

El pensamiento de Galileo y sus relaciones con la Filosofía y la Ciencia Antiguas

POR EL

Prof. Rodolfo Mondolfo

En una carta del 2 de enero de 1638, anterior en cuatro años a la fecha de su muerte (8 de enero de 1642) Galileo Galilei —el gran investigador de la naturaleza e instaurador de la ciencia moderna, cuyo tercer centenario celebramos en este año 1942— comunicaba a su amigo Elia Diodati la lamentable noticia de su ceguera completa, que debía desde entonces impedirle toda realización ulterior de sus admirables indagaciones y observaciones de los hechos naturales. “Galileo, vuestro amigo, se ha vuelto ciego por completo, de manera que aquel cielo, aquel mundo, aquel universo que yo mediante mis observaciones maravillosas y claras demostraciones había ampliado por cien y mil veces más de lo comúnmente creído, se ha disminuído ahora y restringido para mí hasta el punto de no alcanzar nada más que mi persona” (1).

La gloria que el viejo contemplador del cielo, ahora vuelto impotente, se atribuía a sí mismo no era vana jactancia ni tampoco satisfacción senil, como en su libro sobre Galileo la consideró Henry Martin (2), sino firme conciencia de la significación y trascendencia de sus descubrimientos celestes.

Galileo, perfeccionando un invento de J. B. Della Porta y de

(1) Carta a Elia Diodati, 2 de enero de 1638.

(2) H. MARTIN, *Galileo, les Droits de la Science et la Méthode des Sciences Physiques*. París, 1868.

otros italianos, aplicado en aquel entonces en Middelburg y en París con fines de curiosidad y de diversión, había creado para las observaciones celestes un instrumento de incomparable valor, el anteojo astronómico, que después, por sugestión de Federico Cesi se llamó telescopio (3), mediante el cual había visto y hecho ver — a los que no se negaban (como el peripatético Cremonini) a mirar en él por miedo de encontrar desmentidas las afirmaciones de Aristóteles— cosas que nadie había visto o imaginado antes de él: las montañas de la luna y las manchas del sol, los satélites de Júpiter y el anillo de Saturno, las estrellas nuevas y las fases de Venus, la constitución de la Vía Láctea y de varias nebulosas, y otros fenómenos por cuya comunicación (hecha mediante su *Nuncius sidereus*) Juan Kepler, el otro grande astrónomo contemporáneo, le escribía con el noble entusiasmo del verdadero sabio que no conoce envidia en la colaboración desinteresada creada por la ciencia y promotora de su progreso, las dos elocuentes palabras antaño dirigidas al Redentor: “Galilae, vicisti” (o Galileo, has vencido).

Su victoria, empero, no estribaba solamente en las “observaciones maravillosas” de las que él mismo se gloriaba, sino en su vinculación con las “claras demostraciones” a las que su carta a Diodati justamente las asociaba. Observación y demostración eran los dos pernios y elementos inseparables de su método científico, de ese “método galileano” que ha sido el verdadero ejemplo y modelo de todo método experimental digno de su nombre. Las observaciones de las montañas de la luna, las estrellas nuevas, las fases de Venus y las manchas del Sol y de Júpiter no tenían su importancia esencial únicamente en sí mismas, sino también en su carácter de prueba y documentación de la unidad e igualdad entre la naturaleza celeste y la terrestre, que la tradición peripatética medieval, heredera del sistema aristotélico, había querido opo-

(3) El nombre de *telescopio* se encuentra adoptado en 1627 en el título de la obra de NICOLA ANTONIO STELLIOLA: *Il Telescopio o Ver Ispicillo Celeste* (Nápoli, 1627). J. B. DELLA PORTA, en su carta a GALILEO del 26 de setiembre de 1614, decía que seguía trabajando con FABIO COLONNA para construir un telescopio que llegara a mirar hasta el Empireo, y le permitiera publicar algún día un *Nuncius Empireus* a semejanza del *Nuncius Sidereus* de GALILEO.

ner una a otra como contrarias; el descubrimiento del anillo de Saturno y de los satélites de Júpiter no tenía su significación en los nuevos conocimientos que, sin embargo, agregaba a los anteriormente poseídos, sino más aún en su posible utilización con el fin de demostrar que un astro móvil podía ser al mismo tiempo centro de otros movimientos, y así también la tierra, centro de la revolución de la luna, podía tener su movimiento de rotación alrededor del sol, como había afirmado Copérnico, en lugar de la inmovilidad que le atribuía el sistema aristotélico-tolemaico, convirtiéndola en el centro de toda rotación celeste.

La vinculación establecida por Galileo entre observación y demostración, llamadas por él en su carta a la Gran Duquesa Madre (4) “le esperienze sensate e le dimostrazioni necessarie” —es decir, las experiencias logradas mediante los sentidos y las demostraciones lógico-matemáticas de su necesidad— era una vinculación recíproca, no unilateral: ni las experiencias sensibles de la observación podían valer científicamente sin la relativa demostración de su necesidad, ni la demostración lógica y matemática podía alcanzar su “absoluta certeza objetiva” igual a la de la naturaleza (5) sin apoyarse en la experiencia en su punto de partida y confirmarse con ella al llegar a su conclusión. Por esta reciprocidad de vinculación Galileo se diferencia de Bacon y de Descartes al mismo tiempo, representando uno del empirismo inductivo y otro del racionalismo deductivo, y los supera a ambos por su método experimental, que une la observación con la demostración, la experiencia con la necesidad racional.

La deducción de la naturaleza, que Descartes efectúa a partir de la idea de la extensión y de las leyes fundamentales del movimiento, es toda una construcción *a priori*, en la que se abre a cada etapa, según el propio Descartes, una multiplicidad de posibilidades distintas, entre las que la única realizada efectivamente resulta contingente; manifestada por la experiencia, que tiene por

(4) Carta a la Gran Duquesa Madre, madama CRISTINA DE LORENA, en *Le Opere di Galileo Galilei*, edizione nazionale (1890-1907, en veinte tomos). T. V, 309-348.

(5) Cfr. en el diálogo sobre *I Due Massimi Sistemi del Mondo (Opere)*, ed. nacion., VII, págs. 126 y 131).

ende únicamente una tarea de averiguación *post eventum*; pero no previsible *ante eventum* por falta de una necesidad causal unívoca (6).

Galileo, en cambio, por su método experimental, quiere descubrir en el hecho observado una necesidad intrínseca por su vinculación con la causa que lo produce: “es causa (dice) aquella tal que, establecida, *siempre* se engendra el efecto, quitada, se lo quita” (7). Donde se afirma una necesidad expresada decididamente por la palabra *siempre*, muy distinta a la contingencia de la deducción cartesiana: y puede afirmarse en tanto la deducción nunca se aparta de la experiencia, sino que siempre se adhiere a ella.

Pero es una deducción o demostración necesaria; y por eso se diferencia también del empirismo inductivo de Bacon: la misma fórmula citada, de definición galileana de la causa, contiene mucho más que la simple anticipación de las *tabulae praesentiae* y *tabulae absentiae* de Bacon que en ella ha visto Gentile (8). Bacon con sus tablas de presencia y de ausencia (así como más tarde Stuart Mill con sus métodos de *concordancia* y *diferencia*), mira únicamente en la constatación de los hechos; y la constatación tiene validez para los hechos observados, no necesariamente para los otros. La inducción baconiana (observó Masci) (9) queda todavía en los lindes de la inducción aristotélica, por simple enumeración, que nunca puede ser completa, y muestra su defecto justamente en la pretensión de pasar de los casos observados a los observables, de los realizados a los posibles, de una parte (por numerosa que sea) a la totalidad infinita. Ahora bien, Galileo había ya puesto de relieve que en esta forma de conocimiento *extensivo* y no *intensivo*, aun cuando tenemos la experiencia y comprensión de mil casos, no tenemos nada,

- (6) Ver en Liard, *Descartes*, París, 1903, el capítulo: *Du rôle de l'expérience dans la Physique Cartésienne*, y cfr. también *Principes*, IV, art. 204 y 205 y otros pasajes citados por Liard.
- (7) La fórmula más completa (con la palabra *siempre*) se encuentra en un pasaje de la obra *Il Saggiatore* (*Opere*, VI, 262 y sigts.). Cfr. las citas en la obra de A. PASTORE, *Il problema della causalità*, (Torino, 1921), Vol. I, pág. 120.
- (8) G. GENTILE, *Frammenti e lettere di Gal. Galilei* (Livorno, 1917), pág. 56, nota 1.
- (9) F. MASCI, *Logica*. Napoli, pág. 312.

“porque mil frente a la infinidad es como cero” (10). Por este camino no puede llegarse a la afirmación de una ley teórica, es decir, de una necesidad natural. Para alcanzar un conocimiento verdaderamente científico (piensa Galileo), hay que lograr la comprensión de la necesidad intrínseca de los fenómenos de la naturaleza, la cual puede darnos el cálculo matemático en la astronomía, el método experimental en la física. Ambos —observa Pastore—, a quien debemos el más penetrante y decidido análisis del método galileano— ambos procesos lógico-deductivos, constituidos, uno por símbolos abstractos, otro por símbolos concretos (11), que nos llevan del puro entendimiento *extensivo*, (de la acumulación de observaciones y experiencias), al *intensivo*, (de la comprensión cierta de su necesidad).

Las operaciones extremas del método experimental galileano, dice Pastore, son la observación cuidadosa, llamada por él “*esperienza sensata*”, y la deducción o “*dimostrazione necessaria*”: se le planteaba por ende el problema de cómo establecer una continuidad entre una y otra, es decir entre lo contingente y lo necesario. En la solución de este problema mediante el empleo de la hipótesis técnica como medio de investigación y de prueba, estriba la originalidad del método de Galileo y su mérito en la creación de la física moderna.

Copérnico, de acuerdo con la observación de G. Bruno (12), había ya ofrecido el ejemplo del uso de la hipótesis matemática para la demostración física en astronomía; pero Galileo intuye la afini-

(10) En el *Dial. dei Massimi Sistemi*, cfr. *Opere*, VII, 126-131. “Si la inducción (dice también Galilei) debiera pasar por todos los casos particulares, resultaría esto imposible o inútil: imposible, si los particulares fueran innumerables; y si fueran numerables, considerarlos todos haría inútil, más bien de ningún valor, concluir por inducción. Pues, si por ej. los hombres del mundo fueran solamente tres, decir: puesto que Andrés corre, Jacob corre, y Juan corre, entonces todos los hombres corren, sería una conclusión inútil y repetir dos veces la misma cosa”. Cfr. la cita en Fazio Allmayer, *Galileo Galilei*, Palermo, Sandron, pág. 116 y sig).

(11) *Obra citada*, pág. 123.

(12) En su diálogo *La cena delle ceneri* (*Opere italiane*, ed Gentile, Bari, Laterza, I, pág. 52), BRUNO dice que COPERNICO “realiza no solamente la función del matemático que introduce la hipótesis, sino también la del físico que demuestra el movimiento de la tierra”.

dad que existe entre el cálculo matemático usado por la astronomía y el experimento usado por la física, en tanto ambos se sirven de una hipótesis para llegar deductivamente al descubrimiento de hechos nuevos, demostrando de tal manera su necesidad natural. Pueden las hipótesis ser a veces verdaderas, a veces arbitrarias; pero la distinción entre las que sirven únicamente para “salvar las apariencias” y las que se utilizan en cambio para “investigar la verdadera constitución del universo” (13) resulta de su averiguación, efectuada mediante la producción misma de los hechos en el experimento, que realiza deductivamente la hipótesis. El momento decisivo del método experimental, pues, que constituye la operación intermedia entre la observación contingente y la demostración necesaria, está en la concepción de un artificio natural, apto a la realización deductiva de la hipótesis teórica.

Analícemos el procedimiento por el cual Galileo, en oposición a las erróneas ideas de Aristóteles, llegó al descubrimiento y la demostración de las leyes de la caída de los cuerpos, fundamento de toda la mecánica. Las cuatro leyes de Galileo son las siguientes:

- 1) La velocidad de la caída de un cuerpo es independiente de su masa;
- 2) La velocidad de la caída de un cuerpo es independiente de su naturaleza;
- 3) La velocidad adquirida por un cuerpo que cae libremente, a partir del estado de reposo, es proporcional a los tiempos;
- 4) Los espacios recorridos son proporcionales a los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.

Para deducir esas leyes Galileo debió en primer lugar idear sus hipótesis teóricas abstractas, en contraste con las opiniones peripatéticas dominantes en su tiempo. Superada la oposición peripatética entre cuerpos graves (que tienden hacia abajo) y ligeros (que tienden hacia arriba) por la reconocida gravedad de todos los cuerpos, había que eliminar la convicción aristotélica de que la velocidad de la caída de los cuerpos estaba vinculada con su naturaleza y su masa, y que un movimiento cualquiera no podía mante-

(13) Cfr. *Opere*, V, 192; PASTORE, *Obra citada*, pág. 130.

nerse si no seguía ejerciéndose la acción de la fuerza motora sobre el cuerpo móvil. Contra esta última idea Galileo afirma el principio de inercia (ya intuido por Leonardo), por el que cada cuerpo tiende a perseverar en su condición de reposo o de movimiento, si no interviene la acción perturbadora de una fuerza exterior. Y demuestra ese principio realizando experimentalmente la deducción de su hipótesis, de acuerdo a la cual un movimiento tiende a mantenerse indefinidamente a medida que lleguen a eliminarse las resistencias que se oponen a su continuación. Para la realización experimental de la hipótesis deductiva, había, pues, que eliminar toda influencia perturbadora del movimiento y disminuir hasta lo posible las resistencias de roce, derivables ya sea del cuerpo móvil, sea del medio a través del que se efectúa su movimiento; por eso Galileo usó superficies horizontales, a fin de que el impulso comunicado inicialmente al móvil no padeciera alteración por la gravedad (como habría ocurrido sobre superficies inclinadas), arrojando sobre ellas bolitas esféricas, alisadas lo más perfectamente posible, igual que las superficies, a fin de reducir a lo mínimo la acción del roce.

Otro experimento, realizador de una hipótesis deductiva, es el ideado y efectuado por él para la refutación de la teoría peripatética que vinculaba la velocidad de la caída de los cuerpos con su masa. Se trata del muy conocido experimento, efectuado por Galileo desde la cima de la torre inclinada de Pisa, dejando caer simultáneamente dos pesas diferentes, por ej. una de una libra, otra de diez, para mostrar que ambas tocaban el suelo en el mismo instante. El relato de ese experimento, dejado por su discípulo Vicente Viviani, cuya veracidad algunos historiadores modernos quisieron poner en duda, tiene plena conformidad con la explicación del propio Galileo en su *Apostillas a las ejercitaciones filosóficas de Rocco, filósofo peripatético*. Sin embargo, semejante experimento no solamente había sido efectuado antes (sin que Galileo tuviera noticia de eso) reiterada y cuidadosamente por Simón Stevinus ⁽¹⁴⁾ en Holanda, sino que había sido ya en la antigüedad ideado por un

(14) Cfr. SIMON STEVINUS, *Oeuvres*, II, 501.

platónico comentarista de Aristóteles, Juan Filóponos, así como lo han puesto de relieve en nuestros días Wohlwill ⁽¹⁵⁾ y W. A. Heidel ⁽¹⁶⁾.

Aunque ni Galileo ni Stevinus hayan tenido conocimiento del relativo pasaje de Filóponos, ignorado también modernamente por Whewell en su *Historia de la ciencia inductiva* ⁽¹⁷⁾, merecen ser referidas sus palabras para ilustrar la diferencia en el planteamiento del problema de parte de él y de Galileo.

“De acuerdo a Aristóteles, decía Filóponos, si el medio a través del cual se efectúa el movimiento es el mismo, pero los cuerpos móviles son diferentes en su peso, sus tiempos tendrían que proporcionarse a sus respectivos pesos... Pero ésto resulta completamente falso, como puede mostrarse por la experiencia más claramente que por una demostración lógica. Pues si dejáis caer dos cuerpos de peso muy distinto al mismo tiempo y de la misma altura, observaréis que la rapidez del movimiento no resulta proporcional a su peso, sino que habrá solamente una diferencia mínima en el tiempo, de manera que si su diferencia de peso no es muy grande, sino que un cuerpo es dos veces más pesado que el otro, los tiempos no tendrán diferencia perceptible” ⁽¹⁸⁾.

Filóponos, por lo tanto, no se había liberado aún radicalmente del prejuicio aristotélico, que Galileo en cambio rechaza decididamente; y además, por lo que a la prueba se refiere, quería que la experiencia se substituyera a la demostración lógica, como más clara y fácil para alcanzar, mientras para Galileo el experimento debe concebirse y efectuarse no en substitución, sino en función de la demostración lógica, como realización concreta y práctica de la deducción teórica, que al inspirarlo y dirigirlo lo convierte de simple

(15) *Mitteilungen zur Geschichte der Medizin un der Naturwissenschaften*, Leipzig, 1905, T. IV, pág. 241 (citado por Heidel).

(16) W. A. HEIDEL, *The heroic age of science (The conceptions, ideals and methods of science among the ancient greeks)*, publ. por Carnegie Inst. of Washington, Baltimore, 1933; págs. 186 y sigts.

(17) W. WHEWELL, *History of the inductive sciences from the earliest to the present time*, 1ª. ed., London, 1837.

(18) Cfr. PHILOPONI in *physicorum libros quinque priores*, ed. Vitelli (en la colección: *Commentaria in Aristotelem Graeca*, ed. Academia de Berlín), pág. 683, línea 7 y sigts.

realidad de hecho en prueba de una necesidad natural. Galileo supera la misma posición de Leonardo, su precursor más grande, quien, sin embargo, había afirmado la exigencia de asociar la razón demostrativa con la experiencia. “Mi propósito (había escrito Leonardo) es alegar primero la experiencia y después demostrar mediante la razón por qué semejante experiencia está necesitada para obrar de tal manera. Y ésta es la verdadera norma de acuerdo a la cual tienen que proceder los investigadores de los hechos naturales. Y a pesar de que la naturaleza comienza por la razón y termina en la experiencia, a nosotros nos es preciso recorrer camino contrario, es decir, comenzar por la experiencia y mediante ella investigar la razón” (19).

De esta exigencia expresada por Leonardo difiere la afirmada por Galileo, en tanto su experimento está precedido por la razón deductiva, es decir, realiza en la producción de los hechos una necesidad anteriormente deducida por vía racional. De acuerdo a su declaración explícita, su experimento relativo a la igual velocidad de la caída de cuerpos diferentes por su peso ha sido, antes de su realización concreta (cuyo ejemplo había encontrado en la caída simultánea de piedras de granizo grandes y pequeñas), deducido racionalmente de un axioma que nadie podía poner en duda: el de que cada cuerpo en su caída tiene su velocidad natural, alterable únicamente por una acción perturbadora. Esta no puede ser ejercitada por la agregación de otros cuerpos iguales, que al caer al mismo instante, de la misma altura, caen manifiestamente con igual velocidad; de manera que el compuesto más pesado no tendrá velocidad de caída diferente a sus partes separadas (20).

(19) Cod. E, fol. 55 (Ed. Naz).

(20) En su relato (*Postille alle esercitazioni filosofiche di Rocco filosofo peripatetico*, en *Opere*, t. VII), GALILEO empieza, sin embargo, por decir que “donde llega la experiencia no se necesita la razón”, pero agrega que producirá ésta también, “porque fui persuadido por la razón antes de ser garantizado por los sentidos. Yo establecí un axioma que no pudiera ser puesto en duda por nadie, es decir, que cualquier cuerpo grave, al caer, tiene en su movimiento una velocidad limitada y prefijada por la naturaleza, de manera que no se puede ni aumentarla ni disminuirla sin hacer violencia para demorar o apresurar dicho movimiento natural. Establecido este razonamiento, imaginé mentalmente dos cuerpos iguales por magnitud y peso, por ej. dos ladrillos que

Este carácter deductivo y necesario del experimento galileano es justamente el que Pastore ha puesto de relieve refiriéndose a la demostración del movimiento uniformemente acelerado. “Fundándose en numerosas y cuidadosas observaciones empíricas (dice Pastore), Galileo consideró a la gravedad como una fuerza continua, que comunica al cuerpo que cae en cada infinitésimo de tiempo un infinitésimo de movimiento que perdura en los tiempos sucesivos. Claro que la adición de estas particulares velocidades nos da la ley de la velocidad, de donde puede deducirse la ley de los espacios. Esta fué la primera fase de la operación, es decir, la ideación de la hipótesis. Después vino la segunda, es decir el artificio natural. El artificio natural realizado por Galileo fué el plano inclinado, con la esfera que cae en tiempos y espacios medidos que pueden variarse a voluntad... La experiencia directa realizada en seguida sobre ese modelo, confirmó plenamente, es decir de manera física concreta, la hipótesis lógica abstracta, y permitió la determinación exacta de las leyes relativas a la caída de los cuerpos, citadas más arriba” (21). Justamente Kant celebró este experimento como una “revelación luminosa” a la que la física es deudora de una feliz revolución de su método (22).

En este caso, y en todos los otros, siempre Galileo inserta entre la observación contingente o experiencia sensible de los hechos y la deducción necesaria esos dos momentos: el de la ideación de la hipótesis lógica que constituye el modelo teórico (llamado por él hipótesis. teoría, conjetura, etc.), y el de la realización del modelo práctico o técnico (llamado por él ejemplo, experiencia, artificio, máquina, etc.). Por este modo Galileo pasa de los hechos a la idea de su conexión racional, y de ésta vuelve a los hechos, pero con la

cayeran de una misma altura al mismo instante. Estos no se puede dudar de que bajarán con velocidad igual (la destinada por la naturaleza), que no puede ser acrecentada por otro móvil si no se mueve con velocidad mayor. Pero si imaginamos que los ladrillos al bajar se unan y junten entre ellos, ¿cuál de los dos puede aumentar el ímpetu y duplicar la velocidad al otro, puesto que ésta no puede ser acrecentada por un móvil sobrevenido, si no se mueve con velocidad mayor? Se precisa, entonces, acordar que el compuesto por dos ladrillos no altera su velocidad anterior”.

(21) PASTORE, *Il problema della causalità*, cit., I, pág. 130 y sigts.

(22) Cfr. *Prefacio* a la segunda edición de su *Crítica de la razón pura*.

deducción de su necesidad. El método experimental no queda en los lindes de la inducción cartesiana, que al separarse de la observación de los hechos tiene que considerar contingente la realización de uno entre los muchos deducibles, sino que ofrece un conocimiento cierto, en el que la forma racional se adapta perfectamente con la materia de la experiencia. Hay en este método (como dice Pastore), una especie de silogismo, cuyo término mayor está constituido por la deducción, el menor por la observación, el medio por la hipótesis modelo, que se realiza en la máquina del experimento.

Había sin duda antecedentes en la construcción de máquinas para la aplicación y demostración experimental: Leonardo y Benedetti habían dado el ejemplo en el Renacimiento, así como Arquitas y Arquímedes en la antigüedad. Pero Arquímedes, nos dice Plutarco (23), “no quiso escribir nada sobre esas artes mecánicas, que sirven tan sólo para satisfacer necesidades materiales de la vida, sino que dedicó todos sus esfuerzos a los estudios cuya sutileza y armonía no dependen de la necesidad. Estos estudios, pensaba, no pueden compararse con ningún otro, en ellos la materia está penetrada en la demostración; ésta les da magnitud y belleza, aquélla precisión y poder”.

En cambio, Galileo vió que los modelos mecánicos podían servir a necesidades racionales de demostración, y por eso podían tener magnitud y belleza no menos que precisión y poder al otorgarnos la certeza del conocimiento científico. Su punto de vista podía, quizá, encontrar un antecedente en el experimento de Anaxágoras, de la vejiga inflada para demostrar la existencia y consistencia de lo invisible; mejor aún en la construcción pitagórica del monocordio a puente móvil que demostraba la correspondencia entre las diferencias de las notas musicales y las de la extensión de las cuerdas vibrantes, por la que las variedades de los sonidos se hacían geoméricamente mensurables.

Pero, por lo que parece resultar de los testimonios antiguos, la construcción del instrumento pitagórico había sido casual medio de descubrimiento de una ley no imaginada antes, en lugar de ser

(23) Cfr. *Vidas paralelas*, Marcelo, 14, 20.

un consciente artificio de demostración de una hipótesis teórica anteriormente concebida, como en Galileo.

De todas maneras, el antecedente pitagórico tenía una importancia esencial para el pensamiento de Galileo, pues la demostración de la necesidad causal de los hechos, que él quería alcanzar mediante el experimento, se fundaba en su sometimiento al cálculo y la medida matemática, lo cual daba por supuesta una concepción matemática, es decir, justamente pitagórica, de la naturaleza.

En esta dirección Galileo había sido encaminado desde niño por las enseñanzas de su padre, Vicente Galileo, músico eminente, discípulo de José Zarlino, el mayor teórico musical de su tiempo, con el que, más tarde, tuvo una disputa acerca de los sistemas de Pitágoras y Tolomeo, escribiendo sobre el asunto un *Discurso* (24). Inspirándose en los fragmentos de Aristógenos pitagórico, traducidos en 1562, Vicente Galileo podía enseñar a su hijo que todo en la música y la armonía está regido por leyes matemáticas, lo que era quizá el camino principal por el que los pitagóricos habían llegado a su intuición matemática de la naturaleza. Cooperaba además en la misma dirección el antecedente platónico del *Timeo* (inspirado también por el pitagorismo), que convertía la distinción de los llamados *elementos* naturales en diferencias de formas geométricas, constituídas por los poliedros regulares, descomponibles en triángulos elementales. Análogamente, Galileo considera a la naturaleza como un libro que no todos saben leer por estar escrito en caracteres distintos a los de nuestro alfabeto: “y son los caracteres de semejante libro triángulos, cuadrados, círculos, esferas, conos, pirámides y otras figuras matemáticas, aptísimas para tal lectura” (25).

Por esta convicción Galileo, en un fragmento suyo, establecía como inscripción: “Para colocar e en el título del libro de todas sus obras: De aquí comprenderáse por ejemplos infinitos qué utilidad tienen las matemáticas para concluir acerca de las proposiciones naturales y cuán imposible resulta filosofar bien sin el auxi-

(24) *Discurso in torno alle opere di Giuseppe Zarlino* (1859), insertado después en su *Dialogo sopra la musica antica e la moderna*.

(25) *Opere*, T. XVIII, Lettera 4106.

lio de la geometría, de acuerdo a la verdad expresada por Platón” (26).

Y se declaraba también de acuerdo con Platón en “admirar al intelecto humano y estimarlo partícipe de divinidad solamente por el hecho de entender la naturaleza de los números (27), y se proclamaba “en muchas opiniones filósofo pitagórico”, expresando reiteradamente su admiración para los pitagóricos, quienes (decía) “nunca han sido convencidos enteramente de falsedad, sino sólo donde una iluminación más alta de la natural (la revelación) nos persuade de otra manera” (28).

Este matematicismo pitagórico-platónico en la investigación y comprensión de la naturaleza significaba, pues, no solamente atribuir una preeminencia a los caracteres cuantitativos de los fenómenos (objeto del estudio matemático) sobre los cualitativos (objeto de la inmediata percepción sensible), sino considerar a éstos reductibles a aquéllos como a su causa objetiva real. Es decir, implicaba una teoría del conocimiento parecida a la de Demócrito, que justamente consideraba realidad efectiva en la naturaleza solamente a los átomos y el vacío —que tienen únicamente determinaciones cuantitativas o aritmo-geométricas (magnitud, forma, situación, número, movimiento, etc.)— y reducía a pura impresión subjetiva todos los caracteres cualitativos de colores, olores, gustos, calor y frío, etc.

A esta teoría democrítea vuelve justamente Galileo, expresándola en su obra *Il Saggiatore*, a propósito de su afirmación de que el movimiento es causa de calor. Escribe Galileo: “Necesito hacer unas observaciones acerca de lo que llamamos calor, del que dudo que generalmente se tenga una idea muy alejada de la verdad, al creerlo un accidente verdadero, una afección o cualidad que realmente está en la materia por la que sentimos calentarnos. Digo, pues, que, sin embargo, me siento necesitado, cuando concibo una materia o sustancia corpórea, a concebir al mismo tiempo que ella está terminada o figurada por esta figura o aquélla, es grande o

(26) *Opere*, T. VII, pág. 613 y sigts. Cfr. también VIII, 175.

(27) *Opere*, T. VII, pág. 35.

(28) *Opere*, T. VI, pág. 45.

pequeña en relación a otra, está en este lugar o en aquél, en este tiempo o aquél, se mueve o está en reposo, está en contacto o no con otro cuerpo, es una o pocas o muchas; ni puedo por ninguna imaginación separarla de esas condiciones. Pero que tenga que ser blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de buen o mal olor, no me siento forzado mentalmente a deber aprehenderla acompañada necesariamente por semejantes condiciones; más bien, si los sentidos no nos guiarán, acaso el razonamiento o la imaginación nunca llegarían a ellas. Por lo cual voy pensando que estos gustos, olores, colores, etc. por lo que se refiere al objeto (29) en que nos parecen estar, no son sino puros nombres, y están, en cambio, únicamente en el cuerpo sensitivo, de manera que, quitado el animal, ellos también queden quitados y reducidos a la nada, si quisiéramos creerlos verdadera y realmente distintos a los otros primeros y reales accidentes, así como les hemos dado nombres particulares y distintos a los de aquéllos... Que en los cuerpos exteriores, para excitar en nosotros gustos, olores y sonidos se precise otra cosa que magnitudes, figuras, multitudes y movimientos tardos o rápidos, no lo creo, y pienso que, quitadas orejas, lenguas, narices, quedan, sin embargo, figuras, números y movimientos, pero no olores, gustos, sonidos, los que fuera del animal viviente no creo que sean más que nombres'' (30).

Igualmente dirá Descartes, en sus *Principios de filosofía*: "Nos apercebimos de ninguna manera de que todo lo que está en los objetos y que llamamos su luz, sus colores, olores, gustos, sonidos, calor o frío y sus otras cualidades que sentimos por el contacto... sean en ellos otra cosa sino las distintas figuras, situaciones, magnitudes y movimientos de sus partes, que están dispuestas de tal manera que pueden mover a nuestros nervios en todos los modos distintos que se precisan para excitar en nuestra alma los varios sentimientos excitados por ellas'' (31). Por eso Descartes concluía

(29) El texto italiano dice en realidad: "per la parte del *soggetto* nel qual ci par che riseggano"; pero sabido es que *soggetto* (sujeto) tenía otra vez el sentido de "sostén de las cualidades y determinaciones", cuya idea se expresa ahora por la palabra *objeto* cuando se refiere a una realidad exterior al *sujeto* consciente que la percibe.

(30) *Opere*, T. VI, pág. 347 y sgts.

(31) *Principes de Philosophie*, livre IV, art. 198.

que “todo el universo es una máquina donde todo se hace por figura y movimiento”, y declaraba que “toda su física no era sino geometría y mecánica” (32).

El carácter de realidad objetiva que Galileo (y Descartes con él) atribuían a las determinaciones cuantitativas, llamadas por Galileo “*primi e reali accidenti*”, estribaba, pues, en la necesidad que las une a toda idea de los cuerpos, impensables sin ellas, necesidad que falta en cambio para las determinaciones cualitativas. Por eso el conocimiento de los caracteres cuantitativos resulta verdadera para Galileo, pues es un conocimiento *necesario* y se desarrolla en todo el sistema de sus relaciones de manera necesaria bajo el dominio de la matemática; en cambio, el conocimiento de las cualidades sensibles, ofrecidas por la sola experiencia sensible en su contingencia y variabilidad, le resulta relativo y subjetivo. La diferencia entre los dos está vinculada, pues, a la distinción establecida por Galileo entre razón y sentido, mejor dicho, entre afirmación separada de los sentidos y su unión y sometimiento a la razón; en cambio, cuando Locke, por su empirismo, suprime esta distinción, quita el fundamento a su misma afirmación de que las cualidades primarias son inseparables de los cuerpos, y abre el camino a Berkeley para convertirlas en relativas y subjetivas como las secundarias.

La necesidad racional era para Galileo el carácter distintivo del conocimiento objetivo y el fundamento sólido de su certeza: una certeza que en la matemática puede, para él, igualar a la del conocimiento divino. Si el entendimiento humano bajo el aspecto *extensivo* resulta casi nada en comparación con el divino, en cambio al considerarlo bajo el aspecto *intensivo* (dice Galileo) “el intelecto humano comprende unas proposiciones tan perfectamente y tiene tan absoluta certeza, cuanta puede tener la naturaleza misma; y esto ocurre en las ciencias matemáticas puras... de las que el intelecto divino sabe, sin embargo, infinitas proposiciones más, pues las sabe todas; pero de las pocas entendidas por el intelecto humano, creo que su conocimiento iguala a la certeza objetiva di-

(32) *Principes de Philosophie*, l. IV, art. 188. Cfr. *Lett. VII*, 121.

vina, porque llega a comprender la necesidad, por encima de la cual no parece poder existir seguridad mayor..." (33).

El tránsito del conocimiento empírico al científico se realiza, pues, para Galileo en el tránsito de la contingencia a la necesidad; en ésta se halla la certeza de su valer objetivo.

Pero la objetividad de nuestro conocimiento no llega a significar para Galileo lo que significa para Descartes, es decir, la comprensión de la esencia de las cosas, sino que siempre queda limitada en el campo de los fenómenos. Las esencias o sustancias o (como dirá Kant) las cosas en sí, pueden, según la opinión de Galileo, verlas Dios y los espíritus en el estado puro de bienaventuranza (34), pero no los hombres, que ven únicamente los fenómenos.

Descartes, en una carta al P. Mersenne, se lo ha reprochado a Galileo como una falta de profundización del problema: "él intenta examinar las materias físicas mediante razones matemáticas, y en éso estoy perfectamente de acuerdo con él y no encuentro otro medio de hallar la verdad. Pero su defecto está en... no detenerse nunca a explicar por completo su materia, lo cual muestra que no la ha examinado con orden, y que sin haber considerado a las causas primeras de la naturaleza, ha investigado únicamente las razones de unos efectos particulares, y así ha construído sin fundamentos" (35).

En cambio, Galileo no creía que las causas primeras y las esencias pudieran ser objeto de ciencia o conocimiento verdadero para los hombres, porque la ciencia de la naturaleza no puede formarse mediante hipótesis no sometibles a la verificación experimental, que pueda demostrar su necesidad. La vinculación establecida por él entre las "demostraciones necesarias" y las "experiencias sensibles" era, así como dijimos, una vinculación recíproca: como la experiencia no podía valer científicamente sin la demostración de su necesidad, así la demostración no podía tener su absoluta certeza objetiva sin la confirmación del experimento. Deducción y ex-

(33) *Opere*, T. VII, pág. 128 y sigts.

(34) *Opere*, T. V, pág. 187 y sigts.

(35) Ver las cartas al P. Mersenne, del 8 de octubre y 15 de noviembre de 1638.

perencia no podían separarse y aislarse mutuamente en la ciencia de la naturaleza, sino que debían proceder siempre juntas y unidas; de otra manera podía tenerse, sin embargo, hipótesis aptas aún para “salvar de cualquier manera las apariencias” (36), pero no se podía “investigar la verdadera constitución del universo” cuyo conocimiento puede lograrse únicamente “rebus ipsis dictantibus”, es decir, en una necesidad dictada y confirmada por los hechos.

Hipótesis, sin duda, que son puras hipótesis explicativas y nada más, se encuentran también en los escritos de Galileo, como por ejemplo sus ideas metafísicas del éter y la luz, pero Galileo tiene cuidado de presentarlas como puras hipótesis imposibles de verificar, que, por ende, no pueden convertirse en ciencia. “Yo, dice, considerándome inferior a todos y someténdome por lo tanto a todos los sabios, diría que me parece existir en la naturaleza una sustancia máximamente espiritual, sutil y veloz en sumo grado, que se difunde por todo el universo y penetra en todas partes sin obstáculo y calienta, vivifica y convierte en fecundas a todas las criaturas, etc.” (37).

Esta metafísica del éter, que parece identificarse no solamente con la luz y el calor, sino también con el espíritu divino —así como en Dionisio Areopagítico y los neoplatónicos y antes en los órficos-pitagóricos, con su luz infinita invisible y su fuego supremo empíreo—, esta metafísica que había repercutido ya en Bernardino Telesio, Francisco Patrizzi y Tomás Campanella, Galileo no la presenta como un conocimiento efectivo, sino como un anhelo destinado a quedar siempre insatisfecho. “Me habría ofrecido (dice) a permanecer en la cárcel a pan y agua toda mi vida si hubiera tenido la seguridad de alcanzar por mí mismo un conocimiento tan desesperado” (38).

En esta distinción entre hipótesis deductiva verificables por el cálculo matemático y el experimento, e hipótesis metafísicas que ningún cálculo o experimento puede alcanzar, estriba para Galileo

(36) *Opere*, T. V, pág. 192.

(37) *Opere*, T. V, pág. 301 y sigts.

(38) Citado por FAZIO ALLMAYER, *Galileo Galilei*, pág. 72 y sigts.

la diferencia entre la ciencia física con sus conocimientos necesarios y la filosofía que no puede lograr la necesidad de sus demostraciones. Sin duda entre una y otra no hay tampoco en Galileo, ni podía haber, una separación absoluta. Ideas preconcebidas tienen también en su investigación científica una parte de fundamental importancia, a veces confirmadas de manera adecuada por la observación experimental, como la idea de la unidad de la naturaleza universal, opuesta al dualismo platónico-aristotélico entre mundo celeste de la perfección eterna inmutable y mundo terrestre de la imperfección, el cambio y la mortalidad. La idea de la unidad de la naturaleza y del heliocentrismo era una vuelta a los presocráticos y particularmente a los pitagóricos, cuya sugestión ya había inspirado a Copérnico; pero podía encontrar confirmación no solamente en el cálculo astronómico usado también por Copérnico, sino además en las múltiples observaciones que Galileo podía alcanzar mediante su telescopio.

Sin embargo, en otros casos la confirmación del cálculo y de la observación vinculada con una deducción teórica no se podía lograr de manera adecuada; así en cuanto a la otra idea inspiradora de Galileo, la de la simplicidad de la naturaleza. “La naturaleza (escribe), por común consentimiento, no efectúa mediante la intervención de muchas cosas lo que puede efectuar mediante pocas” (39); “la naturaleza no multiplica sin necesidad las cosas y se sirve de los medios más fáciles y simples para producir sus efectos, y nada hace en vano” (40); “(Dios) tiene siempre en sus operaciones, los modos más fáciles y simples, aunque en los más difíciles se revela mayormente su potencia” (41).

En estas y otras afirmaciones parecidas Galileo habla del consentimiento común y de la aceptación por todos los filósofos, los que no son argumentos válidos de acuerdo a sus exigencias científicas y a toda su lucha contra el sistema tolemaico. Su idea de la simplicidad de la naturaleza tiene, sin embargo, una importancia y utilidad esencial como canon y criterio de selección de las hipó-

(39) *Opere*, T. VII, pág. 143.

(40) *Opere*, T. VII, pág. 423. Cfr. también XI, *Lettera* 532.

(41) *Opere*, T. VII, pág. 565.

tesis deductivas, orientando a los investigadores hacia la preferencia para las más simples, que son las más aptas a la deducción necesaria verificable mediante el experimento. Pero en el fondo de su convicción hay una idea teológica, aplicada a la naturaleza, por considerarla *divina*, de acuerdo a la orientación general del renacimiento, que había encontrado su máxima expresión en Giordano Bruno .

De Bruno también y de los antiguos pitagóricos y atomistas vienen a Galileo sugerencias acerca de las concepciones de lo infinito y lo mínimo.

La idea de la infinitud del universo tiende a afirmarse en su pensamiento sobre todo en oposición a la idea aristotélica de su limitación, cuya confutación él efectúa acercándose en varios puntos a Bruno, como puso de relieve Tocco ⁽⁴²⁾. Sin embargo, a Galileo no le parece posible demostrar de una manera necesaria ni la infinidad ni la limitación; pero (dice) un razonamiento particular lo hace inclinar más hacia la primera que hacia la segunda, es decir, que no logrando el intelecto humano concebir para el todo ni la finitud, allende la cual siempre piensa algo más, ni la infinitud, que no alcanza a abarcar, no puede explicarse esta incapacidad suya sino mediante la infinitud real del objeto pensado. Porque si fuera limitado efectivamente, el intelecto finito debería poder comprenderlo, mientras, siendo infinito, la incomprensión se explica por la ineptitud de un intelecto finito para comprender un objeto infinito ⁽⁴³⁾. Más decididamente afirma Galileo la infinitud en relación a la divisibilidad de lo extenso y continuo, definido por Aristóteles como lo que puede dividirse en partes siempre divisibles. Galileo acepta esta proposición, pero observa, contra Aristóteles, que, para seguir dividiendo infinitamente un continuo finito, se necesita que el número de sus partes sea realmente

(42) Véase F. TOCCO, *Le opere latine di G. Bruno, esposte e confrontate con le italiane*, Firenze, 1889. Ver especialmente el prolijo análisis del poema *De immenso et innumerabilibus*.

(43) *Opere*, T. XVIII, *Lettera* 3922.

infinito, lo que puede realizarse solamente si las partes mínimas son carentes de cantidad, es decir, puntos matemáticos indivisibles. La infinita divisibilidad, por ende, le resulta condicionada por la existencia de los indivisibles, los puntos, matemáticos, inmateliales, lo cual representa una vuelta a ideas pitagóricas, transformadas por el monadismo de Bruno (44). •

De manera que en su oposición al sistema aristotélico-tolemaico, Galileo no se ha inspirado únicamente en la experiencia y observación directa de la naturaleza. Esta exigencia parecían expresar sus múltiples afirmaciones de que “es simplicidad ir buscando el sentido de las cosas de la naturaleza en los papeles de éste y de aquél más bien que en las obras de la naturaleza, que, siempre viva y obrando, está presente delante de nuestros ojos, verídica e inmutable en todas sus cosas” (45). Por lo tanto (agregaba Galileo) “la autoridad de los antiguos y modernos filósofos y matemáticos no tiene fuerza para establecer ciencia de ninguna conclusión natural, y lo más que pueda hacer es engendrar opinión e inclinación para crecer ésta más bien que aquélla cosa” (46).

Pero esa generación de opiniones o inclinaciones intelectuales no carecía de importancia en el método galileano, que no se limitaba a las experiencias de los sentidos, sino que exigía también las demostraciones necesarias. El experimento debía realizar hipótesis deductivas, cuya concepción podía despertarse en el intelecto justamente a raíz de opiniones o inclinaciones intelectuales, es decir, de ideas preconcebidas, sugeridas a veces, sin duda, por la experiencia misma, pero a veces también (como hemos visto) por ideas de otros investigadores antecedentes, ya sea mediante su aceptación, sea mediante su crítica o rechazo.

Por eso el estudio de los antecesores no podía resultar vano, y lo demuestra el ejemplo mismo de Galileo, conforme al de Aristó-

(44) Cfr. GALILEO, *Opere*, T. VII, 682 y sigts.; FAZIO ALLMAYER, *Obra citada*, pág. 90 y sigts. y 150-154; TOCCO, *Le opere latine di G. Bruno*: ver todo el análisis del poema *De minimo*, del que pueden desprenderse las numerosas afinidades del razonamiento de GALILEO con los de BRUNO.

(45) *Opere*, T. VIII, pág. 640.

(46) *Opere*, T. V, pág. 197.

teles, quien había escrito acerca de ese estudio: “de unos pudimos aceptar ciertas opiniones, otros han sido causa de que éstas se formaran en nosotros” (47) por vía de reflexión y crítica.

Lo que se precisaba era no convertir a los autores antecedentes en “autoridades”, cuya palabra quitara al indagador el espíritu de crítica y verificación. La exigencia expresada por Galileo: “no quiero mostrarme ingrato hacia la naturaleza y Dios que me otorgaron sentidos y razón... con hacer la libertad de mi intelecto esclava de quien puede errar igual que yo” (48), era la misma afirmada por Aristóteles al declarar que toda reseña de las opiniones anteriores debe servir “no solamente para aceptar lo que tienen de verdadero, sino también para rechazar lo que contengan de falso” (49).

Por este camino y método justamente se produce el progreso de la ciencia, en cuyo desarrollo histórico cada época recoge la herencia de las anteriores y la perfecciona al enmendarla y agregarle sus adquisiciones nuevas. En este sentido afirmaba Bruno que los modernos siempre son más viejos y tienen más larga edad que los antiguos, por añadir siempre experiencias a experiencias y madurez a madurez de juicio. Esta idea de Bruno y de todo el Renacimiento la acepta y repite Galileo en un fragmento significativo: “Decir que las opiniones más antiguas e inveteradas son las mejores no es probable, porque así como en un hombre particular parecen las últimas determinaciones ser las más prudentes, y con los años acrecentarse el juicio, así de la universalidad de los hombres parece razonable que las últimas determinaciones sean las más verdaderas” (50).

La humanidad así aparece a Galileo en la continuidad de su historia como un hombre que en la continuidad de su vida aprende

(47) *Metafísica*, l. II, cap. I.

(48) *Opere*, T. VI, pág. 341.

(49) *De anima*, l. I, cap. 2. Ver mi ensayo *Veritas filia temporis in Aristotales*, en *Scritti filosofici per le Onor. Naz. a B. Varisco*, Firenze, 1924.

(50) *Opere*, T. VII, pág. 696, post. 63. Cfr. G. GENTILE, *Veritas filia temporis*, en *G. Bruno e il pensiero del rinascimento*, Firenze, 1925.

sin cesar: lo cual anticipa el parangón de Pascal y Leibnitz y hace a Galileo partícipe de la gran intuición histórica por la cual el Renacimiento afirma con clara conciencia la idea del progreso cultural humano y la trasmite en herencia fecunda al pensamiento moderno (51).

-
- (51) Además de los estudios sobre Galileo anteriormente citados (de MARTIN, FAZIO ALLMAYER, PASTORE, GENTILE), véanse: *Bibliografía Galileana*, de A. CARLI y A. FAVARO, Roma, 1896 (desde 1586 hasta 1895); F. PIORNTINO, *B. Telesio*, p. III, *L'idea della natura dal Telesio al Galilei*, Firenze, 1874; K. PRANTL, *Galileo und Kepler als logiker*, München, 1875; K. NATORP, *Galileo als philosoph*, Heidelberg, 1882; A. FAVARO, *Gal. Galilei e lo studio di Padova*, 1883; K. LASSWITZ, *Galilei's theorie der Materie*, Leipzig, 1899; A. FAVARO, *Gal. Galilei*, profilo, Genova, 1910; L. OLSCHKI, *Galileo und seine Zeit*, Halle, 1927; A. BANFI, *Galileo Galilei*, Firenze, 1931; C. CABOARA, *Scienza e filosofia ai principi della età moderna (Galilei, Bacon, Cartesio)*, Napoli, 1935; E. CASSIRER, *Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei Galilei*, en "Scientia", 1937; A. KOYRE, *Etudes Galiléennes*, Paris, 1939 (en tres tomos); LEONARDO OLSCHKI, *The scientific Personality of Galileo*, en "Bulletin of the History of Medicine", 1942, y *Galileo's Philosophy of Science*, en "The Philosophical Review", 1943; JOSE GAOS, *Galileo a los Tres Siglos*, en "Filosofía y Letras", revista de la Facultad de México, Nros. 8, 9, 10 (octubre 1942-junio 1943).