

GALILEO (*)

Por CRISTOBAL de LOSADA y PUGA,

Profesor de la Universidad Católica del Perú.

I

La Universidad Católica del Perú ha querido conmemorar con esta actuación académica el tercer centenario de la muerte de Galileo, figura descollante en la historia de la ciencia, como que fué uno de los más insignes propulsores de la Mecánica y de la Astronomía.

De la Mecánica, la cultura griega conoció varios de los principios esenciales de la Estática, aquella rama de esta disciplina que trata de las condiciones de equilibrio de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos sólidos: la teoría de la palanca, descubierta por Aristóteles, alcanzó ya en manos de Arquímedes un rigor y una precisión casi modernos. Pero los griegos virtualmente ignoraron los problemas dinámicos, que sólo debían plantearse al principiar la Edad Moderna. La significación de este fenómeno histórico ha sido exagerada en demasía por Oswald Spengler en *La Decadencia del Occidente*: ese libro extraordinario que dió la vuelta al mundo, casi conquistándolo, montado en el caballo de batalla de su título (1).

Y fué precisamente Galileo quien sentó, en forma harto impre-

(*) Conferencia dada en la Universidad Católica del Perú, en conmemoración del III Centenario de la muerte de Galileo, el 15 de Julio de 1942.

(1) Pierre Duhem: *Les Origines de la Statique*, Ch. I y nota A del t. 2 (Paris, 1905-6). George Sarton: *Introduction to the History of Science*, vol. I, p. 128, 170 (Baltimore, 1928). Oswald Spengler: *La Decadencia de Occidente* Cap. VI (Madrid, 1923).

cisa aún y vacilante, las primeras bases de la Dinámica. Su influencia en el desarrollo de la ciencia fué por eso enorme, pero además de introducir en ella principios y conceptos, implantó métodos nuevos de investigación y formuló, ora de hecho, ora explícitamente, el criterio moderno del trabajo científico, criterio que con algunas modificaciones y afinamientos, es el que rige hasta ahora.

Galileo murió octogenario en Arcetri el 6 de Enero de 1642, después de haber aprendido, enseñado y luchado intensamente: la fecha exacta de su centenario ha caído, pues, durante el receso vacacional de nuestra Universidad, por lo cual su conmemoración ha sido postergada hasta hoy.

Me propongo hacer una exposición sintética y valorativa de la obra de Galileo, sin entrar en prelijos detalles biográficos; sólo hablaré de su vida en la medida estrictamente necesaria para situar dentro de ella el proceso de sus geniales investigaciones, pues encuentro que lo demás sería de secundario interés. Ciertamente que no adopto este plan por temor de tratar de las zarandeadas dificultades de Galileo con la Inquisición, pues tales dificultades son cosa demasiado interesante, y acerca de la cual hay demasiado que decir, para que yo me resigné a pasarlas por alto. Y así, sin entrar tampoco acerca de ellas en minuciosos detalles narrativos en los cuales se han entretenido innumerables historiadores y seudo-historiadores, examinaré la significación y alcances del famoso proceso. Mi exposición no pretenderá revelar hechos nuevos sobre la vida, la obra y los conflictos del gran físico renacentista, pretensión que sería absurda por la triple circunstancia de no ser yo un historiador de la ciencia, de trabajar alejado de las fuentes históricas que habría que consultar para hacer un verdadero trabajo de investigación, y en fin de tratar de un asunto ya muy estudiado y debatido. Por lo demás, no hay que olvidar que yo soy un profesor de matemáticas: yo no soy un historiador, y menos un constructor de esas arbitrarias biografías noveladas, obras semi-históricas *acaso muy agradables de leer, pero que introducen el desconcierto en el ánimo del lector, que no sabe ya qué es verdad y qué es invención*; y si menciono este moderno género literario, es porque precisamente la gran figura de Galileo ha servido recientemente para que un escritor húngaro borde en torno de ella el vasto e imaginario tapiz de un libro interminable. Género literario éste de la biografía novelada, que parece característico de un período de

decadencia, en que la historia y la novela, faltas de fuerza y de vida, se apoyan la una en la otra, esperando subsistir juntas merced a esta simbiosis o parasitismo recíproco.

Dentro del gran movimiento de ideas bien o mal llamado Renacimiento, y que en Italia se distinguió por un brillo y un vigor incomparables, acaso la figura genuinamente científica más original y más grande fué la de Galileo. Ciertamente que el gran físico toscano tuvo precursores, que nunca faltaron a investigador alguno, y acerca de cuya personalidad y de cuya obra diré algo más adelante. Pero sería absurdo atribuirles el mérito de la obra de Galileo: pocas cosas existen más odiosas e injustas que el prurito de empequeñecer la obra de los grandes hombres tratando de despojarlos de su mérito o de su originalidad para atribuírselos a otras figuras de segunda fila, que por el solo hecho de serlo, parece que no despertaran envidias ni celos. Mucho hay en la obra de los genios que éstos han tomado de investigadores que los han precedido; pero a quien admiramos al contemplar una catedral gótica es al arquitecto que trazó sus líneas esenciales y plasmó el conjunto donde residen su hermosura y su grandeza, y no a los canteros que arrancaron la piedra de la montaña ni a los picapedreros que labraron los sillares.

Los hombres del Renacimiento no sólo tuvieron que luchar, como los investigadores actuales, para penetrar en los arcanos del mundo físico: tuvieron que luchar inclusive para crear las herramientas intelectuales que exige la investigación, porque si habían heredado de la Edad Media instrumentos dialécticos muy elaborados y de gran flexibilidad, apropiados para la controversia puramente ideológica, no habían recibido en igual medida elementos que les permitieran escudriñar los secretos de la materia y de la energía. En efecto, en el medioevo la atención de los hombres estaba vuelta en una dirección que divergía mucho de la investigación del mundo físico, de tal manera que fueron pocos los que, como Rogerio Bacon o como San Alberto Magno, se dedicaron mediante la observación o el experimento a ensanchar las ideas o a resolver los problemas contemporáneos a este respecto.

Puede decirse que todo el movimiento intelectual durante la Edad Media estuvo presidido por la figura y el pensamiento de Aristóteles, no solamente en lo filosófico, sino también en lo científico. Su genio incomparable había recorrido todos los campos

del conocimiento, pero los había recorrido sin perder su modalidad ni sus caracteres propios. De aquí que sus trabajos científicos — infinitamente más afortunados los relativos a las ciencias biológicas que los concernientes a la materia inanimada — no son los de un sabio, sino los de un filósofo: él hacía ciencia, pero la hacía como filósofo. No se diga que esta era una modalidad del pensamiento griego, ni que era debida a no estar suficientemente independizadas la ciencia y la filosofía, pues otros productos del genio helénico son puramente científicos, estando casi exentos de toda mezcla con especulaciones filosóficas. En la obra científica de Aristóteles, la parte que podríamos llamar, incurriendo en un verdadero *anacronismo lógico*, positiva — esto es, el estudio sistemático de los hechos y de las teorías estrictamente necesarias para ordenarlos — se mezcla con disquisiciones metafísicas que pretenden explicar la razón última de las cosas, o interpretarlas, o relacionarlas mediante nexos filosóficos; y es tan íntima la trabazón, que muchas veces no puede ni siquiera separarse de ellas. Debido a esto, ha podido darse el caso verdaderamente extraordinario de que dos de los más grandes historiadores modernos de la ciencia tengan criterios radicalmente diversos y hasta opuestos al apreciar la obra de Aristóteles en el campo de la Mecánica: mientras que para Mach es fundamentalmente falsa, para Duhem es fundamentalmente verdadera. Es posible, dicho sea con todo respeto, que tanto Mach como Duhem se hayan inclinado a sus respectivos puntos de vista por consideraciones extra-científicas: adoptada por la Iglesia la filosofía de Aristóteles, esto ha de haber influido para que Mach — positivista, anticatólico, materialista — mirase con prevención todo el pensamiento peripatético, y para que Duhem — católico practicante, tradicionalista, imbuído del espíritu escolástico — simpatizara con él. Parece apoyar esta sospecha, la circunstancia de que ambos grandes autores tengan también criterios antagónicos, y esta vez en sentido opuesto, al estimar la figura de Galileo: para Mach fué un gran genio; al paso que Duhem realiza la proeza de escribir un libro — ciertamente admirable — sobre *L'Évolution de la Mécanique*, (2) a juzgar por el cual casi podría pensarse que Galileo ni siquiera había existido. En otra obra, *Les Origini-*

(2) (Paris, 1905).

nes de la *Statique*. (3) le consagra un largo capítulo fundamental en el que, con todo, le concede poca originalidad y escasa trascendencia. No es muy aventurado el suponer que Duhem, tan grande hombre de ciencia como formidable erudito, pero personaje díscolo y difícil si los hubo, haya tratado a Galileo con hostilidad por su episódica lucha con un tribunal eclesiástico.

Durante mucho tiempo fué un lugar común, en libros, artículos y discursos, el vituperar la cultura y el pensamiento medioevales: se hablaba a porfía de las tinieblas y de la noche de la Edad Media, del despertar del mundo con el Renacimiento, del dogmatismo, del oscurantismo, de la teología que vendaba los ojos de la inteligencia. Después de haberse repetido hasta la saciedad estos dislates, la investigación imparcial probó que no pasaban de tales, y entonces ellos dejaron de ser lugares comunes, para convertirse en frases culgares y trasnochadas. Sin embargo, no puede discutirse que la especulación medioeval tuvo caracteres distintos de los que ofrece el pensamiento moderno, y es evidente que al aparecer Galileo en un mundo que se hallaba en efervescencia espiritual, estuvo muy lejos de hallar el clima intelectual al que estamos habituados los hombres de nuestros días. Al contrario, encontró que el espíritu de Aristóteles dominaba en el mundo, no sólo en el fondo sino, lo que es aun más grave, en la forma y en el método. La ciencia seguía bajo la tutela de la Filosofía, y los hechos parecían como que estaban obligados a plegarse a las exigencias de sistemas preconcebidos. Y quizá si desde el punto de vista más general, de la Historia de la Cultura, el mérito mayor de Galileo consiste, como observa Vregille, (4) en haber sido el primer campeón de una ciencia positiva emancipada de la Filosofía.

Dividiré mi reseña de la obra de Galileo en cuatro partes: 1ª trabajos de Estática: equilibrio de cuerpos sólidos, Hidrostática, Resistencia de Materiales; 2ª los trabajos dinámicos: caída de los cuerpos, ley de inercia, movimiento de los proyectiles, leyes del choque; 3ª la errónea teoría galileana de las mareas; y 4ª los descubrimientos astronómicos y la discusión sobre el sistema de Copérnico.

(3) Dos vol. (Paris, 1905-6).

(4) Pierre de Vregille: *Galilée*, en: A. D'Alès: *Dictionnaire Apologétique de la Foi Catholique*, t. 2, col. 151. (Paris, 1911).

II

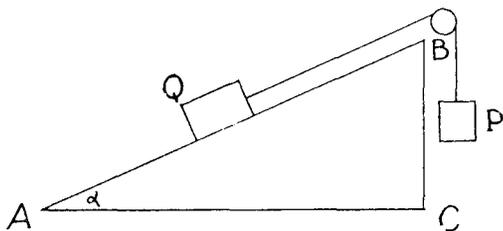
LA PRIMERA JUVENTUD. ESTÁTICA. HIDROSTÁTICA

Nacido en Pisa el 15 de febrero de 1564, Galileo frecuentó desde temprano la Universidad, donde estudió la ciencia de su tiempo.

A los 21 años fué a Florencia, donde estudió las obras, impecederas y eternas, de Arquímedes. Allí inventó la balanza hidrostática, descrita en todos los tratados elementales de Física y empleada para determinar los pesos específicos; y efectuó estudios sobre los centros de gravedad, trabajos todos que sólo se publicaron después de su muerte.

Nombrado profesor de matemáticas en Pisa, su ciudad natal, a los 27 años, después lo fué en Florencia y luego, durante largo tiempo, en Padua. De esta época datan sus investigaciones más trascendentales.

Péndulo.—Se cuenta que, joven de 19 años, viendo oscilar en la Catedral de Pisa una lámpara que acababan de encender, y midiendo el tiempo, a falta de reloj, por los latidos de su pulso, descubrió el isocronismo — o, mejor dicho, el tautocronismo — de las oscilaciones del péndulo, es decir, la propiedad según la cual todas las oscilaciones tienen sensiblemente la misma duración, aunque vaya decreciendo su amplitud, con tal que ésta no sea demasiado grande.



Plano inclinado.—Simón Stevin había estudiado, por un método particularmente interesante e ingenioso, los problemas relativos a la fuerza necesaria para equilibrar un cuerpo sobre un plano inclinado, impidiéndole resbalar. Tratando el mismo problema, Galileo considera un cuerpo Q que se desliza a lo largo de un plano

inclinado AB y al cual está atado otro peso P por medio de una cuerda que pasa por una polea situada cerca del borde superior B del plano inclinado, y reconoce que el equilibrio depende no solamente del valor de los pesos de los cuerpos, sino del desplazamiento vertical que cada uno de ellos experimentaría al moverse ambos, llegando a establecer que *la condición necesaria y suficiente para el equilibrio reside en que sean iguales los productos de los pesos por sus respectivos desplazamientos verticales*. Galileo viene a ser así uno de los precursores del principio de los trabajos virtuales, que Stevin había aplicado ya a un caso particularmente simple, el equilibrio de las poleas (5).

Este principio de los trabajos verticales lo aplicó Galileo al estudio del equilibrio de los líquidos, pero en forma equivocada, llegando a resultados falsos: Pascal lo aplicó correctamente, y ya se sabe cuánto le debe la Hidrostática (6).

El horror vacui.—A propósito de Hidrostática, no pasaremos adelante sin recordar los trabajos de Galileo sobre las bombas. En aquel tiempo se explicaban los fenómenos de succión, la acción de las jeringas y de las bombas, por un pretendido horror de la naturaleza al vacío, el así llamado *horror vacui*. Se creía que tan pronto iba a formarse un vacío, la naturaleza lo llenaba echando mano, por decirlo así, de las cosas más inmediatamente vecinas. Prescindiendo del antropomorfismo ingenuo de esta concepción, es innegable — como observa Mach — que ella responde bien a la apariencia de los hechos (7). Cuéntase que Galileo se enteró con gran extrañeza de que una bomba recientemente construída y cuyo tubo de aspiración era muy largo, no podía elevar el agua a más de 18 anas italianas (se sabe que el *ana* era una medida de longitud; pensó inmediatamente que el *horror vacui*, o la *resistenza del vacuo* no pasaba de un cierto valor y llamó *altezza limitatissima* la altura máxima hasta la cual puede una bomba elevar el agua. Ya en aquella época se sabía que el aire era pesado; y el propio Galileo había tratado de comprobarlo pesando un globo, lleno de aire primero y después medio vacío por haber expulsado mediante el calor una parte del aire que contenía; pero el horror al vacío y el pe-

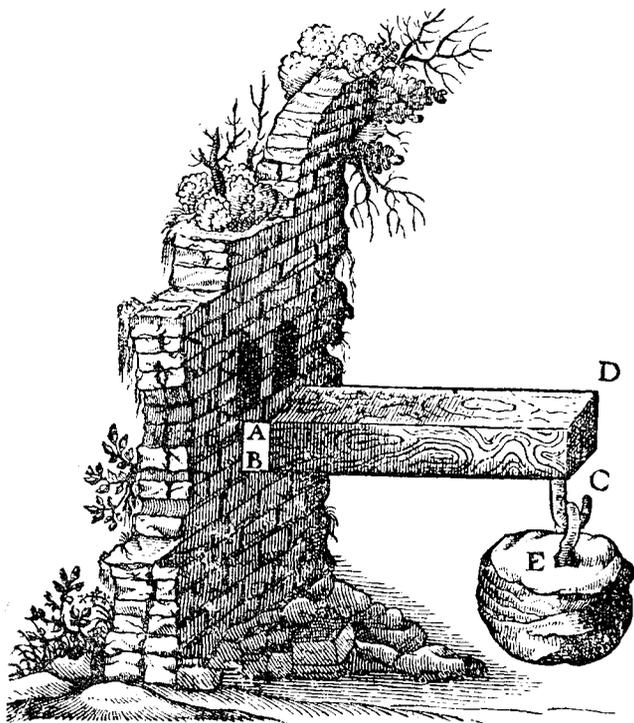
(5) E. Mach: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, IV. Altenburg, 1891.

(6) Mach: *Die Mechanik*, I, VI.

(7) Mach: *Die Mechanik*, I, VII.

so del aire eran aún nociones demasiado alejadas en los espíritus. Galileo también consiguió aproximarlas, pero parece que fueron Torricelli y Pascal los primeros en comprender exactamente que los fenómenos de succión de las jeringas y de las bombas no eran debidos al pretendido *horror al vacío*, sino a la presión del aire exterior.

Resistencia de Materiales. (8)—Galileo es, históricamente, el verdadero iniciador de la Resistencia de Materiales, asunto al cual



dedica el segundo diálogo de sus *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche*. El problema capital para él no es un problema de elasticidad sino un problema de resistencia: no atiende a la deformación, sino a la fractura; y esta dirección de su interés, doblemente sor-

(8) Todhunter - Pearson: *A History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials from Galilei to the present time*; arts. 2, 3, 4, 5. 358, 746. (Cambridge, 1884).

prendente en quien como él era un sabio y no un técnico, muestra cuán lejos se estaba aún de comprender la naturaleza y la unidad de los fenómenos elásticos. En ese estudio, Galileo da no menos de 17 proposiciones relativas a la fractura de vigas, tubos, etc., pero admite que las fibras de una viga son inextensibles. Estas consideraciones se refieren al caso de vigas ménsulas, y en la pág. 260 se reproduce una ilustración ingenua de los *Discorsi*, en que aparece representada una viga ABCD cargada con un peso E: el problema es determinar la fuerza de fractura en una sección transversal al eje de la viga por efecto del peso E o del peso propio de la viga. A este problema lo llama Todhunter *el problema de Galileo*, teniendo en cuenta que los sucesivos investigadores han hecho siempre referencia al nombre del primero que lo trató. Galileo da el nombre de *base de fractura* a la sección donde la viga está empotrada en el muro, y enuncia los dos resultados siguientes: 1° Las resistencias de las bases de fractura de vigas prismáticas semejantes, son entre sí como los cuadrados de sus respectivas dimensiones (suponiendo vigas cargadas en su extremo libre y despreciando el peso propio); 2° Entre el infinito número de vigas homogéneas y semejantes, hay una sola para la que el peso está en exacto equilibrio con la resistencia de la base de fractura: las restantes se romperán si son demasiado largas, o tendrán una resistencia superflua en su base de fractura si son cortas.

Otra investigación notabilísima de Galileo — y que por cierto dió lugar a una apasionada controversia —, es la relativa a las secciones transversales de una viga ménsula de igual resistencia. Suponiéndola cargada en su extremo libre, de sección transversal rectangular y de ancho uniforme en toda su longitud, llega a la conclusión exacta y sorprendente de que las caras superior e inferior de la viga deben tener forma parabólica.

Se ha atribuído a Galileo el haber observado que cuerpos muy pequeños puestos sobre una placa vibrante como la caja de un instrumento musical, son violentamente agitados en ciertos puntos de la superficie de la placa y permanecen en reposo en otros: si esto fuera así, él sería el primer descubridor de la existencia de los nodos y vientres de vibración. Biot en su *Traité de Physique Expérimentale et Mathématique* (Paris, 1816) así lo afirma, y se refiere a los *Dialogi*, sin precisar más la cita. Wheatstone repite lo mismo en una memoria publicada en 1833; pero Strehlke revisa infructuo-

samente aquellos pasajes de la obra en los que pudiera haber referencia a este fenómeno, desecha así toda posibilidad de exactitud en la aserción de Biot, y concluye que nadie puede discutir la prioridad del descubrimiento de Chladni, físico alemán dos siglos posterior a Galileo.

III

LA DINAMICA

La verdadera gloria de Galileo consiste en haber fundado la Dinámica, ciencia completamente nueva y de la cual en la antigüedad clásica no había idea, pues como he dicho, todas las especulaciones mecánicas de los griegos se refieren a problemas de Estática. Peor todavía: los aristotélicos tocaron algunos problemas de Dinámica, pero los tocaron en forma que lejos de resolverlos los hacía descuidar, reemplazando las soluciones científicas por verdaderas logomaquias que adormecían a los espíritus en la vana ilusión de un seudo-conocimiento. Por cierto que sería insensato condenar la obra prodigiosa de Aristóteles, pero es evidente que su Física, y la Física que enseñaban en su nombre los maestros medievales, encerraban un mundo de errores y de inexactitudes.

Estudiaremos sucesivamente los diversos problemas que trató Galileo, analizando para cada uno de ellos, cuál era el estado de la cuestión antes de él, y cuál fué su contribución personal.

Caída de los cuerpos.—Para Aristóteles, el problema más importante era averiguar, no cómo caen los cuerpos, sino *por qué* caen, y por qué flotan los cuerpos ligeros; y lo resuelve con la simple afirmación de que cada cuerpo busca su lugar, y que el de los cuerpos pesados está abajo en tanto que el de los cuerpos ligeros está arriba. En cuanto a las modalidades del fenómeno, afirma — incurriendo en un error fundamental, pero muy comprensible — que los cuerpos más pesados caen más rápidamente que los menos pesados. Benedetti, en el siglo XVII, sabe ya que los cuerpos caen con velocidad creciente, atribuyendo el fenómeno a la acumulación de las impulsiones sucesivas de la gravedad.

Las investigaciones de Galileo sobre las leyes de la caída de los cuerpos, están expuestas en sus *Discorsi e Dimostrazioni mate-*

matiche, publicados en 1638. Provisto de un moderno espíritu científico, no se pregunta, como Aristóteles, *por qué* caen los cuerpos sino *cómo* caen. Para averiguarlo, establece ciertas hipótesis, pero al revés de aquél, no se limita a formularlas, sino que trata de probar su exactitud por la experiencia: no en vano han transcurrido los siglos. Respecto de la velocidad de un cuerpo que cae, Galileo trata de averiguar primero si ella es proporcional a la altura de caída o al tiempo que ha durado el fenómeno. Desecha la primera hipótesis, que es falsa, pero la desecha fundado en un razonamiento también erróneo. Luego discute la segunda hipótesis: que la velocidad de caída sea proporcional a la duración del fenómeno, y trata de deducir de ella primero todas las consecuencias que se pueden desprender por el simple razonamiento; y luego, de comprobar experimentalmente si los fenómenos reales se ajustan a tales consecuencias. Como la rudimentaria imperfección de los medios materiales con que contaba no le permitía comprobar su hipótesis en la forma directa y simple en que hubiera podido hacerlo un sabio de nuestros días, ideó algo así como un método indirecto consistente en observar, no la caída libre de cuerpos en el espacio, sino el descenso de unas bolas que rodaban en ranuras hechas a lo largo de un plano inclinado. Para observar el tiempo de caída hacia falta un reloj preciso, y como los de la época eran imperfectísimos, Galileo construyó un primitivo pero ingenioso reloj de agua (9).

Las leyes de la caída de los cuerpos que ahora conocemos en forma tan segura, que enunciarnos con tanta precisión y que comprobamos de mil maneras, fueron pues penosamente arrancadas por el genial físico florentino: arrancadas en parte al puro razonamiento y en parte a la experimentación.

En un librito realmente delicioso, titulado *Aristotle, Galileo and the Tower of Pisa* (10), el erudito norteamericano Lane Cooper prueba que no fué Galileo sino Stevin quien realizó el experimento de soltar de gran altura cuerpos de peso diferente, para demostrar que todos caen con igual velocidad; y trata de librar a Aristóteles de la culpa de haber supuesto que los cuerpos más pesados caen con mayor velocidad que los menos pesados; pero Cooper es un filólogo y no un físico, y su vindicación del Estagirita, fundada en

(9) Mach: *Die Mechanik*, II, 1.

(10) (Cornell University Press, 1935).

una discusión literal de los textos, no convence a quien penetra con criterio científico el sentido mismo de los dos libros en que está contenida la mecánica peripatética, la *Physica* y el *De Caelo*.

Principio de inercia.—Sabemos que un cuerpo es incapaz de modificar por sí mismo el estado de reposo o de movimiento en que se halla en un cierto instante. Si no estuviera sometido a ninguna acción exterior, permanecería indefinidamente en reposo o conservaría un movimiento rectilíneo y uniforme: su velocidad sólo puede ser modificada por la presencia de otros cuerpos que actúan sobre él. Tal es, con la claridad y la precisión con que lo entendemos en nuestros días, el *principio de inercia* que Galileo introdujo en la ciencia y que es una de las bases fundamentales de la Mecánica. Pero este principio que ahora está, puede decirse, incorporado en nuestro espíritu a tal punto que ya tiene casi el carácter de una noción inconsciente, sólo lentamente pudo abrirse paso en la mente de los hombres.

Aristóteles distinguía los *movimientos naturales* como el de la caída de los cuerpos y los *movimientos violentos* como el de los proyectiles; y pensando que un cuerpo inanimado sólo podía moverse cuando actuaba sobre él una fuerza, atribuía la continuación del movimiento de un proyectil a la acción ejercida sobre él por el medio ambiente.

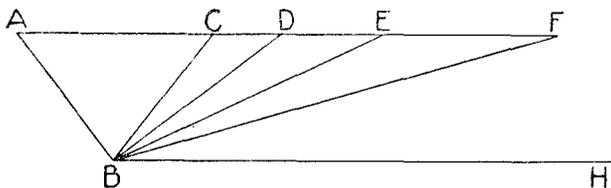
En el siglo VI, Juan Filopón y Simplicio, discípulos ambos de Amonio (hijo de Hermias), se apartaron ya de este modo de ver las cosas, considerando el *impetu* que posee un cuerpo móvil; y en el siglo XIII un monje francés, Pedro Olivi, físico y teólogo franciscano, volvió a exponer conceptos análogos (11). Benedetti, marcando con ello un nuevo progreso, atribuye la progresión del proyectil lanzado en el espacio, a una cierta *virtus impressa* de que se halla animado. Galileo acepta al principio el concepto de la *virtus impressa*, pero cree que ésta vá disminuyendo progresivamente. Sin embargo, más adelante establece el principio de inercia, en la forma que vamos a estudiar (12).

Después de haber establecido que la velocidad adquirida por un cuerpo que cae a lo largo de un plano inclinado depende de la

(11) George Sarton: *An Introduction to the History of Science*; t. I, p. 421-423; t. II, p. 1032. (Baltimore, 1928-1931).

(12) Mach: *Die Mechanik*, II, I.

altura vertical de caída y no de la inclinación ni de la longitud del camino recorrido, considera el caso de un cuerpo que al llegar a la parte inferior del plano por el cual ha resbalado, se encontrara con otro plano de inclinación contraria: la velocidad de que viene animado lo haría subir a lo largo de este otro, así como el péndulo continúa su movimiento pasando más allá del punto más bajo de su carrera; y entonces este cuerpo subiría sobre el otro plano inclinado hasta una altura igual a la altura de la cual había descendido. Ahora bien, si el cuerpo que ha descendido por el plano inclinado AB, al llegar al punto más bajo de su camino encontrara un plano con la inclinación BC o con la inclinación BD, en uno como en otro llegaría a la misma altura, así que recorrería un camino tanto más



largo cuanto menos inclinado fuera el otro plano. De aquí se sigue, que, si el plano fuera muy poco inclinado, tal como BF, el cuerpo recorrería a lo largo de él una distancia muy considerable; y si fuera completamente horizontal, como BH, se movería sobre él sin detenerse jamás, abstracción hecha, por cierto, del rozamiento, de la resistencia del aire y de cualquier otra resistencia pasiva. Esta afirmación de que el cuerpo se movería indefinidamente si no hubiera una causa específica capaz de detenerlo, es el primer enunciado que se conoce de la ley de inercia, y el razonamiento que ha servido para establecerla, es el primer ejemplo que nos ofrece la historia del pensamiento humano de lo que ahora llamamos *un experimento intelectual*, es decir un experimento que no se realiza sino sólo se imagina, pero cuyo resultado puede establecerse con toda precisión. Galileo, pues, introdujo el primero en la ciencia este método de investigación del experimento intelectual, método utilizado con tan portentoso brillo por los físicos modernos, como esos grandes genios de Einstein y Planck.

Los contemporáneos de Galileo, y aun él mismo, sólo muy lentamente y poco a poco fueron abandonando las antiguas ideas aristotélicas para adoptar la noción de la inercia, y ésta jamás alcan-

zó en sus espíritus la claridad y la precisión con que la vemos en nuestros días; pero es sin embargo lo bastante explícita esta noción, para permitir a Valiani, coetáneo de Galileo, deducir de la exposición de éste, que la velocidad adquirida por un cuerpo sólo puede ser destruida por una fuerza exterior.

Movimiento de los proyectiles.—Ya he dicho que Aristóteles y los peripatéticos atribuían la continuación del movimiento de un proyectil a la acción que sobre él ejercía el medio ambiente. Prescindiendo de esta concepción causal y aun desde el punto de vista de la simple descripción de los fenómenos, se incurria en este punto en errores realmente monstruosos: Santbach, en 1561, cree que una bala de cañón se mueve en línea recta hasta que se agota su velocidad, y que entonces cae verticalmente. Tartaglia, Benedetti y otros, tuvieron también ideas inexactas, aunque no tan groseras, sobre el movimiento de los proyectiles (13).

Galileo fué el primero en descubrir las leyes de este fenómeno. Comprendió que cuando se dispara un proyectil o se lanza una piedra en una dirección cualquiera, su movimiento es la resultante de dos movimientos independientes: un movimiento rectilíneo en que se conserva en magnitud y dirección la velocidad inicial, y un movimiento vertical de caída, uniformemente acelerado. La combinación de ambos produce un movimiento curvilíneo a lo largo de una parábola.

Concepto de velocidad y de aceleración.—En el tiempo de Galileo el concepto de velocidad era tan rudimentario, que se definía la velocidad como el espacio recorrido en la unidad de tiempo. Ahora sabemos que esta definición no es suficiente, y que se requiere otra más precisa. Para conseguirla, consideramos un pequeño lapso de tiempo y la porción de trayectoria que durante él ha recorrido el móvil; y damos el nombre de velocidad a la relación entre el espacio recorrido y el intervalo de tiempo empleado en recorrerlo, cuando este intervalo se hace infinitamente pequeño. Galileo no contaba con la noción de derivada, y en todo caso no podía manejar esta noción como lo hacemos nosotros, como que ella nació en los días de su madurez o de su senectud, y fué debida en gran parte a su discípulo Cavallieri; pero parece que en su pensamiento, Ga-

(13) Mach, loc. cit.

lileo utilizaba ya esta noción de velocidad instantánea. Tuvo, igualmente, la noción de aceleración.

Teoría del choque.—Galileo también se ocupó de las leyes del choque, llamando *fuerza del choque* a la fuerza de un cuerpo en movimiento, que compara con la presión que por su peso ejerce un cuerpo en reposo, haciendo al respecto una ingeniosa experiencia. Uno de los platillos de una balanza es reemplazado por dos vasos que cuelgan del fiel, uno encima de otro, teniendo el vaso superior en su fondo un orificio obturado por un tapón; en tanto que en el otro platillo se colocan las pesas necesarias para mantener el fiel en equilibrio. Al retirar el tapón, el líquido que llena el vaso superior cae sobre el vaso inferior, con lo cual desaparece una parte del peso y es reemplazada por la acción mecánica del choque sobre el fondo del vaso inferior. Galileo se sorprendió mucho al ver que la balanza no experimentaba ninguna variación, pues él esperaba tener que restablecer el equilibrio agregando pesas en el otro platillo que equivalieran a la *fuerza del choque*. El fenómeno está completamente dilucidado en la actualidad, y en la clásica obra de Mach se encuentra una completa discusión de él (14).

IV

LA TEORIA DE LAS MAREAS

Todos conocemos aquel fenómeno del flujo y reflujo del mar, que presenta tan visibles caracteres y cuya magnitud varía tanto de un punto a otro. De pequeña intensidad en los mares interiores, como el Mediterráneo, o en los mares muy abiertos, como el Océano Pacífico en las costas del Perú, el fenómeno de las mareas se realiza en escala imponente en el fondo de los golfos, tal como ocurre en Panamá.

Ya Kepler suponía — es verdad que muy vagamente — que el fenómeno de las mareas era debido a la *virtud atractiva* de la Luna sobre el agua de los océanos, lo cual supone, con todo, una intuición genial, puesto que todavía no se conocía la noción de la gravitación universal que Newton debía descubrir más tarde.

(14) Mach: *Die Mechanik*, III, 1v.

Pero un hombre que vivió 17 siglos antes de Kepler, el filósofo griego Posidonio, el último de los sabios universales que produjo la cultura helénica, conoció ya las particularidades del fenómeno de las mareas con una precisión admirable. Sus obras en su mayoría se han perdido, y su labor científica sólo nos es conocida a través de los escritos de Cicerón y Cleómedes, sus discípulos, y de Estrabón. Este último describe, apoyándose en la autoridad de Posidonio, el fenómeno de las mareas en el puerto de Cádiz, relacionándolo con la posición de la Luna con respecto al horizonte, reseña fidelísima que acusa en el gran enciclopedista de Rodas una penetración realmente prodigiosa. Y no sólo conocía Posidonio a la perfección lo que había visto en Cádiz y lo que había oído de labios de los gaditanos, sino que estaba perfectamente enterado de las observaciones del astrónomo babilonio Seleuco sobre las mareas del Mar Rojo, y sobre las particularidades que ellas ofrecen en los equinoccios y los solsticios (15).

Pues bien, a pesar de ser así conocida la correlación existente entre las mareas y los movimientos de los astros, y a pesar de que Kepler había intuido aunque fuera remotamente la existencia de una fuerza atractiva en la Luna, Galileo rechaza toda relación entre el flujo y reflujo del mar y los fenómenos astronómicos, juzga la explicación de Kepler *mística e infantil*, la ubica en la categoría de las explicaciones por simpatía y antipatía, y considera tan fácil destruirla como la hipótesis que explicaba las mareas por una dilatación de las aguas del mar debida al calor del Sol. En lugar de la explicación de Kepler que, aunque embrionaria, encerraba ya la verdad, Galileo busca otra, y lo que es peor, cree hallarla, en la combinación del movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje con su movimiento de traslación a lo largo de la órbita: debido a esta combinación de movimientos, la velocidad absoluta de un punto cualquiera del planeta es variable y fluctúa entre un máximo que es la suma de las velocidades debidas a la rotación y a la traslación, y un mínimo que es su diferencia. No pudiendo las aguas de los mares adaptarse instantáneamente a estos cambios de velocidad, ocurre con ellas — piensa Galileo — lo que sucedería en un

(15) Karl Reinhardt: *Posidonios*, p. 121. (München, 1921). George Sarton: *An Introduction to the History of Science*, t. I, p. 204. G. H. Darwin: *The Tides and kindred Phenomena*, Ch. IV. (London, 1902).

bote lleno de agua que marchara con velocidades bruscamente variables, ora en aumento, ora en disminución: el agua se acumularía alternativamente en la parte posterior del bote o en la parte delantera. A esta acumulación del agua producida por las fluctuaciones de la velocidad absoluta y por la inercia del líquido, se debería el fenómeno observado de las mareas. Galileo percibe una primera dificultad esencial con la cual tropieza su teoría, y es que según ella debería producirse cada día una pleamar y una bajamar, pero cree poder explicar las periodicidades de las mareas por las oscilaciones propias del agua y las variaciones del movimiento. El fenómeno de las mareas, así explicado, viene a ser para Galileo una prueba irrefutable del movimiento de la Tierra en torno del Sol; otro error, porque como observa Fichot (16), el mismo razonamiento podría aplicarse palabra por palabra al caso en que el movimiento de traslación de la Tierra en el espacio fuera rectilíneo y uniforme; como si tal movimiento fuese capaz de alterar en lo más mínimo la superficie de equilibrio adoptada por las aguas por efecto del movimiento de rotación. Comentando la teoría de Galileo sobre las mareas, dice Ernesto Mach: "el principio del movimiento relativo es aquí un elemento perfectamente *correcto* pero tan *desgraciadamente* aplicado, que no puede conducir sino a una teoría absolutamente errónea" (17).

La teoría de Galileo sobre las mareas ha encontrado en la posteridad espíritus que la recojan y la hagan suya. Me limitaré a nombrar a John Wood, un escocés nacido por el año 1775, autor de *Elements of Perspective* publicado en Londres en 1779, y que emigró a los Estados Unidos en 1800. En 1802 publicó en New York una *History of the Administration of John Adams*, libro que fue secuestrado por orden de Aaron Burr. En 1809, pretendiendo cambiarse de escritor político en hombre de ciencia, publicó un folleto titulado *A New Theory of the Diurnal Rotation of the Earth, demonstrated upon mathematical principles, from the properties of the Cycloid and Epi-Cycloid*, en que atribuye a la diferencia de velocidades de los dos lados de la Tierra, las mareas, los vientos ali-

(16) E. Fichot: *Les Marées et leur Utilisation industrielle*, p. 17. (Paris, 1923).

(17) E. Mach: *Die Mechanik*, II, IV.

A
 NEW THEORY
 OF
THE DIURNAL ROTATION
 OF
THE EARTH;
 DEMONSTRATED UPON MATHEMATICAL PRINCIPLES,
 FROM THE PROPERTIES OF THE
CYCLOID AND EPI-CYCLOID.

WITH

AN APPLICATION OF THE THEORY TO THE EXPLANATION OF THE
 VARIOUS PHENOMENA OF THE WINDS, TIDES, AND OF THOSE
 STONY AND METALLIC CONCRETIONS WHICH HAVE FALLEN
 FROM HEAVEN UPON THE SURFACE OF THE EARTH.

BY JOHN WOOD,

AUTHOR OF *ELEMENTS OF PERSPECTIVE*,
 PRINTED IN LONDON IN 1759.

Richmond :

PRINTED AT THE ENQUIRER OFFICE.

1809.

sios y hasta la caída de los aerolitos. Como el libro no tuvo el éxito que esperaba, su autor mandó imprimir una especie de *carta abierta* dirigida a Herschel, el gran astrónomo inglés, entonces en el apogeo de su carrera, en la cual insistía en la exposición de sus ideas. Wood pasó los últimos años de su vida en Richmond, en el Estado de Virginia, dedicado a hacer mapas, hasta que murió en dicha ciudad en 1822 (18).

Esta idea de Galileo recogida por Wood, según la cual los movimientos de rotación y traslación de la Tierra podrían producir juntos, efectos mecánicos que no podría causar cada uno de ellos separadamente, ha continuado viviendo, pues otras personas la han redescubierto, por su propia cuenta según parece; y hasta no han faltado quienes hayan pretendido sostenerla con el apoyo de consideraciones científicas más precisas que las que pudieron estar al alcance de sus inventores, pero que reposan igualmente, como vamos a ver, en un error fundamental. Para que la combinación de los dos movimientos terrestres pudiera ser causa de algún fenómeno de orden mecánico, sería preciso que la aceleración de un punto de la Tierra fuera algo más que la simple suma geométrica de la aceleración de rotación y la aceleración de traslación. Pues bien, queriendo dar un fundamento científico a teorías como la de John Wood, se ha invocado la influencia de la aceleración complementaria: cuando un punto material está animado a la vez de dos movimientos, un movimiento relativo y un movimiento de arrastre, la aceleración que presenta es la suma de la aceleración propia de cada uno de estos dos movimientos, más una nueva aceleración, llamada aceleración complementaria o aceleración de Coriolis, por el nombre del matemático francés que la descubrió en la primera mitad del siglo pasado. Es lamentable que quienes han querido aplicar en este caso el teorema de Coriolis, sólo lo conozcan a medias e ignoren que cuando el movimiento de arrastre es una traslación, como ocurre en el caso de la Tierra, la aceleración complementaria es nula. Los profesores de Mecánica deben insistir vigorosamente en este punto, que es una consecuencia inmediata de la expresión matemática de la aceleración complementaria.

(18) Augustus De Morgan: *A Budget of Paradoxes*, t. I, p. 233. (London, 1915).

V

TRABAJOS ASTRONOMICOS. LA INQUISICION

Los filósofos griegos se entregaron a profundas y encontradas especulaciones sobre el sistema del mundo, tratando de explicar los fenómenos celestes por hipótesis acerca de la estructura real del universo. Veamos solamente las dos teorías extremas.

Platón y Aristóteles — acaso los dos filósofos más geniales de la antigüedad — así como Sócrates y Eudoxio, sostuvieron en este punto una teoría simplista: según ellos, la Tierra está en el centro del Universo, y en torno suyo giran los astros, sobre unas esferas que para Eudoxio sólo eran ideales, pero a las que Aristóteles atribuía una existencia material. Todas las esferas giraban en torno de la Tierra en 24 horas, pero las esferas en que estaban montados el Sol, la Luna y los planetas, estaban animadas además de otros movimientos de una complicación poco menos que inextricable.

Frente a esta concepción geocéntrica de la realidad, que la supone simplemente concordante con las apariencias — lo cual obliga, en el detalle, a un sin fin de complicaciones — se yergue la teoría heliocéntrica de Aristarco de Samos, astrónomo del Siglo III antes de Cristo, para el cual la Tierra gira sobre sí misma en 24 horas, y circula en torno del Sol en un año, en igual forma que lo hacen los planetas; en tanto que las estrellas fijas están a enorme distancia. Aristarco es así el verdadero precursor de la Astronomía Moderna; es más que un precursor: es un anticipador.

Pero esta hipótesis parecía absurda a los aristotélicos, y Claudio Tolomeo, astrónomo alejandrino del siglo II de nuestra era, la rechaza y sostiene la inmovilidad de la Tierra en un libro célebre, el *Almagesto*, erigiendo su autoridad que, superada sólo por la de Aristóteles, gobernará el pensamiento occidental durante catorce siglos.

A los argumentos de Aristóteles contra el movimiento de la Tierra — la incorruptibilidad de los cielos; la dignidad de la Tierra, morada del hombre, rey de la Naturaleza; la increíble distancia que habría de atribuirse a las estrellas fijas —, Tolomeo agrega argumentos nuevos: si la Tierra se moviese, veríamos a las nubes huir en dirección contraria; los pájaros que un momento se alejaran de

sus nidos no podrían volver a encontrarlos, por habérselos llevado la Tierra en su movimiento; etc.

En 1530, Nicolás Copérnico, canónigo de la catedral de Thorn, en Polonia, redactó un opúsculo en que sostenía la doctrina del movimiento de la Tierra al rededor del Sol; pero sólo se animó a escribir su libro fundamental cediendo a instancias del Cardenal Schönberg. La obra apareció en 1543, dedicada al Papa Paulo III: "Si no me equivoco, mi obra será útil a la Iglesia, cuyo supremo gobierno ha sido puesto en tus manos". El Papa aceptó la dedicatoria.

No era posible que una concepción como la de Copérnico, contraria a la evidencia de los sentidos, contraria a todas las apariencias, contraria a cuanto los hombres de aquella época habían aprendido desde su infancia en las escuelas, contraria a la autoridad de Aristóteles y de Tolomeo, contraria a una tradición científica de más de veinte siglos, contraria a lo que parecía deducirse de ciertos pasajes de la Biblia, fuera aceptada de plano y se convirtiera para los hombres del siglo XVI en lo que es para nosotros: en una verdad trivial. La resistencia de los hombres de nuestros días a aceptar muchas de las conclusiones revolucionarias de la Física contemporánea, nos da una idea en miniatura de la "emoción general e indecible" (19) que produjo en toda Europa la publicación del libro en que se exponía el nuevo sistema del mundo. Los sabios, los filósofos y los teólogos adoptaron en su mayoría frente a él una actitud de oposición irreductible, mientras que unos pocos lo apoyaron y defendieron, como Joachim — *el Rético* — que había vivido dos años como huésped en casa de Copérnico. En cambio, Lutero trata de loco al gran astrónomo polaco, y clama contra su orgullo que se ha atrevido a negar la ciencia tradicional, siendo así que la Escritura dice positivamente que Josué detuvo al Sol y no a la Tierra. Melanchthon, el teniente de Lutero, a pesar de su formación científica, se opone a Copérnico porque su sistema le parece incompatible con la Biblia y con la Teología. Los eruditos de la época invocan conocidos pasajes de la Sagrada Escritura que consideran ser pruebas concluyentes de la inmovilidad de la Tierra:

Entonces habló Josué al Señor en aquel día en que entregó al Amorreo a merced de los hijos de Israel, y dijo en presencia de ellos: Sol, no te muevas

(19) Janssen: *L'Allemagne et la Réforme*, t. 7, p. 306. (Paris, 1907).

de encima de Gabaón; ni tú, Luna, de encima del valle de Ayalón. (*Josué*, X, 12).

Pasa una generación, y le sucede otra; mas la tierra queda siempre estable. Asimismo nace el sol y se pone, y vuelve a su lugar; y de allí renaciendo, dirige su curso hacia el Mediodía, y declina después hacia el Norte; corre el viento soplando por toda la redondez de la tierra, y vuelve a comenzar después sus giros. (*Eclesiastés*, I, 4-6).

Cimentaste la tierra sobre sus propias bases; no se desnivelará jamás (*Salmos*, CIII, 5).

Tu verdad durará de generación en generación. Tú fundaste la tierra y ella subsiste. (*Salmos*, CXVIII, 90).

El Señor reinó: revistióse de gloria, armóse de fortaleza y se ciñó todo de ella. Asentó también firme la redondez de la tierra, y no será conmovida. (*Salmos*, XCII, 1).

Conmuévase delante de El la tierra toda; puesto que El es el que fundó el universo sobre inmuebles cimientos. (*I Paralipómenos*, XVI, 30).

El sol, al salir, anuncia con su presencia la luz, admirable instrumento, obra del Excelso... También la luna con todas sus mutaciones o periodos indica los tiempos y señala los años. (*Eclesiástico*, XLIII, 2, 6).

Estos textos y otros análogos indujeron a Tico Brahe a proponer lo que ahora llamaríamos una solución transaccional, en que se considera la Tierra fija, el Sol girando en torno de ella, y los planetas girando en torno del Sol. Se cuenta que el famosísimo astrónomo danés hizo venir a su lecho de muerte a Kepler, su discípulo, contemporáneo ya de Galileo, y le hizo jurar que sostendría siempre ese sistema, dejándoselo en herencia como un legado terrible. Kepler mantuvo su juramento todo el tiempo que pudo; pero veinte años de investigaciones infatigables, aunque no geniales, le convencieron de que debía adoptar el sistema de Copérnico, y le condujeron a descubrir las tres leyes del movimiento planetario que llevan su nombre: leyes de Kepler (20).

Tan incierta, tan discutible, tan discutida, aparecía hace tres o cuatro siglos la cuestión del movimiento de la Tierra.

(20) El canciller alemán Widmanstadt, en 1533, expuso ante Clemente VII la teoría de Copérnico en los jardines del Vaticano. Un pequeño monumento marca el lugar de tan señalado acontecimiento.

En medio de estas luchas había, sin embargo, una entidad que no se mostraba hostil contra las ideas de Copérnico y sus discípulos. Esta entidad era la Iglesia. El Papa Clemente VII, que regía sus destinos cuando el canónigo de Thorn escribió su primera memoria, se mostraba favorable a la nueva teoría (21). Sus sucesores Paulo III (a quien el astrónomo dedicó su libro), Julio III, Marcelo II, Paulo IV, S. Pio V, Gregorio XIII (el reformador del Calendario), Sixto V, Urbano VII, Gregorio XIV, Inocencio XI, nada hallaron de censurable en la teoría heliocéntrica.

Preguntémosnos: ¿por qué asumía la Iglesia una actitud semejante, de tolerancia absoluta para con una teoría científica que parecía contradecir el texto literal de varios pasajes bíblicos? Porque la Biblia es un libro sagrado, no un tratado científico. Y ésta no es, como podría insinuarlo maliciosamente algún hereje de café, una teoría moderna y oportunista, forjada para hacer frente a los pretendidos mentís de la ciencia a algunos pasajes de las Escrituras: esa es la teoría, vieja de quince siglos, de los más grandes doctores de la Iglesia. A propósito de las ideas científicas que se encuentran en la Biblia, San Agustín dice ya: "Dios no se propuso enseñar a los hombres verdades profanas que no les sirven para su salvación" (22).

Análoga tesis sostiene Santo Tomás de Aquino, y ésa es también la doctrina oficial de la Iglesia, enseñada por León XIII en su Encíclica *Providentissimus Deus*. No debe sorprendernos que en materias relacionadas con las ciencias naturales la Biblia exponga ideas ingenuas y primitivas: como observa un jesuita, el P. Alfred Durand, "para anticiparse a Newton, Cuvier y Ampère, habría necesitado Moisés una revelación científica de primer orden" (23).

Por lo demás, es ridículo señalar como un "error científico de la Biblia" el que Josué dijera: "Detente, Sol". Aunque hubiera sabido cuál era la verdadera estructura del Universo — cosa que acaso ignoraba — habría empleado el lenguaje de las apariencias, que es el que empleamos cada día al decir: *sale la Luna; el Sol ya está muy alto; se ocultan las estrellas*. ¿Qué otro lenguaje podía ha-

(21) Kepler fué sañudamente combatido por sus correigionarios los protestantes. En cambio, los jesuitas le prestaron eficaz e incansable ayuda.

(22) *De Genesi ad litteram*, II. IX.

(23) *Inerrance Biblique*, en: A. D'Alès: *Dictionnaire Apologetique de la Foi Catholique*; t. I, col. 774.

blar un caudillo, temiendo que sobreviniera la noche y que la victoria se le escapara de las manos? Pero el lenguaje de las apariencias no sólo es el lenguaje de la vida diaria: es también el lenguaje de los tratados mismos de Astronomía, de los más modernos, de los más profundos, de los más exactos. Esos libros enseñan cuál es el movimiento real de los astros, pero emplean continuamente, por comodidad, el lenguaje de las apariencias y hablan del movimiento diurno de la esfera celeste, del movimiento anual del Sol, y de la aceleración de las estrellas fijas, locución paradójal y contradictoria porque lo que está fijo no puede tener aceleración!

En 1609, informado de que un óptico holandés, Lippershey, había inventado los anteojos, Galileo los construyó a su vez. Apenas provisto del primer antejo, lo dirige a Júpiter, el planeta gigante de nuestro Sistema Solar, vé sus cuatro satélites y descubre sus movimientos. Este descubrimiento sensacional no tiene mérito ninguno, ya que Galileo descubrió los satélites simplemente porque pudo verlos: el mérito estaba en la construcción del antejo. Este instrumento le permitió también hacer otros interesantes descubrimientos astronómicos: observó las manchas del Sol, cuyos movimientos le revelaron la rotación del astro; vió los volcanes de la Luna *y calculó su altura*; reconoció las fases de Venus, y halló muchísima, estrellas invisibles a la simple vista. La rotación del Sol, las fases de Venus, que probaban la revolución de este planeta al rededor del Sol, las revoluciones de los satélites de Júpiter en torno del planeta principal, convencieron a Galileo de la verdad del sistema de Copérnico, y lo decidieron a sostenerlo ardientemente. Los partidarios del sistema tradicional de Tolomeo le contradicen, y atribuyen a ilusiones de óptica los fenómenos que el gran físico pretende haber descubierto en los cielos; interpretación no tan absurda como parece al enunciarla, pues los primeros anteojos eran tan rudimentarios e imperfectos, que las observaciones hechas con ellos eran defectuosísimas e inciertas, a tal punto que las primeras observaciones del anillo de Saturno no permitieron descubrir su forma de tal, sino que el planeta ora aparecía flanqueado de dos grandes satélites, ora provisto de unas asas, ora como un disco con dos perforaciones: sólo a mediados del siglo XVII fué reconocida la existencia del anillo.

Para confundir a Galileo, sus opositores echaron mano de todos los argumentos, inclusive de los bíblicos, y entonces él se dejó arrastrar a un debate teológico y escriturario para el cual ciertamente no estaba preparado y que tenía que despertar recelos, sobre todo en una época en que el libre examen protestante amenazaba socavar la unidad de la fe y la autoridad de la Iglesia. Sometida la cuestión a conocimiento de la Congregación del Santo Oficio, ésta en 1616 condenó por herética la doctrina de Copérnico, prohibiendo a Galileo enseñarla y sostenerla. El sabio prometió obedecer, y el 9 de marzo de aquel año fué recibido por el Papa Paulo V, quien le dijo conocer la rectitud de sus intenciones, y le tranquilizó acerca de los nuevos ataques que el grande hombre temía aún de sus adversarios.

Allí habrían quedado las cosas, pero tres años después, con motivo de una polémica científica entre Galileo y un jesuita, el P. Grassi, en que los dos tenían su parte de razón, volvió a suscitarse la cuestión de la teoría de Copérnico, que aquél insistió en defender. Se abrió un nuevo y largo proceso, que sólo terminó en 1633, resultando Galileo condenado a la pena de cárcel y a la abjuración de sus "errores". Está probado que fué objeto de toda clase de consideraciones durante el proceso, y que no fué sometido al tormento (no se torturaba a los sexagenarios). La pena de cárcel se convirtió, merced a la benignidad del Papa Urbano VIII, en una simple residencia forzosa en el palacio del Duque de Toscana, en Roma, autorizándosele después a residir en Siena, en el palacio de Monseñor Piccolomini, su entrañable amigo.

En ambos procesos se discutió ampliamente el problema del movimiento de la Tierra desde todos los puntos de vista: científico, filosófico, teológico, escriturario; y hay que convenir en que Galileo no aportó en apoyo de la teoría de Copérnico ningún argumento convincente, y por ello no logró persuadir a sus jueces. Pero cuánta honradez, lealtad e inteligencia encierra esta carta que uno de ellos, el Cardenal Belarmino, escribía a Foscarini: "Yo digo que, si existe una verdadera demostración del movimiento de la Tierra, habrá que poner mucha circunspección en la interpretación de los pasajes de la Escritura que parecen contrarios, y decir que no los entendemos, más bien que declarar falso lo que está demostrado. Pero yo no creeré en la existencia de esa demostración

mientras no me haya sido hecha; y en caso de duda, no se debe abandonar la interpretación tradicional”.

Pero en ese momento no había, como las hay ahora, razones definitivas para aceptar el movimiento de la Tierra. Precisamente admiramos a Copérnico por su intuición genial, por haber comprendido, sin grandes elementos de juicio, cuál era la estructura real del Universo. Si en los siglos XVI y XVII hubieran contado los astrónomos con los datos y los recursos de que ahora dispone la ciencia, Copérnico no habría tenido mérito ninguno en haber formulado el verdadero sistema del mundo.

Galileo consideraba como un argumento definitivo a favor del movimiento de la Tierra, el fenómeno de las mareas; pero eso no es así, por dos razones: primera, porque la teoría galileana de las mareas es falsa de pies a cabeza; y segunda, porque aunque fuera cierta, las mareas se producirían igualmente, como observa Fichot a quien ya he citado antes, si la Tierra en lugar de dar vueltas en torno del Sol, se moviera en línea recta a través del espacio. Este argumento absurdo de las mareas, fué el único que Galileo adujo en el primer proceso; ¿quién se atrevería a censurar el que sus jueces no se dejaran convencer por él?

En el segundo proceso, los argumentos de Galileo fueron tres. Primero, que el sistema de Copérnico permitía explicar mejor el movimiento de los astros; pero no se trataba de explicación física o mecánica, sino simplemente de explicación o mejor aún de interpretación geométrica de las particularidades observadas del movimiento. Este argumento, siendo el más fuerte de todos, estaba lejos de ser concluyente; pues la simplicidad con que una teoría permite explicar los hechos será un indicio pero no puede constituir una prueba de que es cierta; que lo simple es cierto, que lo complicado es falso, no puede ser un criterio lógico.

Segundo argumento: el movimiento de las manchas del Sol. Este argumento tampoco es definitivo, porque las particularidades de ese movimiento serían las mismas si el Sol girase en torno de la Tierra, siempre que no cambiara la dirección de su eje de rotación. Así se lo hicieron notar a Galileo sus adversarios, y él mismo lo advirtió; pero replicó que era imposible aceptar esa conservación de la dirección del eje del Sol. La réplica del sabio era absolutamente infundada: el eje debe, efectivamente, conservar su di-

rección (salvo los fenómenos de precesión, de que no se podía tener idea en ese tiempo).

Tercer argumento: la teoría de las mareas, siempre la absurda y disparatada teoría de las mareas! Pero desde el proceso anterior, ya Galileo se había dado cuenta de que era innegable la influencia de la Luna, por lo que, sin renunciar a su errónea teoría, admitió la existencia de un elemento de periodicidad debido a la acción del satélite; pero en completo desacuerdo con la realidad de los fenómenos. Cuando sus propios amigos y discípulos le opusieron justos reparos a este argumento de las mareas, el sabio se mostró intratable, reiteró que era un argumento definitivo, y prefirió dudar de los hechos que de sus teorías.

La resistencia de la Congregación del Santo Oficio a admitir los argumentos de Galileo, aunque equivocada según se ha visto después, es perfectamente comprensible. La prueba definitiva del sistema de Copérnico sólo vino cuando, apoyado en él, pudo desarrollarse todo el edificio imponente de la astronomía moderna: entonces quedó demostrado que los jueces de Galileo habían cometido un error. Pero fué un error de la época, no de los hombres, y mucho menos de la Iglesia: en un primer proceso, considerando que el sistema de Copérnico es opuesto a las Sagradas Escrituras y que no hay a favor de él ningún argumento concluyente, los Cardenales de la Congregación del Santo Oficio lo declaran herético y prohíben que sea sostenido y enseñado. En un segundo proceso, esos hombres del siglo XVII, que no tenían ni la información, ni el concepto sobre el valor y la significación lógica de las teorías científicas, ni el modo de pensar y de actuar que tenemos los hombres del siglo XX, analizan nuevamente la cuestión de principio; no creen haberse equivocado en su resolución anterior, y ejerciendo su función de simple tribunal disciplinario, que eso es la Congregación del Santo Oficio, condenan a Galileo a la pena de cárcel por haber desobedecido. Esto no estará acorde con nuestro espíritu actual; pero no es malo en sí, y es absolutamente conforme con lo que era la mentalidad universal en aquella época.

La mejor prueba de esto, es que sólo a posteriori, es decir cuando habían variado el criterio científico, el criterio lógico, el criterio jurídico, se ha esgrimido el caso de Galileo como un arma contra la Iglesia. En el tiempo en que ocurrió, nadie, ni el mismo Galileo, puso en discusión la legitimidad de los procesos o de las

sentencias que marcaron su desenlace. El gran sabio vivió siempre una vida de cristiano perfecto y de católico practicante.

Por lo demás, ningún acto pontifical *ex-cathedra* aprobó ni confirmó jamás el decreto de 1616 ni la sentencia de 1632: nada hay pues, en todo esto, contrario a la doctrina de la infalibilidad del Papa.

Se ha hablado mucho del dolor que significaría para Galileo el tener que retractarse de sus opiniones. Esto no es así, porque durante todo el proceso él hizo vehementes protestas de ortodoxia, y dijo mil veces que si había llegado a sostener una doctrina herética, era porque, en el ardor de la polémica, sus palabras habían ido más allá de su pensamiento.

La anécdota según la cual, apenas había abjurado de la teoría de Copérnico, golpeó el suelo con el pié exclamando *Eppur si muove!* — Sin embargo, se mueve! —, data del siglo XVIII; probablemente no es, pues, auténtica (24). De otro lado, ella nada agrega ni quita a la figura de Galileo ni a la actitud de sus jueces.

Mucho se han explotado estos dos procesos, sobre todo el segundo, llamado por antonomasia el proceso de Galileo, para atacar a la Iglesia y para presentarla como enemiga de la verdad, de la ciencia y de la cultura; a ella, cuyos servicios a la humanidad en este terreno, como en todos los demás, son absolutamente sin par. Y aunque se demuestre la falsedad de la imputación, siempre existirán hombres de mala fé que empleen como armas la tergiversación y la mentira.

Lejos de creer que hay en todo esto algo desfavorable para la Iglesia, quiero hacer mención especial de una circunstancia que revela en el Cardenal Belarmino y en general en los hombres que personificaban la autoridad del catolicismo en ese tiempo, una tan segura orientación intelectual, que los constituye en igual grado que lo fué Galileo, en verdaderos precursores de la mentalidad científica moderna. Esos hombres del siglo XVII, cuyas inteligencias se movían dentro del estrecho marco del caudal de información con

(24) Esta anécdota aparece por primera vez en la obra del Abate Irailh, *Querelles Littéraires ou Mémoires pour servir à l'Histoire des révolutions dans la république des lettres depuis Homère jusqu'à nos jours* (Paris, 1761), obra cuya paternidad, como es sabido, fué atribuida a Voltaire. La encontramos también en el *Dictionnaire Historique* (Caen, 1789). Luego fué recogida por cuantos se ocuparon de Galileo y de su proceso.

que contaban, insistían en que Galileo no presentase el sistema de Copérnico como una verdad absoluta, sino como una simple hipótesis que permitía explicar, acaso mejor que el sistema de Tolomeo, los hechos observados. Durante dos siglos, fué objeto de vivo reproche esta actitud de quienes defendían la ciencia tradicional contra el avance de las ideas nuevas: ¿por qué — se ha dicho — Galileo había de presentar como simple hipótesis aquello que para él era una verdad evidente? Pues debía presentarla como una hipótesis porque no pasaba de serlo; y porque las teorías científicas sólo son verdades provisionales que hechos nuevos pueden destruir cualquier día. El ejemplo más reciente de esta actitud espiritual, que era la recomendada a Galileo por quienes representaban ante él la autoridad de la Iglesia, nos la ha dado hace pocos años un gran físico contemporáneo, Niels Bohr, profesor de la Universidad de Copenhague, que al formular su teoría de la estructura de la materia — teoría universalmente aceptada —, sólo pretende haber encontrado un modelo de átomo que permite explicar todos los hechos observados; pero sin suponer que en la realidad los átomos han de ser tales como él los ha imaginado.

Mirando las cosas objetivamente y sin pasión, y teniendo en cuenta las circunstancias de la época, debemos considerar, pues, el proceso de Galileo como un episodio inatacable en la fulgurante historia de la Iglesia. Comprendiéndolo así, la Academia Pontificia de Ciencias conmemora este año el tercer centenario del gran físico; y su Presidente, el Padre Agostino Gemelli, que es además Rector de la Universidad Católica del Sagrado Corazón, de Milán, anuncia la publicación de un libro conmemorativo, en que se pondrá una vez más en relieve la obra magnífica del gran investigador y la actitud de la Iglesia frente a él.

Galileo pasó los últimos años de su vida en su casa de Arcetri, cerca de Florencia, donde obtuvo permiso de residir. Rodeado de sus discípulos, recibiendo la visita de amigos y admiradores, tuvo una vejez gloriosa y tranquila, disfrutando de una pensión del Papa, que a pesar de su proceso y condenación, no le fué retirada. En 1638 recibió la visita de John Milton, que hacía su famoso viaje por Italia, y conferenció largamente con él, aunque sin lograr vencerle de la verdad de la teoría de Copérnico. No serían muy probatorios los argumentos que en esa época se podían aducir a favor del verdadero sistema del mundo, cuando el gran poeta — no

obstante tener un espíritu demoledor y revolucionario — continuó fiel a las ideas de Tolomeo y a su vuelta a Inglaterra siguió sosteniéndolas en sus lecciones.

Explotadas y desarrolladas sus ideas esenciales por los sabios que han cultivado las mismas disciplinas a que él consagró su atención, comprobada la verdad de muchas teorías que sestuvo ardorosamente, descartados sus errores, olvidadas sus intemperancias, Galileo aparece como una de las más recias cumbres en la historia del pensamiento científico.

Cristóbal de LOSADA y PUGA.