posición siguiente, pasando la Tierra a D y Júpiter a d , se le verá en el Zodíaco en R ; y desde E , estando Júpiter en e , aparecerá en el Zodíaco en S , habiéndose movido entre tanto siempre hacia adelante. Pero luego comenzará la Tierra a interponerse más directamente entre Júpiter y el Sol y al llegar ella a F y Júpiter a f , se verá éste en T y de resultas habrá comenzado a retroceder aparentemente en el Zodíaco, advirtiéndose que en el tiempo empleado por la Tierra para recorrer el arco EF , habrá el estado entretenido entre los puntos S y T y habrá parecido

de resultas casi sin movimiento y estacionario. Llegando luego la Tierra a G y Júpiter a g , en oposición con el Sol, se le verá en el Zodíaco en V , muy hacia atrás, como si hubiese retrocedido todo el arco TV , a pesar de que durante todo este tiempo, prosiguiendo su propio camino, habrá realmente avanzado no sólo en su círculo, sino también en el Zodíaco respecto del centro del mismo, y por tanto del Sol, supuesto en él. Continuando



la Tierra y Júpiter sus movimientos, cuando la Tierra haya llegado a H y Júpiter a h , se verá aún más atrás en el Zodíaco, retrasado de todo el arco VX . Llegada la Tierra a I y Júpiter a i , aparentemente se habrá movido en el Zodíaco el pequeño espacio XY y parecerá estacionario. Cuando después la Tierra llegue a K y Júpiter a k , en el Zodíaco parecerá haber recorrido el arco YN con movimiento directo; y prosiguiendo la Tierra su marcha hasta L y Júpiter hasta l , se verá en el punto

Z. Finalmente, cuando Júpiter esté en M, desde la Tierra situada en M, parecerá haber pasado a A, con movimiento siempre hacia adelante. Así toda la retrogradación aparente en el Zodíaco corresponderá al arco SY, descrito aparentemente por Júpiter, mientras que en su propio círculo recorre el arco EI, y la Tierra el EI. Lo mismo se entiende de Saturno y de Marte. En Saturno estas retrogradaciones son algo más frecuentes que en Júpiter, porque su movimiento es menor que el de Júpiter, por lo que la Tierra le cruza con mayor frecuencia. En Marte, por el contrario, son más raras, porque como su movimiento es más rápido que el de Júpiter, necesita la Tierra más tiempo para darle alcance. En cuanto a Venus y Mercurio, cuyas esferas están encerradas dentro de la de la Tierra, sus estaciones y retrogradaciones son también consecuencia, no de movimientos reales de los planetas, sino del de la Tierra, como Copérnico demostró excelentemente.»

Antes de analizar el valor de este argumento, veamos el segundo que, como hemos hecho notar, puede mirarse como un complemento del precedente. Del movimiento de Este a Oeste que él observaba en las manchas solares, había deducido Galileo con razón que el Sol gira sobre sí mismo alrededor de un eje que pasa por sus polos. Fijándose en una mancha próxima al ecuador solar y marcando las posiciones que ocupaba en días sucesivos, notó Galileo que la línea que unía los diferentes puntos variaba de forma según la época del año. Unas veces se le presentaba como una recta y otras como una elipse; además, cuando era recta presentaba una pequeña inclinación sobre el plano de la eclíptica, de lo que se deducía que el eje de rotación del Sol formaba con el de la eclíptica un pequeño ángulo de unos 7°. Cada seis meses cambiaba el sentido de esta inclinación, así como el de la concavidad de la elipse mencionada. Ahora bien, como Galileo expone por boca de Salviati en su tercer *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo*, toda esta diversidad de aspectos queda fácilmente explicada, si la Tierra gira en un año alrededor del Sol. «Aquí—dice en el lugar citado—se nos abre el camino para llegar a un gran objetivo. Si el eje de rotación del Sol no es perpendicular a la eclíptica, sino que presenta una cierta inclinación respecto de su plano, como se deduce de las observaciones que hemos llevado a cabo,

posemos en ello un dato sobre la posición relativa del Sol y de la Tierra mucho más seguro y demostrativo que cuantos nadie ha podido aducir hasta ahora... Admitamos que el Sol se encuentra en el centro de la eclíptica y por cierto de manera que su eje de giro, inclinado respecto del plano de la misma, conserve siempre la misma posición en el espacio celeste. En tal caso las trayectorias de las manchas han de presentar cambios maravillosos. Dos veces al año se han de ver como rectas desde la Tierra que gira a su alrededor y el resto del tiempo como líneas ligeramente curvas y por cierto de manera que durante medio año la curvatura tenga dirección contraria que en el otro medio, es decir, que durante seis meses está dirigida hacia arriba la concavidad de la curva y durante los seis restantes hacia abajo. Todavía hay otra circunstancia que merece ser considerada: el punto de aparición de una mancha en el borde oriental del Sol y el de desaparición en el occidental sólo dos veces al año se presentan a la misma altura. Durante seis meses el punto de nacimiento se encuentra más abajo que el de desaparición y durante los otros seis más alto. La desigualdad se va presentando poco a poco hasta que llega a su valor máximo y luego lentamente se va hacia el máximo opuesto. La cuarta cosa digna de atención es que precisamente en el momento de estos máximos se presentan las trayectorias de las manchas como líneas rectas, y por el contrario muestran la máxima curvatura cuando los puntos de aparición y desaparición están a la misma altura. En los intermedios siguen ambos fenómenos marchas contrarias, es decir, la curvatura crece a medida que la diferencia de alturas disminuye.» Ahora bien, como hace notar Sagredo, que si se coloca un globo terrestre o celeste en medio de una mesa redonda, de modo que su eje de rotación forme un ángulo con la vertical, a medida que se traslada uno alrededor de la mesa presentan los paralelos del globo los aspectos descritos, concluyen él y Salviati que las observaciones dichas constituyen un argumento muy sólido, que permite conjeturar con gran probabilidad y está firmemente apoyado en la experiencia, en pro de la verdad del sistema heliocéntrico.

Esta expresión de Salviati es la que nos da realmente el valor de estos dos argumentos; con ellos hacia Galileo el sistema de Copérnico sumamente probable; para espíritus libres de toda

idea preconcebida en contra, tal probabilidad habría llegado a contener un germen de certeza; pero propiamente no lo probaba, pues por artificiosa que pudiera parecer la explicación de los partidarios de Tolomeo, ya hemos visto antes cómo de hecho con sus epiciclos y excéntricas lograba explicar todas las irregularidades de los movimientos planetarios; y las particularidades observadas en el movimiento de las manchas solares podían en rigor explicarse suponiendo la Tierra inmóvil y el Sol girando a su alrededor, con tal que en su movimiento anual alrededor de la primera, apuntase siempre el eje del segundo al mismo punto del cielo. Galileo mismo se dió tan bien cuenta de esta dificultad, que por boca de Simplicio formuló la objeción y la completó por la del mismo Salviati. Pero afirma luego que tal cosa le aparece «muy dura y casi imposible», afirmación por cierto bien difícil de entender, cuando le habría bastado aplicar al eje del Sol el movimiento que Copérnico aplicaba a la Tierra o, más sencillamente aún, el resultado de la experiencia con que había probado cómo este último podía mantenerse paralelo a sí mismo en su movimiento de traslación alrededor del Sol. El verdadero juicio del valor exacto de estas pruebas lo formula con toda precisión otro gran astrónomo, italiano por cierto, y gran admirador de Galileo, G. Schiaparelli, al decir que «es cierto que todo ello no constituía una demostración rigurosa del sistema heliocéntrico o copernicano, demostración—añadía—que por lo demás ninguno podía dar antes de Newton y en tanto que la investigación se mantuviese dentro de los límites de la Geometría pura, sin dar entrada a algún principio físico». Esto es lo que precisamente hacía falta: el recurso a algún principio físico que permitiese entre las dos interpretaciones geométricas de los fenómenos cuál era la verdadera y cuál debía rechazarse. Galileo mismo había visto su necesidad cuando había afirmado que la explicación de Tolomeo, aunque podía satisfacer a un astrónomo puramente matemático (es decir, geómetra), no podía bastar para un astrónomo filósofo. Pero no contó con suficientes elementos de juicio para encontrar dicho principio: lo buscó, sí, pero en una dirección equivocada, en el fenómeno de las mareas, que no podía conducirle a nada; y lo más notable es que, preocupado quizás por él, no explotó el verdadero filón que sin duda conoció, las leyes de

Kepler, que le habrían podido llevar al resultado apetecido, como llevaron más tarde a Newton. Pero por lo visto no estaba todavía en sazón el ambiente científico que rodeaba a Galileo para que tal conclusión pudiese germinar en su mente: tanta verdad es que no es el adelanto científico obra de un solo día ni de un solo hombre, y que aun los mayores genios no pueden nunca gloriarse de haber hecho una obra completa, sino sólo de haber contribuído con su aportación a lo que únicamente se plasma como resultado de los esfuerzos de muchas generaciones. Y con eso pasemos ya a la exposición y examen de la tercera prueba aducida por Galileo, considerada por cierto por él como una de las más sólidas y objeto de largas meditaciones y esmerados escritos, la basada en el fenómeno de las mareas.

Por primera vez lo expuso en el opúsculo *Discorso del flusso e refluxo del mare*, que compuso en 1616 en Roma a instancias del Cardenal Orsini, precisamente en vistas a su primer proceso. Según Galileo, la única explicación posible del fenómeno es el doble movimiento de la Tierra alrededor de su eje y en torno del Sol que hace que aunque el centro del planeta se mueva uniformemente alrededor del Sol, los diversos puntos de la superficie terrestre están animados en cada instante de velocidades muy diversas, según que los sentidos de tales movimientos sean coincidentes u opuestos. Comienza por advertir Galileo que no consiste el flujo y el reflujo en una dilatación y contracción de las aguas del mar, sino en un movimiento local de las mismas, cuya causa con todo no se ha de buscar como en los ríos en una inclinación del fondo. Es evidente que ni los vientos ni las tempestades pueden dar razón de un fenómeno que se repite con toda regularidad. Mucho mejor lo recuerda el movimiento de un fluido en un recipiente que oscila horizontalmente a un lado y otro. Si, por ejemplo, se tiene una vasija llena parcialmente de agua y se la pone repentinamente en movimiento, no puede el agua seguirlo en seguida: de resultas se eleva en la pared posterior del recipiente, mientras se baja otro tanto en la anterior. Sólo después de una porción de oscilaciones queda lentamente en reposo. Asimismo, si por un obstáculo cualquiera se separa de pronto el recipiente puesto en movimiento regular, ocurre al revés de antes: el agua se le-

vanta hacia adelante y aun llega a veces a derramarse, según lo brusco de la parada.

Pues bien, Galileo aplica esta comparación al flujo y reflujo del mar al modo dicho. Los mares son los recipientes. De resultas del doble movimiento de la Tierra varía la velocidad de los diferentes puntos de la superficie de los mares, de modo que en cada uno de ellos, según que los dos movimientos se verifiquen en un instante dado en un mismo sentido o en sentido contrario, el movimiento de traslación alrededor del Sol resulta acelerado o retardado. De aquí el ir y venir de las aguas, que designamos con los nombres de flujo y reflujo, según que se trate de la subida o bajada del mar. Como el efecto se conoce por la experiencia—concluye Galileo—con derecho se deduce de él la causa, o sea el doble movimiento de la Tierra. Sin él el fenómeno de las mareas no podría tener lugar de modo alguno.

Se ve en seguida que de ser cierta tal explicación, en cada punto de la Tierra habría una sola marea diaria, con pleamar al mediodía y bajamar a media noche. Ahora bien, como la experiencia muestra que hay dos y que la hora se corre de un día para otro, Galileo no pudo menos de tomar en consideración tan grave dificultad, que sus mismos amigos, como Campanella y Fray Fulgencio Micanzio, eran los primeros en objetarle. De aquí que antes de formular de nuevo esta prueba en sus *Diálogos* de 1631 la considerase largamente y la enriqueciese en atinadas reflexiones y modificaciones, fruto de los informes que diligentemente recogió y que bien a las claras reflejan el genio de su autor; pero por desgracia creyó salvar suficientemente los escollos con solos estos retoques secundarios y de resultas dejó casi igual la contextura de su argumento. En su 4.º *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo* presenta Galileo a Salviati lamentándose de no tener personalmente un mayor conocimiento experimental del fenómeno de que se trata y de verse por tanto obligado a fiarse de informaciones ajenas, que por desgracia están lejos de estar tan acordes como sería de desear; pero cree con todo estar en posesión de suficientes materiales para poder deducir de ellos consecuencias seguras. Distín-gue entonces en las mareas tres periodos principales: el diurno, el más conocido e importante de todos, en virtud del cual las aguas suben y bajan cada seis horas dos veces en el día; el

mensual, dependiente del curso de la Luna, y que consiste en una intensificación o debilitación periódica del efecto antes descrito con la posición de la Luna; y el anual, semejante al segundo, pero que depende del Sol, dejándose sentir sobre todo en las épocas de los equinoccios y los solsticios. Después de describir las modalidades del fenómeno en el conjunto del Mediterráneo y en sus diversas partes, y excluir una serie de causas de las mismas, a todas luces insuficientes, que quizás algunos autores de la época habrían asignado, explica el período diurno como en 1616, empleando el ejemplo del movimiento de una barca semillena de agua, en que ésta ejecuta una serie de vaivenes pendulares, antes de llegar a adquirir el movimiento de la embarcación. Cita luego una serie de causas secundarias de los fenómenos de las mareas, que tienden a disimular los efectos sencillos que postularía la teoría pura, las más de ellas, acertadas. Así el movimiento pendular de las aguas antes citado; la situación y disposición de cada mar, en especial la orientación de su línea de mayor longitud, su extensión y sus diferencias de profundidad, impedimentos principales que se oponen al deslizamiento de las aguas; el influjo de las desembocaduras de los grandes ríos; los vientos fuertes; por último, el que en los mares de gran extensión no puede ser la misma la aceleración o retraso del movimiento en todas sus partes. Todo ello lo utiliza Salviati para explicar por qué en las lagunas y mares interiores no llega el fenómeno a su pleno desarrollo y asimismo por qué se observa en el Mediterráneo dos veces al día la marea y no una sola como su teoría pediría y él cree que se verifica en el Atlántico. Refuerza su argumentación con el ejemplo del mar Rojo, en que a su juicio no se nota marea alguna de resultas de su orientación de Norte a Sur, en vez de Este a Oeste. Teniendo en cuenta las causas citadas llega a creer posible calcular todas las particularidades de la marea en los diversos puntos de las costas del Mediterráneo.

Para explicar el período mensual afirma Salviati que la Tierra experimenta mensualmente un aumento y una disminución de su velocidad media, tanto en su movimiento de rotación sobre su eje, como en el de traslación alrededor del Sol. Para explicar el origen de estas variaciones recurre al ejemplo de los relojes de pesas entonces en uso, los cuales estaban provistos

de varillas horizontales oscilantes o balancines, en los que, para acelerar o retardar las oscilaciones, se acercaban o alejaban del centro las esferas de plomo que se encontraban en su extremo. Cita también el péndulo libre, en que la duración de las oscilaciones depende de la distancia desde el peso al punto de suspensión, y los movimientos de una esferita dentro de otra mayor hueca, cuando se deja rodar desde una altura dada. Pasando entonces a la aplicación de los ejemplos dichos, dice Salviati que si, guardando la Luna el mismo impulso que actualmente posee, se acercase a la Tierra, giraría a su alrededor con mayor rapidez y al contrario si se alejase. Ahora bien, como la Luna es la perpetua compañera de la Tierra, el sistema Tierra-Luna, puede mirarse hasta cierto punto como el peso de un péndulo, el cual, de resultas de que la Luna unas veces se encuentra entre la Tierra y el Sol y otras del otro lado, se desplaza en cierto modo arriba y abajo. El resultado ha de ser una variación de la velocidad de las oscilaciones y por tanto una influencia sobre el movimiento de giro de la Tierra en torno del Sol, que se traduce en la intensidad del flujo y reflujo. A la pregunta de Sagredo si los astrónomos han notado realmente una irregularidad mensual de este género en el movimiento de la Tierra en torno del Sol, contesta Salviati que tales constataciones se hacen en Astronomía muy lentamente y que, como probablemente todavía no se ha pensado quizás en buscar tal irregularidad, es lo más fácil que no se haya aún notado.

Respecto del tercer período, el anual, confiesa Salviati que es sumamente difícil explicarlo; confía con todo poderlo hacer recurriendo a la inclinación del eje terrestre respecto del plano de su órbita, de resultas de la cual una mitad del ecuador cae por encima de dicho plano y la otra mitad por debajo. En la época de los solsticios la línea de intersección de ambos planos es paralela a la dirección de la órbita, en tanto que en la parte de los equinoccios le es perpendicular. Esto podría producir la diferencia observada, aunque confiesa Salviati que la cosa no queda clara.

Fácil sería hacer notar los numerosos errores contenidos en esta explicación que, como dice Gunther en el tomo III de su *Geofísica*, «no está evidentemente a la altura de las demás producciones de la renombrada obra de Galileo», y su gran admi-

rador, Bertrand, lamenta en *les Fondateurs de l'Astronomie Moderne* «que le diese cabida en uno de sus mejores escritos». Quizás podrían también excusarse poniendo de relieve los contenidos en otras explicaciones de sus predecesores o contemporáneos; pero, como notan Arago, Carrara, Müller y otros autores, lo verdaderamente extraordinario del caso es, como ya hemos dicho, que explicación tan apriorística la propusiera el fundador de la Física experimental y se empeñara en presentarla como el más poderoso argumento en favor del sistema de Copérnico, sobre todo cuando después de quince años de recibir informaciones, tuvo que reconocer por lo menos que las causas secundarias llegaban a enmascarar tan por completo lo que él consideraba efecto primario, que éste era poco menos que inobservable, y por tanto toda la demostración se reducía a una pura elucubración teórica. Un momento hay en el 4.º *Diálogo* en que parece va a aportarse una prueba verdadera, y es aquel en que arguyendo Simplicio, al fin de la explicación del período diurno, que, de ser ello como Salviati dice, se debería notar también el efecto de la rotación terrestre en la atmósfera y resultar cada día un vendaval en cada punto, con viento a unas horas del Este al Oeste y a otras del Oeste al Este, según la posición de cada lugar respecto del Sol y el centro de la Tierra, dice Salviati que efectivamente tal efecto se observa en los vientos llamados de *Passat*, que sobre todo en las regiones tropicales producen en el Océano un continuo desplazamiento de masas de aire de Este a Oeste, alusión evidente a los alisios; pero lo bueno de la réplica queda en seguida diluido en una serie de consideraciones que allí mismo se hacen, entre otras que el aire, por razón de su menor peso, tiene menos conexión con la porción sólida de la Tierra y toma por lo tanto menos parte en sus movimientos.

Terminan con la expuesta las pruebas aducidas por Galileo para probar positivamente la verdad del sistema de Copérnico. Aún insinúa al fin de su 4.º *Diálogo* la que espera se deducirá con el tiempo de la observación de la paralaje anual de las estrellas fijas y la que podría sacarse de un corrimiento progresivo de la línea meridiana, observado, según dice, por su amigo Marfili en Bolonia, pero las deja simplemente apuntadas. Considerándolas de nuevo en conjunto vemos que la única respues-

ta posible a la pregunta que nos hemos formulado unas páginas más arriba, de si había logrado o no probar el sistema de Copérnico, es la que hemos citado de Scriaparelli. Con todo, aunque no lograrse dar de él una demostración rigurosa, es cierto que logró hacerlo sumamente probable, mostrando de tal manera hasta qué punto explicaba con mayor facilidad las apariencias sensibles que el de Tolomeo que no fueron pocos los que gracias a él se sintieron inclinados a admitirlo, o por lo menos a tomarlo mucho más en consideración que antes.

Con todo, hay que confesar que bajo este mismo aspecto se detuvo Galileo a medio camino y aun en su explicación del período mensual y anual de las mareas lo desanduvo en cierto modo; pues ni se desembarazó de los restos de epiciclos y excéntricas, que había conservado todavía Copérnico, ni dejó de considerar los movimientos planetarios circulares y uniformes, ni de admitir una especie de trabazón rígida entre la Tierra y el Sol o la Tierra y el espacio celeste. Todo habría podido simplificarlo con apoyarse en las leyes de Kepler, que ciertamente pudo y aun quizás tuvo que conocer, como se deduce de la carta que su autor le escribió el 19 de abril de 1610, rogándole le diese su opinión sobre su *Astronomia Nova* y reanudase la correspondencia científica que con él había comenzado doce años antes; y asimismo del pasaje del 4.º *Diálogo*, en que a propósito de la lentitud con que avanzan los cálculos astronómicos, claramente se refiere Galileo a esta obra de Kepler *Astronomia Nova seu de motibus Stellae Martis*. Y, sin embargo, siempre se expresa Galileo como si no tuviese de ellas la más mínima sospecha. No han faltado autores, que hayan insinuado la posibilidad de una omisión consciente, fruto de la rivalidad, apoyándose en que la única vez que se cita explícitamente Galileo a Kepler es para tratar de pueril su opinión sobre las mareas, y aduciendo aquellas otras palabras del astrónomo de Pisa que a propósito del autor del primer tratado de Magnetismo, Gilbert, dijo que «era tan grande que llegaba a excitar la envidia»; pero como nota muy bien el P. Linsmeier, S. J., en *Natur und Offenbarung*, XLII, 152, en modo alguno es lícita una tal imputación contra un hombre de la grandeza de Galileo, si no es por motivos muy fundados, motivos que ciertamente no existen en este caso, pues fácil es ver por toda su

correspondencia hasta qué punto estimaba Galileo al gran astrónomo alemán. El P. Vrégille, también jesuita, se inclina a otra explicación que no deja de tener algunos visos de verosimilitud: Galileo dejó de apoyarse en las leyes de Kepler por parecerle poco conveniente aducir en los procesos que le siguió la Inquisición argumentos de un protestante. Respetando el parecer de tan eminente escritor, creemos que esta razón podría valer a lo más para el momento mismo de los procesos, pero no para los años que le precedieron; y además no parece resultase muy peligroso el citar a Kepler, pues sabido es que, aunque protestante, ocupaba un cargo oficial en la Corte católica del Emperador y siempre estuvo en perfectas relaciones con la Iglesia Católica, a propósito de cuyas decisiones no dejó de expresarse con toda consideración y respeto, aun con ocasión de los mismos procesos de Galileo y la prohibición de su libro *Epitomes Astronomiae*. A nuestro juicio, la razón hay que buscarla en la indole misma de Galileo, esencialmente diversa de la de Kepler. Era éste esencialmente astrónomo y como tal, matemático: sus leyes no resultan de ningún principio físico, sino que son consecuencias deducidas de las observaciones a través de cálculos interminables. Galileo, por el contrario, era ante todo físico y, por tanto, su acción en el campo de la Astronomía roza siempre más el aspecto astrofísico: los cálculos largos no le retraen, pero ciertamente no les da importancia hasta el punto de anteponerlos a otras elucubraciones; de aquí que, fuera del caso de las tablas de los satélites de Júpiter, los difiera siempre para mejor ocasión, a fin de poderse entregar a otras investigaciones. Esto supuesto, es muy posible que las leyes de Kepler le hubiesen interesado sólo accidentalmente. Así parece por lo menos poderse deducir de la carta que escribió el 19 de noviembre de 1634 a su discípulo el Servita Fray Fulgencio Micanzio, después de la muerte del gran astrónomo alemán: «Yo siempre he tenido en gran aprecio a Kepler como un pensador libre (quizás a veces demasiado libre) y agudo; pero con todo, mi manera de filosofar es completamente diferente de la suya. Puede ocurrir ciertamente que al tratar un mismo tema, en particular al hablar del movimiento de los cuerpos celestes... coincidamos en las ideas; pero que una misma cosa la probemos de la misma ma-

nera, eso de cada cien veces ocurrirá solamente una». Eso no es decir que Galileo no fué astrónomo; es tan vasto el campo de esta Ciencia, que puede cultivarse bajo muchos aspectos, y en todos hacer obra meritisima. La de Galileo fué de gran importancia, como lo fué la de Kep'ler; y si bien para la definitiva construcción del edificio astronómico riguroso moderno la de este último fué más fecunda en resultados, es innegable que al movimiento general de investigación fué la de Galileo la que imprimió mayor dinamismo. Con razón escribía Kepler en su *Dioptrice*, hablando de la invención del telescopio: «¡Oh casi omnisciente antejo, más precioso que cualquier cetro real! El que te tiene en su diestra es un verdadero Rey y un dominador del mundo...» Y en su *Galileo Galilei* se hacía eco el antiguo Director del Observatorio del Janículo, P. Adolfo Müller, S. J., al escribir que «entre todos los astrónomos fué Galileo el primero a quien fué concedida esta felicidad sin igual de ostentar este cetro en sus manos.»

III

LOS PROCESOS DE GALILEO

Con lo que antecede deberíamos dar por terminado este somero estudio sobre la obra astronómica de Galileo; pero es tan frecuente a propósito de la misma encontrar en libros de Historia de la Física y de la Astronomía y aun en libros propiamente científicos expresiones tan inexactas sobre la verdadera índole de los procesos a que el gran astrónomo se vió sujeto, que creeríamos dejar incompleto este trabajo si no tratásemos de encuadrar tales procesos en su verdadero marco y precisar sus puntos de contacto con la obra científica de Galileo propiamente dicha.

No tratamos de repetir su historia ni mucho menos justificar la sentencia pronunciada sobre todo en el primero, a todas luces equivocada; pero sí deseamos hacer notar que tal fallo no fué fruto en modo alguno de una oposición sistemática de la Iglesia Católica al progreso científico y en especial al sistema heliocéntrico; que si fué pronunciado, no fué a consecuencia

de la actividad científica del gran astrónomo, sino por haber derivado la polémica al campo escriturístico y teológico; que dados los adjuntos y circunstancias de la época, es enteramente comprensible; y que, por último, en modo alguno cohibió el cultivo y el adelanto de la Astronomía en las naciones obedientes a las normas de la Iglesia.

No solamente no se oponía la Iglesia Romana a la difusión de las ideas heliocéntricas, gloria al fin y al cabo suya, como fruto del ingenio de uno de los más ilustres miembros del clero de Polonia y Alemania, el canónigo de Frauenburg, Nicolás Copérnico, sino que hasta el momento del proceso de Galileo se les había mostrado favorable. En Roma mismo, un siglo antes de la condenación del gran astrónomo de Pisa, el Canciller Alberto Widmanstetter había sido invitado a dar una conferencia en los jardines del Vaticano para explicar a la Corte Pontificia en presencia de Clemente VII *Copernicanam sententiam de motu telluris*, la opinión de Copérnico sobre el movimiento de la Tierra, y la exposición había sido tan del agrado del Pontífice, que la había premiado regalándole un precioso códice griego de Alejandro Afrodisio, hoy día conservado en la Biblioteca de Munich. En el antiguo edificio de la Specola Vaticana, en la misma escalera de entrada, hay todavía una inscripción en mármol que casi con las palabras mismas de Widmanstetter recuerda el hecho. Tres años más tarde, en 1536, el Cardenal Arzobispo de Capua, Nicolás Schonberg, O. P., dirigía a Copérnico, «de cuyos méritos desde hacía algunos años todo el mundo le hablaba», una carta sumamente laudatoria, rogándole le enviase su obra o a lo menos permitiese sacar copia de la misma, sufragando los gastos el Cardenal, a Teodoro de Reden, «deseoso también de conocer cuanto antes obra de tan gran mérito». Copérnico mismo cuenta al principio de su obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium* que quien le decidió a publicarla, venciendo todas sus repugnancias, fué su excelente amigo, el Obispo de Kulm, Tiedemann Giese, el cual se hizo cargo del manuscrito y cuidó personalmente de buscar impresor justamente con Rheticus, uno de los discípulos predilectos de Copérnico. Pero lo más significativo es que al dedicarse por fin a dar la obra a luz, la encabezó Copérnico con una carta dedicatoria al Sumo Pontífice Paulo III, precisamente para po-

ner'a a cubierto bajo su alto patrocinio de los ataques que contra ella se podían esperar de los prejuicios de algunos. «Vuestra autoridad y vuestro amor por las Ciencias en general y por las Matemáticas en particular—decía Copérnico—me servirán de escudo contra los detractores pérfidos y malignos, a pesar del proverbio que dice que contra la mordedura del calumniador no hay ningún remedio.» Es sabido con cuánta complacencia aceptó la dedicatoria Paulo III, y no se diga que lo hizo porque la teoría de Copérnico se presentaba como hipotética, pues aunque es verdad que en este sentido se expresa el impresor Andrés Osiander en la nota preliminar que añadió por cuenta propia, es lo cierto que toda la contextura de la obra y más en particular la carta dedicatoria a Paulo III no deja duda alguna sobre el hecho de que Copérnico consideraba su sistema como el único verdadero, y en tal sentido dictaminó también la Sagrada Congregación del Índice en su decreto de prohibición de 1620.

De los doce Papas que sucedieron a Paulo III, desde Julio III a León XI, ninguno molestó para nada a los que profesaban las teorías copernicanas, y en particular Clemente VIII habló de ellas con positivo elogio. En fin, ¿qué mejor testimonio que el del mismo Kepler, que a pesar de ser protestante, reconocía en carta de 28 de marzo de 1605 la sabiduría y prudencia de la Iglesia Romana, que, mientras condenaba la Astrología, dejaba a cada uno en libertad de opinar lo mejor que le pareciese sobre el sistema de Copérnico? Y lo mismo certifica en varias otras cartas, a propósito de los Consejeros Católicos del Emperador de Alemania.

Por lo demás, no hacía en eso la Iglesia más que mostrarse consecuente con la opinión de sus grandes Maestros y la conducta por ella misma observada durante siglos. En pleno siglo XIII, en su *Comentario a Aristóteles De Coelo et Mundo*, II, y en la *Suma Teológica*, parte 1.^a, cuestión 32, art. 1.^o ad 2m., había escrito Santo Tomás: «En la ciencia de los astros se expone la teoría de las excéntricas y epiciclos, porque con ella se salvan las apariencias sensibles de los movimientos celestes..., pero no conviene sostener que estas suposiciones son verdaderas, porque quizás tales apariencias de las estrellas se puedan salvar de alguna otra manera, todavía no comprendida por los hombre.» Dos siglos más tarde el Cardenal Nicolás de Cusa

había sido en cierto modo precursor de Copérnico en su obra *De docta ignorantia*, elogiando francamente el sistema heliocéntrico de Pitágoras. En una de sus cartas, conservada en la Biblioteca del Hospital de Cusa y publicada por vez primera por el Prof. Clemens en 1874, se lee textualmente: «Pienso que esta Tierra no puede estar fija, sino que se mueve como las demás estrellas; por lo cual gira una vez en el día y en la noche sobre los polos del mundo.» En 1520 el docto Canónigo Celio Calcagnini, gran amigo y admirador de Copérnico, daba a luz en Ferrara una disertación con el título *Quod Coelum stet, Terra moveatur*, sin que nadie le molestase lo más mínimo. Y, en fin, por no hacernos interminables, «España—como dice en sus *Elementos de Geografía Astronómica y Física*, Madrid, 1828, el coronel de Ingenieros D. Antonio de Montenegro—puede vanagloriarse de haber sido una de las primeras naciones que adoptaron este sistema (el heliocéntrico), pues en los Estatutos de la Universidad de Salamanca de 1592 se mandó explicar el libro de Copérnico *De Revolutionibus Orbium*, en donde este sabio astrónomo declaró su sistema; y aún ocho años antes ya lo había defendido el P. Zúñiga en su *Comentaria in Job*, impreso en Toledo en 1584». Y no es preciso advertir que las enseñanzas de Salamanca eran evidentemente conformes al sentir de los católicos más ortodoxos.

Con lo que precede no se intenta afirmar, naturalmente, que todos los Profesores católicos, ni siquiera la mayoría, abrazasen desde un principio las doctrinas de Copérnico, ni negar que existiesen muchos adversarios de las mismas. Bastaría para probar esto último citar la carta de Galileo a Kepler de 1597, en que le confiesa no haberse decidido hasta entonces a exponer las pruebas que había hallado en favor del sistema de Copérnico, por temor a los ataques y burlas de que se le podría hacer objeto. «Me atrevería ciertamente a publicar mis ideas si hubiese muchos como tú; pero como no es así, dejaré correr este asunto...» Pero lo que sí hay que notar es que los contradictores obraban a título de sus opiniones particulares; y en todo caso la oposición no fué privativa de los Maestros católicos, sino común con los protestantes de todas las sectas. El mismo Lutero en sus *Coloquios*, publicados y anotados por Fürstemann y Bindseil, tomo IV, pág. 375, trata a Copérnico

de necio y le echa en cara que quiere echar a perder toda la ciencia astronómica; y Melanchton en su *Initia doctrinae physicae*, tomo XIII de la edición de sus obras por Bretschneider, p. 292, después de declararse partidario de las hipótesis de Tolomeo, «que comprobadas por el testimonio de tantos siglos no deben dejarse temerariamente», afirma que «publicar abiertamente opiniones absurdas [como las de Copérnico] no es honesto y daña mucho por el mal ejemplo». En una carta particular de fecha 16 de octubre dice asimismo que «algunos piensan ser egregio expediente defender cosas tan absurdas, como hizo aquel astrónomo Sármata, que puso en movimiento a la Tierra y dejó al Sol fijo». Pero no es preciso multiplicar los ejemplos para probar hasta qué punto es injusto achacar a solos los católicos la defensa del sistema de Tolomeo. Baste por todos el de aquel predicante de Wittemberg, citado por el P. Juan Lorino, S. J., que en 1589, después de asegurar que la nueva Astronomía no era sino «una obra miserable, contraria a la enseñanza de la Escritura y por lo mismo condenada ya por Lutero», añade: «El Anticristo de Roma juntamente con los jesuitas quiere [por su medio] insinuarse solapadamente, sirviéndose para ello de aquella hechura de Satanás, que es la razón, y de esta manera deshacer desde los fundamentos cuanto ha sido establecido y ordenado por la palabra divina». ¿No es acusarlos precisamente de todo lo contrario de lo que más tarde se ha pretendido echarles en cara?

Durante los primeros años de las enseñanzas de Galileo en pro de las teorías copernicanas, la situación continuó siendo la misma. Ciertamente desde el primer momento se vieron sus ideas impugnadas por muchos sabios de la época y aun corporaciones científicas; pero tanto si se las combatía en nombre de las doctrinas peripatéticas tradicionales, como de la Sagrada Escritura, eran los ataques mera expresión de opiniones particulares. Así, por ejemplo, cuando descubrió los satélites de Júpiter, mientras unos, como Kepler, exteriorizaban su entusiasmo por el gran paso dado por la Astronomía, llegando a repetir, con el sentido cambiado, la histórica frase de Juliano el Apóstata «¡Venciste, Galileo!», otros le tachaban de visionario. Una Academia entera, la de Cortona, pretendía que los satélites eran una simple ilusión óptica producida por el anteojo; lo mismo

se dice en los escritos de Sizzi; y por el mismo Galileo sabemos que el profesor de Filosofía de Pisa, Julio Libri, nunca quiso mirar por el telescopio, por no ver los planetas Mediceos; lo que le hacía decir humorísticamente al gran astrónomo, al enterarse del fallecimiento de su antagonista, «confío que ya que no quiso nunca verlos en la Tierra, los habrá contemplado en su subida al Cielo». Hasta en nombre de la Astrología se atacó a Galileo, como lo hizo Horcky, que no creía en la existencia de los satélites, porque no veía para qué podrían ser útiles en la confección de horóscopos.

¿Cuál era a todo esto la actitud de la Iglesia y de modo particular de los jesuitas, a cuya influencia ha sido costumbre atribuir las persecuciones del gran astrónomo? Ciertamente que en los primeros momentos el célebre P. Cristóbal Clavio, el principal autor del Calendario Gregoriano, creyó los satélites una simple ilusión óptica, cosa menos incomprensible si se repara en que los primeros telescopios, por sus inevitables defectos de construcción, eran asaz rudimentarios por lo que a la claridad y aumento se refiere, y de aquí que ojos fatigados por una observación prolongada pudiesen tomar como reales fenómenos puramente fisiológicos. Con todo desde diciembre de 1610 se declaró Clavio convencido por Galileo, y tanto él como sus discípulos los después célebres astrónomos PP. Griemberger, Maelcote y Lembo, fueron sinceros admiradores suyos. Más en particular fueron los jesuitas del Colegio Romano los que más contribuyeron al resonante éxito del viaje de Galileo a Roma en 1611, organizando en su honor un acto semipúblico, que Galileo presidió desde una especie de trono bajo dosel y al que fueron invitados gran número de Cardenales y Señores de la más alta nobleza romana. Después del discurso inaugural del P. Otón Van Maelcote, en el que afirmó que Galileo debía ser considerado como uno de los más célebres y afortunados astrónomos de su siglo, tomaron la palabra varios jóvenes jesuitas, para ir exponiendo los diversos descubrimientos físicos y astronómicos del homenajeado. Fué uno de ellos el después geógrafo y autor de notables contribuciones al estudio de las secciones cónicas, P. Gregorio de St. Vincent, el cual conservó siempre tan vivos recuerdos de aquella sesión memorable, que cuarenta años más tarde contaba en carta a su gran amigo Huy-

ghens, cómo en ella había expuesto la prueba de que Venus gira en torno del Sol y no de la Tierra *non absque murmure philosophorum*, no sin murmullos (verosíblemente de protesta o asombro) de los filósofos peripatéticos invitados. Con tales valedores y con los informes que de la verdad y exactitud de los descubrimientos de Galileo elevaron los Profesores del Colegio Romano a las Autoridades Eclesiásticas, se multiplicaron sin duda los honores y atenciones de que Galileo fué objeto por parte de numerosos Cardenales y Prelados y aun del mismo Sumo Pontífice Paulo V, quien le recibió muy afablemente en audiencia privada, de todo lo cual se congratula Galileo en su carta de 22 de abril de 1611.

Ahora bien, supuesto este estado de cosas, ¿cómo explicarse el cambio que se obró en la situación y los procesos de 1616 y 1613? La respuesta es clara: en 1616 la controversia había salido del terreno puramente científico, para invadir el teológico y escriturístico, y lo que es peor, no de una manera privada y accidental, como de hecho había tenido ya lugar entre Copérnico y Kepler por una parte y algunos de sus contradictores por otra, sino exprofeso y oficialmente. Este fué el paso fatal dado por Galileo: dejarse sacar de su propio terreno, para ir a combatir en otro, en que, por muy diestramente que esgrimiese sus armas, no podía menos su actitud de resultar sospechosa, en una época en que tantas herejías brotaban al socaire de la interpretación de la Biblia, y en que de dichas herejías tantas revoluciones y aun guerras resultaban.

Contra lo que suele afirmarse, no fué el dominico P. Tomás Caccini el que motivó la polémica: su sermón tristemente célebre en Sta. María Novella, de Florencia, fué pronunciado en el adviento de 1611. Entonces hacía ya casi un año que Galileo había escrito a su discípulo y amigo el benedictino Dom Castellí su célebre carta sobre las relaciones del sistema de Copérnico con la Sagrada Escritura, fechada el 21 de diciembre de 1613.

Los primeros en promover la cuestión fueron dos seglares. El primero, Francisco Sizzi, era un noble florentino, que fingiéndose un monje, publicó ya en 1611 en Venecia su *Διευκρίτιστην αστρονομικα, οπτικα, φυσικα*, en que negaba la existencia de los satélites de Júpiter, invocando entre otras razones de índole más

o menos científica, el que Pico della Mirandola, basándose en una interpretación de los Rabinos, veía en los candélabros de los Siete Brazos, de Moisés, una alusión a los siete planetas, por lo que éstos no podían ser más en número. La impugnación del segundo, Ludovico delle Colombe, asimismo letrado florentino, contenida en su tratado *Contra il moto della Terra*, era ya mucho más seria y extensa. Aunque el escrito de Sizzi no produjo en el ánimo de Galileo impresión alguna y de resultas no le fué difícil seguir el consejo de Kepler, que le escribió exhortándole a no perder el tiempo en reputar tales cosas, que ninguna influencia sería podían ejercer, no así el de Colombo (como Galileo acostumbra a llamarle). Sus objeciones le hicieron tanto mayor mella, cuanto que por el contexto se veía que el autor tenía a Galileo en alto aprecio y no le arguía por ningún móvil menos digno, sino realmente por las dificultades que en su ánimo encontraba contra el sistema de Copérnico. Galileo escribió para pedir orientación al Cardenal Conti, con quien le unían lazos de amistad. Aunque la carta se ha perdido, puede deducirse su contenido de la respuesta del Cardenal, fechada el 7 de julio de 1612. Se ve por ella que Galileo había preguntado al Cardenal si la Sagrada Escritura favorecía o no a los principios de Aristóteles sobre la constitución del Universo y más en particular si le parecía contraria al movimiento de la Tierra. Contestaba el Cardenal que «los puntos discutidos, donde se habla del movimiento del Sol junto con la bóveda celeste, podrían referirse a la manera habitual de expresarse de la gente; pero que sin verdadera necesidad no se podría admitir tal opinión» y terminaba diciendo que «esto era cuanto por el momento podía decirse» y rogando a Galileo que le escribiese de nuevo si algo más sobre esta cuestión se le ofrecía.

Es una verdadera pena que Galileo no adoptase la línea de conducta que lógicamente fluía de la carta del Cardenal Conti: crear, a fuerza de pruebas convincentes de orden estrictamente científico, esa verdadera necesidad, de que el Cardenal hablaba. Ruegos y avisos en este sentido no le faltaron durante aquel tiempo, entre los que sobresalen las dos cartas de Mgr. Ciampoli, uno de sus más fieles amigos, de 28 de febrero y 21 de marzo de 1615, en que le transmite el parecer del Cardenal Barberini, después Urbano VIII, en la primera, y de los Car-

denales del Monte y San Roberto Belarmino en la segunda, los cuales a una le aconsejaban no se saliese de los límites astronómicos, físicos y matemáticos, sin entrar en el terreno de interpretaciones bíblicas, «con lo que no experimentaría contradicción ninguna» de parte de las Autoridades Eclesiásticas. Lo mismo le decía Mgr. Dini en carta de 7 de marzo del mismo año, enterándole de la opinión expresada por el P. Griemberger, Profesor de Astronomía del Colegio Romano, al Cardenal San Roberto Belarmino, que era de desear que Galileo demostrase científicamente sus asertos, antes de comenzar a hablar de la Sagrada Escritura.

Por desgracia en el ánimo de este último pesaron más las provocaciones de sus adversarios y así de resultas de los ataques dirigidos a base de la Sagrada Escritura al P. Castelli, en la desde entonces famosa comida en el Palacio del Gran Duque de Toscana del 12 de diciembre de 1613, por el Profesor Boscaglia, de la Universidad de Pisa, escribió el 21 del mismo mes su conocida carta al P. Castelli, sobre la interpretación de los textos bíblicos, prontamente difundida por numerosas copias; y por fin dos años más tarde dió a luz un opúsculo en el mismo sentido, dedicado a la Duquesa M.^a Cristina de Lorena, madre del Gran Duque de Toscana. La discusión escriturística estaba ya públicamente planteada y la cuestión sacada enteramente de quicio. La situación se agravó todavía con la aparición de otras dos obras dedicadas a la interpretación que debía darse a los textos bíblicos: una del Carmelita Pablo Antonio Foscarini y otra del agustino Fray Diego de Zúñiga, ambas favorables a las nuevas tendencias. De todas partes comenzaron a elevarse reclamaciones de teólogos y escrituristas, y si se mira la cosa desapasionadamente, habrá que convenir en que no les faltaba cierta razón en una época en que, como ya hemos dicho, tantas herejías aparecían todos los días basadas en el libre examen y la interpretación de la Biblia y en que no eran su única consecuencia errores doctrinales y relajación de costumbres, sino guerras feroces que ensangrentaban el suelo de media Europa y de las que a todo trance se quería preservar a los países todavía no afligidos por tan terrible azote. Así fué cómo la Inquisición, que hasta entonces, hay que decirlo, no había querido inquietar a Galileo por una serie de denuncias recibi-

das y se había contentado con algunas informaciones secretas, se vió forzada a intervenir oficialmente en el asunto; con lo que comenzó el primer proceso de 1616, en el que no hay que olvidar que la cuestión personal de Galileo pasó por completo al segundo plano, para discutirse sobre todo la de la interpretación de los textos controvertidos.

Ya hemos dicho que no pretendemos en modo alguno justificar la desgraciada sentencia del 24 de febrero de 1616, evidentemente equivocada y a todas luces excesiva, pues en la cuestión debatida, bastaba condenar la libertad de interpretación bíblica, sin necesidad de herir con censuras las mismas doctrinas astronómicas. Pero lo que sí hay que reconocer es que no fué la sentencia tan hija de la ignorancia como tantas veces se ha dicho, y que dadas las circunstancias de la época, una vez planteada la cuestión en esta forma equivocada, apenas podía ser otra. Como en 1612 el Cardenal Conti, también San Roberto Belarmino, poco antes de comenzar el proceso, había puntualizado perfectamente cómo debía juzgarse el asunto, en carta de 12 de abril de 1615 al P. Foscarini, que le había pedido su parecer: «si se llegare a demostrar verdaderamente que el Sol está en el centro del Mundo y la Tierra en el tercer cielo, y que el Sol no gira alrededor de la Tierra, sino ésta en torno del Sol, entonces será preciso andar con mucha consideración al explicar las escrituras que parecen contrarias y antes confesar que no las entendemos que decir que sea falso lo que se demuestra»; y Galileo mismo lo reconocía, cuando escribiendo a Mgr. Dini se expresaba en estos términos: «El modo para mí más expedito y seguro para probar que la posición de Copérnico no es contraria a la Sagrada Escritura, sería mostrar con mil pruebas que es verdadera y que la contraria no puede en modo alguno sustentarse; porque entonces como dos verdades no pueden ser contradictorias, seguiríase que lo demostrado y la Escritura estarían de acuerdo.» Pues bien, ¿con qué elementos de juicio se hallaron los inquisidores? En primer lugar, como ya hemos notado en la segunda parte, Galileo no pasaba de probar la probabilidad del sistema de Copérnico; pero en modo alguno demostraba su verdad con certeza. Más aún, al dar como argumento principal el de las mareas, falso a todas luces, debilita la fuerza de los restantes. Además todos los as-

trónomos de la época estaban contestes en que la prueba clara faltaba, no sólo los jesuitas, como Clavio, Griemberger y Scheiner, sino el mismo Kepler, que a pesar de ser partidario decidido de Copérnico, reconocía que con las pruebas hasta entonces aportadas no quedaba el asunto dirimido: «At nondum ideo vicit Pythagorica ordinatio, ac ne Copernicus quidem expresse plene» «no por eso ha vencido todavía la teoría de Pitágoras ni siquiera Copérnico de manera plena y expresa». Si a lo dicho se añade que en contra del sistema heliocéntrico se levantaba resueltamente la excelsa figura de Tycho-Brahe, uno de los mayores astrónomos que han existido, y fundador con Copérnico, Kepler y Galileo de la moderna Astronomía, ¿cómo pensar siquiera que pudiese el Santo Oficio, esencialmente cauto en sus decisiones, como quien tiene la responsabilidad de custodiar el depósito de la Tradición, abandonar la interpretación entonces corriente de la Biblia y pronunciarse en favor de una modificación, para ponerla de acuerdo con lo que hasta entonces no pasaba de ser una novedad hipotética no plenamente demostrada? Repetimos que la sentencia pecó de excesiva; pero el sentido de la misma no pudo ser otro en aquellos adjuntos.

Por lo demás nunca la consideraron los católicos como una definición dogmática, como de hecho no era, ni creyeron que les cerrase la puerta a ulteriores investigaciones ni a la búsqueda de aquellas pruebas que pudiesen crear la *necesidad penitencia* tantas veces mencionada. He aquí las palabras del célebre selenógrafo P. Riccioli, S. J., en su libro *Almagestum novum*, publicado en 1651: «Como no ha habido sobre esta materia definición alguna del Soberano Pontífice ni de un Concilio dirigido y aprobado por él, no es en modo alguno de fe que el Sol gire y que la Tierra esté inmóvil, a lo menos en virtud misma del decreto» y nueve años más tarde su hermano en Religión, el P. Honorato Fabri, Profesor del Colegio de Lyon y miembro del Tribunal de la Sagrada Penitenciaría, escribía en su *Brevix annotatio in systema saturninum Chr. Hugenii*: «Con frecuencia se ha preguntado a los partidarios de Galileo si podían dar una demostración del movimiento de la Tierra, a lo que ellos nunca han osado responder afirmativamente. Nada, pues, se opone a que la Iglesia tome y ordene tomar en sentido literal los pasajes de la Escritura que le parecen opues-

tos, hasta tanto que la opinión contraria haya sido demostrada. Si vosotros encontraréis esta demostración... entonces la Iglesia no tendrá ninguna dificultad en reconocer que estos pasajes se deben entender en sentido metafórico e impropio», lo cual evidentemente habría sido inadmisibile de tratarse de una definición dogmática, que por su misma naturaleza no puede estar sujeta a rectificaciones.

Hasta aquí por lo que hace a la decisión doctrinal de los dos procesos. En cuanto al trato dado a Galileo no es preciso insistir, pues ha sido ya tantas veces refutada la calumnia de que fué víctima de malos tratos. El primer proceso se llevó por completo en secreto a fin de no perjudicar en modo alguno a su buen nombre. Como resultado del mismo, no se le exigió retractación alguna, sino que simplemente se le intimó, no en público, sino en las habitaciones privadas del Cardenal Belarmino, la orden de no sostener ni enseñar ni defender ni de palabra ni por escrito la teoría copernicana, a lo que Galileo prometió someterse. En el decreto de la Congregación del Índice aparecido el 5 de marzo, se condenaba el libro de Foscanini y se prohibían los de Copérnico y Zúñiga hasta que fuesen corregidos: ninguna mención se hacía en ella ni de Galileo ni de sus obras. Como algunos de sus adversarios esparciesen el rumor de que la Congregación le había impuesto una penitencia y obligado a abjurar como sospechoso de sentimientos poco ortodoxos, San Roberto Belarmino le dió a 16 de mayo el siguiente testimonio: «Nos, Roberto Cardenal Belarmino, habien oído que el Señor Galileo es calumniado y que se le imputa haber abjurado en nuestras manos y habérsele impuesto una penitencia saludable, rogándonos que digamos la verdad, testificamos que el dicho señor Galileo no ha abjurado en nuestras manos ni de otro ninguno en Roma, ni en otro lugar que sepamos, de ninguna de sus opiniones o doctrinas, ni ha recibido penitencia saludable ni de otra ninguna clase, sino que sólo le fué comunicada la declaración hecha por Nuestro Señor y publicada por la Sagrada Congregación del Índice, en la cual se contiene que la doctrina atribuida a Copérnico, que la Tierra se mueve en torno del Sol y que el Sol está inmóvil en el Centro del Mundo sin moverse de Oriente a Occidente, es contrario a la Sagrada Escritura, y, por tanto, no se puede defender ni sos-

tener. Y en fe de esto escribimos y suscribimos la presente, de nuestra propia mano, hoy 26 de mayo de 1616. El mismo de arriba, Roberto, Cardenal Belarmino.» De hecho esta prohibición se interpretó de una defensa del sistema de Copérnico en sentido absoluto. Para sustentarlo como hipótesis, única posición que al fin y al cabo justificaban entonces los argumentos científicos, tanto en 1623 como en 1630 se le concedió en Roma el *imprimatur* para sus obras *Il Saggiatore* y *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*. Casi al mismo tiempo que el Cardenal Belarmino le daba el testimonio que antecede, el propio Pontífice Paulo V le concedió el 9 de mayo una audiencia privada, en que le declaró muy benévolamente que estaba convencido de la rectitud de su intención y le tranquilizó sobre las dificultades que tenía para el futuro de parte de sus adversarios.

Parecida conducta se observó en el proceso de 1633: no nos hemos de detener en él, porque en el mismo no se debatió ya propiamente la cuestión teórica, única que nos interesa desde el punto de vista de la Historia de la Astronomía, sino cuestiones disciplinares de si había infringido Galileo y hasta qué punto la prohibición que en 1616 se le había hecho y él había prometido respetar. Deplorando, como en el de 1616, la sentencia final y la abjuración que se le impuso, bueno es hacer resaltar que por lo que se refiera al trato de que se le hizo objeto, sólo muestras de consideración recibió de parte de sus jueces: en vez de ser internado en una de las celdas del Sto. Oficio, como los demás acusados, incluso Príncipes y Prelados, se le permitió estar detenido en el Palacio del Embajador de Toscana; y cuando, durante los interrogatorios, para evitar dilaciones, tuvo que habitar en los locales mismos de la Inquisición, se le dieron los departamentos del Procurador Fiscal, que contaban de tres buenas piezas y se le permitió tener un criado y que el Embajador de Toscana le enviase cuanto pudiese desear. Por fin, una vez pronunciada la sentencia, se le señaló sucesivamente como lugar de detención el Palacio del Duque de Toscana en Roma, el de su amigo Mgr. Piccolomini en Siena, y, finalmente, su propia villa de Arcetri, junto a Florencia, donde se le dejó en gran libertad por lo que tocaba a sus actividades científicas y a sus relaciones con sus amigos y discípulos.

Queda la acusación, tantas veces repetida, de que fueron los

jesuitas y de modo particular los conocidos astrónomos PP. Horacio Grassi y Cristóbal Scheiner, quienes hicieron condenar a Galileo. Aunque no es éste el lugar a propósito para refutarla, haremos notar que si la lectura desapasionada de sus obras no fuese suficiente para hacer ver que en las del primero no hay otra cosa que una discusión científica, siempre serena y equilibrada, y en las del segundo una defensa, quizás a veces demasiado viva, pero en todo caso legítima contra una injustificada acusación de plagio, deberían bastar, para quitar toda sospecha, estas palabras de una carta enteramente privada del Padre Grassi a un amigo suyo de Pisa, Jerónimo Bardi, datada del 23 de septiembre de 1633, poco después del segundo proceso: «En cuanto a los disgustos del señor Galileo, le digo sincerísimamente que he pasado una gran pena, pues siempre le he tenido mucho más afecto que el que él se ha dignado tenerme a mí; y habiéndome preguntado en Roma el año pasado qué me parecía su libro sobre el movimiento de la Tierra, procuré con todas mis fuerzas mitigar los ánimos mal dispuestos contra él y hacer que viesen la eficacia de los argumentos por él aducidos, hasta tal punto que algunos, que estaban persuadidos de que yo había sido ofendido por el señor Galileo y me creían, por tanto, quizás poco afecto hacia él, se maravillaron de cómo hablase en su favor con tanto empeño». En cuanto al P. Scheiner su único punto de contacto con el segundo proceso es el haber probado en su *Rosa Ursina* que el argumento que Galileo sacaba de las manchas solares no era convincente. Lo que a lo más puede decirse de los profesores del Colegio Romano, es que, de resulta sin duda de las polémicas mencionadas y del ambiente de poca cordialidad creado no tanto con Galileo como con algunos de los que le rodeaban, no le prestaron durante su segundo proceso un apoyo positivo tan decidido, como el que sin duda le habrían prestado de haber continuado en aquellas cordiales relaciones de los primeros años de sus descubrimientos astronómicos.

En su *Histoire abrégée de l'Astronomie*, dice Ernesto Lebon: «Galileo se conquistó el derecho a la admiración de los hombres

por sus grandes descubrimientos; y a su simpatía, porque fué injustamente perseguido.» Suscribimos por completo la primera parte de este juicio; en cuanto a la segunda creemos haber probado que mejor sería decir que lo difícil de los tiempos, en que le tocó en suerte vivir, no permitió que lo sublime de sus concepciones fuese plenamente comprendido por sus contemporáneos y no pudo de resultas, gozar pacíficamente en vida de toda la consideración a que sus descubrimientos le habían hecho acreedor. Vale ello tanto como decir que tuvo que librar rudos combates en defensa de su ideal, y lo que es mucho más arduo, someterse a dolorosas renunciaciones por no desobedecer a sus legítimos superiores jerárquicos, títulos ambos sumamente aptos para conciliarle nuestra simpatía, hoy más que nunca en que se ha vuelto a poner de nuevo en su debido honor la sumisión total del individuo a la Autoridad legítima. Por esto al escribir cuanto antecede, no sólo no hemos creído atentar lo más mínimo a la gloria de Galileo, sino, por el contrario, contribuir a ella, despejando la nubecilla que quizás a más de un científico le ha traído de alabarle francamente, por temor de que sus alabanzas pudieran parecer censuras a Instituciones y personas venerandas.

GALILEO, FUNDADOR DE LA FÍSICA

POR

JULIO PALACIOS

La brillante cultura helénica, de la que nuestra civilización es heredera directa, no podía dejar en olvido el cultivo de las ciencias naturales y, en efecto, cada escuela filosófica tenía su sistema o modo de explicar la constitución del Universo. Sin embargo, las opiniones sustentadas por los filósofos griegos eran tantas y tan variadas que de todos puede decirse que acertaron en algo y erraron en mucho.

Durante la Edad Media prevaleció el sistema aristotélico que, transmitido por los árabes, se enseñó exclusivamente en todas las universidades. La Ciencia actual, que nació a fines del medioevo, tuvo que comenzar por deshacer el prestigio de las ideas de Aristóteles.

Según Aristóteles, todos los objetos del Universo están constituidos por cuatro clases de materia o elementos: tierra, aire, agua y fuego, a cada uno de los cuales corresponde un lugar determinado hacia el que tienden *motu proprio*. El lugar de la Tierra es el más profundo de todos, sigue el reino del agua, encima se encuentra el del aire y luego viene el del fuego, que llega hasta el Sol, la Luna y demás cuerpos celestes. De estos últimos, creía Aristóteles que estaban constituidos por un nuevo y sutilísimo elemento, que llamó la *quinta esencia*.

Es muy frecuente afirmar que el carácter distintivo entre la Física aristotélica y la moderna, estriba en que ésta es fruto de la experiencia. Hay que reconocer, sin embargo, que el sistema aristotélico es fruto directo de la observación, pues es un hecho el que las piedras y los materiales térreos se encuentran exclusivamente en el suelo, mientras que los mares, los lagos y los ríos, se extienden por la superficie terrestre y el aire lo envuelve todo. También parece que no se hace otra cosa que reatar lo que sucede en el mundo físico, cuando se afirma con Aristóteles, que

un cuerpo no puede hallarse fuera de su lugar natural sino por efecto de una acción violenta y que una vez puesto en libertad busca *por sí mismo* el lugar que le corresponde. La piedra cae *motu proprio* y lleva en sí la causa de su movimiento. Por la misma razón, basta dejar quieta una mezcla de agua y arena para que esta última vaya al fondo, por ser un elemento terreo, mientras que las burbujas de aire suben a la superficie porque van en busca de la atmósfera, que es el lugar que les corresponde. La llama de una bujía se dirige siempre hacia arriba, porque es fuego y su sitio está encima del aire. Finalmente, los cuerpos celestes, la quinta esencia, tiene, además de un sitio, un movimiento propio, que es el circular, y por eso dan vueltas incesantemente en torno de los cuatro elementos propiamente dichos.

Es un tópico considerar al aristócrata inglés, Sir Francis Bacon, Lord Verulamio (1561-1626), como el inventor del método experimental y, con un simplismo impropio de quienes se consideran a sí mismos dotados de gran complejidad mental, hay quien quiere hacernos creer que la humanidad no cayó en la cuenta de que podía hacer experimentos hasta que aprendió a hacerlos en el *Novum Organon*. Y se da la notable circunstancia, de que Bacon, brillante literato, jamás fué investigador, puso en duda la eficacia de los instrumentos, y despreció las matemáticas, achaqué común en quien no saben manejarlas. Es sorprendente que los ingleses hayan tratado de formar un falso prestigio científico en torno de Sir Francis, teniendo a su homónimo el fraile Roger Bacon (1240), verdadero heraldo de la ciencia moderna, y a Gilbert, contemporáneo de Lord Verulamio y fundador de la ciencia del magnetismo: pero es más sorprendente aún que el tópico haya sido recogido por escritores continentales, siendo así que, con toda evidencia, quien hizo posible el renacimiento científico, fué Galileo.

La nueva era científica, se caracteriza por crear teorías y por reemplazar la mera observación por el empleo de aparatos de medida. Galileo, descubrió el principio de inercia y con él echó las bases de la Mecánica racional. Además, inventó el péndulo y el termómetro, y enseñó a manejar el catalejo con fines científicos. Quienes censuran a los clásicos por no hacer medidas en los laboratorios, que piensen en lo que puede hacerse con

relojes de sol o con clepsidras y cuando no se dispone de medio adecuado para saber qué ocurre con la temperatura.

La mejor clepsidra que Tycho Brahe pudo utilizar para sus observaciones astronómicas, era inferior al reloj que ahora podemos comprar por unas pesetas, y el cambio se debe a que Galileo comparó las oscilaciones de la gran lámpara de la Catedral de Pisa con los latidos de su propio pulso, y descubrió que eran isócronas. Era entonces Galileo un joven estudiante de Medicina y lo primero que pensó fué en utilizar su invento para tomar el pulso. Así nacieron los «pulsilogios», que pronto adquirieron gran prestigio entre la clase médica.

El termómetro de Galileo tenía también por objeto servir a los médicos como medio de diagnóstico. Se reducía a un globo

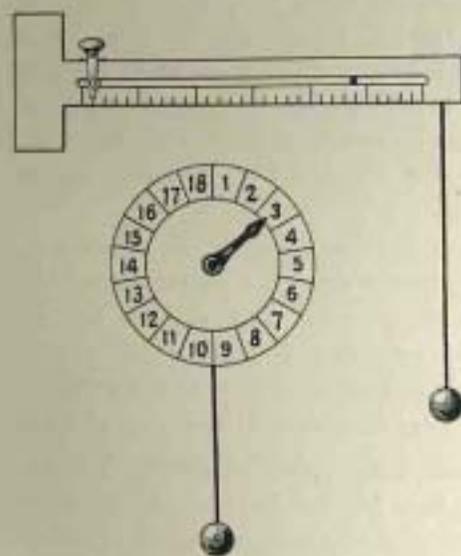


Figura 1

Dos formas de «pulsilogio». Se varía la longitud de la cuerda hasta sincronizar las oscilaciones de los latidos del pulso, y se hace la lectura en la regla o en el limbo.

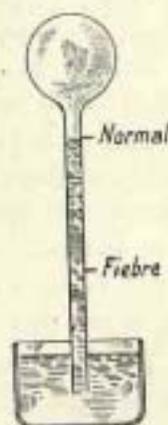


Figura 2

El termómetro de Galileo

de vidrio, provisto de un tubo largo, sumergido en un vaso de agua. Como único punto fijo, se tomaba la temperatura normal del cuerpo humano. Se trataba, pues, de un termómetro de aire

que nada dejaba que desear en cuanto a sensibilidad, pero que había de ser de manejo incómodo. Cuarenta años después tuvo un médico francés, Jean Rey, la idea de llenar de agua el globo y darle la vuelta, con lo que resultó un termómetro de líquido, menos sensible que el de aire, pero libre de las variaciones motivadas por los cambios de presión.

Un aprendiz de una tienda de óptica en Middelburgo, había construido un curioso juguete: Con dos lentes de gafas montadas en un tubo, se veía la veleta de una torre como si estuviera más cerca y cabeza abajo. Al Marqués de Espínola le gustó el juguete, lo compró y lo mostró al Príncipe Mauricio de Nassau, quien pensó que podía tener aplicaciones guerreras. Se habló por todas partes del tubo portentoso y las noticias llegaron hasta Padua, en cuya universidad era ya profesor Galileo. El sabio italiano había estudiado la teoría de Kepler acerca del ojo y había dado cursos de Óptica. Una noche de meditación le bastó para confeccionar los planos y de ellos salió un catalejo que tenía sobre el holandés la ventaja de no invertir las imágenes. Además, estaba en buenas manos y, en vez de servir de curioso pasatiempo, sirvió para ver cómo era la Luna y para descubrir los satélites de Júpiter.

Una piedra que pesase dos libras debía tener, en opinión de los aristotélicos, doble *motu proprio* que otra piedra de una libra; *ergo*, debía caer dos veces más deprisa. La famosa torre inclinada de Pisa, sirvió a Galileo para descubrir que todos los cuerpos caen con la misma velocidad, salvo pequeñas discrepancias que atribuyó muy acertadamente al roce con el aire.

Tras el estudio de la caída libre, vino el del movimiento por un plano inclinado. Una bola que rueda cuesta abajo sigue rodando cuesta arriba y llega casi a la altura inicial. Si la cuesta arriba se reemplaza por un plano horizontal y no hubiera rozamientos, la bola debía seguir rodando sin cesar, pues nunca alcanzaría su nivel original. He aquí la ley de la inercia, el principio de relatividad en Mecánica y la necesidad de la fuerza para alterar el movimiento de los cuerpos. Es seguro que Galileo quedaría atónito ante las peregrinas consecuencias de su teoría, y su mayor mérito consiste en no haberlas rechazado por absurdas. Quienes afirman que el triunfo de Galileo sobre

Aristóteles, se debe a que el primero partió de los hechos experimentales y el segundo no, olvidan que la experiencia parece dar la razón a Aristóteles, pues no hay experimento que pruebe que un cuerpo abandonado a sí mismo, conserva indefinidamente su movimiento. Las ideas del filósofo estagirita parecen dictadas por el sentido común y comprobadas por la experiencia directa. Sólo un genio como Galileo, pudo hacer el enorme esfuerzo de abstracción necesario para descubrir la verdad bajo tan engañosas apariencias.