

GALILEO Y EL PROBLEMA DEL METODO

¿TENEMOS NECESARIAMENTE QUE ELEGIR ENTRE EL MITO INVENTADO POR
LOS FÍSICOS Y UNA DESMITIFICACIÓN RADICAL?

S. Bergia, P. Fantazzini

Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna

y

C. Ferrario, V. Monzoni

Istituto di Fisica dell'Università di Ferrara

(recibido junio 7, 1984; aceptado enero 14, 1985)

RESUMEN

Presentamos informalmente una breve discusión de algunas de las interpretaciones más importantes que se han avanzado acerca de las contribuciones de Galileo a conformar el llamado método científico. Esta discusión puede ser útil al estudiar a Galileo en un curso de mecánica clásica o de historia y filosofía de la ciencia.

ABSTRACT

We present a brief discussion of some of the most important interpretations which have been put forward about Galileo's contributions towards the construction of the so called scientific method. This discussion may be useful in studying Galileo, both in mechanics or history and philosophy of science courses.

A más de trescientos años de su muerte, continúa el debate sobre Galileo, no tanto acerca de sus contribuciones a la física y a la astronomía, sobre cuya importancia existe un acuerdo sustancial y generalizado, sino más bien acerca de la existencia y, eventualmente, la naturaleza del cambio metodológico supuestamente generado por su trabajo. Este cambio ha habría señalado, no solamente la transición entre ciencia medieval y ciencia moderna, sino también la ruptura epistemológica que dio origen a la misma ciencia.

La gran mayoría de los físicos nunca tuvo muchas dudas a este respecto, sea por el hecho de que Galileo fue el fundador de la ciencia física, sea por la naturaleza metodológica del cambio que efectuó. Con el único objeto de tener un punto de referencia cómodo, podemos intentar delinear en términos simples los rasgos distintivos del punto de vista de la mayoría de los físicos en los siguientes términos.

Galileo es el inventor del método experimental y, con éste, de la física tal como se entiende hoy en día. Antes de él no hubo ciencia, sino solamente especulación filosófica y observaciones cualitativas. Con respecto a esta tradición, Galileo realizó una ruptura radical contraponiendo, con el experimento, los hechos a las palabras y las mediciones y los números a las descripciones vagas. Esto último sugiere la idea de que el experimento no es más (o poco más) que una observación cuantitativa o una observación con mediciones. Galileo hizo, de hecho, los primeros experimentos, a los cuales, con sólo que sus tenaces opositores aristotélicos se hubieran tomado la molestia de examinarlos y repetirlos, habrían debido someterse como si estuviesen de frente a la misma evidencia. Por lo tanto, es obvio que Galileo tenía perfectamente razón frente al cardenal Bellarmino durante los acontecimientos que se concluyeron con su abjuración del copernicanismo.

Ahora bien, no existe quizá un solo punto, tanto de naturaleza historiográfica como de naturaleza metodológica, de esta concepción, que llamaremos "tradicional", que no haya sido atacado o al que incluso no se haya contrapuesto una tesis diametralmente opuesta, hasta llegar a la nueva imagen de Galileo proporcionada en el reciente libro de Feyerabend ⁽¹⁾.

Lo que nos proponemos hacer en este trabajo es aislar, quizá un poco arbitrariamente, estos puntos y presentar, para cada uno de ellos,

algunas de las posiciones que se enfrentaron u opusieron. De hecho es imposible, en los límites de este trabajo y por la misma limitación de nuestros conocimientos, hacer un relato, incluso sumario, de cuanto se ha escrito tanto para atacar el punto de vista tradicional expuesto con anterioridad, como para profundizarlo y sustancialmente defenderlo.

Al describir las posiciones que se han enfrentado en los varios puntos, nos atendremos sistemáticamente al método de presentar en sus formas extremas los puntos de vista alternativos al tradicional para después reexaminar las "contradediciones" que se han contrapuesto a la visión alternativa. No pensamos, de esta manera, llegar a una síntesis superior; cualquier intento en este sentido aparecería como sumamente presuntuoso y peligroso. Por el contrario, nos parece que por un lado, una presentación de las tesis alternativas llevadas hasta el extremo de la paradoja, puede hacer más vivaz la exposición, y que, por otro, la forma de presentación sugiere, por sí misma, la necesidad de una profundización.

En resumen, la moraleja que quisiéramos sacar de la discusión es la siguiente: hay más aspectos en el problema del método de Galileo de los que da cuenta la filosofía trillada de los físicos profesionales, y de los que por sí reflejan cada una de las más sofisticadas posiciones alternativas. El prudente mensaje que quisiéramos transmitir al lector a este propósito es que deberían evitarse las conclusiones demasiado apresuradas.

La ciencia moderna, ¿es hija de la escolástica medieval?

Un primer punto de enfrentamiento que quisiéramos aislar es la relación de Galileo con la escolástica medieval. El punto de vista tradicional que trazamos antes tiene necesariamente que desconocer cualquier tipo de continuidad e incluso cualquier tipo de relación con esa herencia. ¿Qué puede tener que ver el inventor del método experimental con la tradición escolástica? Parece obvio que la ciencia moderna nació en *contraposición* a esta herencia y al aristotelismo que la constituía. Sin embargo, la lectura de un cierto número de obras hace aparecer más de una duda sobre esta fácil conclusión. Por ejemplo, J.H. Randall Jr., en su libro *El método científico en la Escuela de Padova* ⁽²⁾, nos dice:

Una de las principales empresas intelectuales del siglo XVI (fue) la búsqueda de un método fecundo (que pudiera servir) para una

comprensión que otorgará poder, acción y progreso a las artes prácticas. Por una ironía del destino, cuando por fin se "descubrió" y probó en la práctica el método fecundo, resultó el menos nuevo de entre todos los elementos que contribuyeron a formar la nueva ciencia. Después de haber explorado más de un callejón sin salida, los hombres se dieron cuenta de que una de las grandes tradiciones intelectuales de la Edad Media ya había proporcionado un principio excelente precisamente a ese conocimiento práctico y útil que ahora se pedía. En las escuelas de los siglos XIII y XIV había sido elaborada la idea de una ciencia de la naturaleza basada sobre la experimentación y formulada matemáticamente ...

Queremos hacer énfasis sobre algunos elementos de este método.

Roberto Grosseteste, inglés de Oxford (1168-1253)⁽³⁾,

reconoció el carácter formal de las demostraciones en matemática o en física matemática. Sin embargo, en la ciencia, no todas las proposiciones tienen esta verdad formal.

Por consiguiente, Grosseteste

sostuvo que tales proposiciones se tenían que verificar en relación con la "experiencia" (que podemos identificar con el término "experimento" en su versión moderna). Grosseteste precisó ulteriormente que se deberían someter las proposiciones a la prueba de la refutación por parte de la experiencia.

Por otra parte, Guillermo de Occam, inglés de Oxford, muerto en 1350, es el responsable del principio de economía conocido como regla o "navaja" de Occam, que podemos formular así: entre varias explicaciones posibles, elige la que usa el menor número de hipótesis.

A este método le falta una práctica difundida y efectiva del experimento. Sin embargo, observan R. Hall y M. Boas Hall⁽³⁾:

aunque hacer experimentos sea una excelente manera de adquirir información sobre problemas definidos y, en ciertos casos, de controlar la validez de ideas hipotéticas, esto, por sí mismo, no es suficiente para darnos un método que resuelva *todos* los problemas en *todos* los diferentes períodos de la ciencia. Ningún experimento en la Edad Media habría podido establecer si la tierra giraba o si eran las estrellas las que daban vueltas ...

A estas consideraciones añadiría Kuhn:

... Más importante aún que tales conceptos (en los que de una forma u otra la ciencia medieval se anticipó a

la moderna) es la posición de espíritu que los científicos modernos han heredado de sus predecesores medievales: una fe ilimitada en el poder de la razón humana para resolver los problemas de la naturaleza.

Y cita a este propósito a A.N. Whitehead⁽⁴⁾:

la fe en las posibilidades de la ciencia, engendrada con anterioridad al desarrollo de la teoría científica moderna, es un derivado inconciente de la teología medieval.

Queda el problema de los contenidos. A este propósito afirma Kuhn que los sabios medievales, en el curso de su crítica de los textos aristotélicos,

forjaron un buen número de conceptos e instrumentos que resultaron ser esenciales para los futuros logros científicos de hombres como Copérnico o Galileo.

Por ejemplo, recuerda Kuhn que "importantes anticipaciones al pensamiento copernicano" se pueden encontrar en el parisino Nicolas D'Oresme (1323-1382):

D'Oresme no cree en la rotación de la Tierra, o al menos así lo dice, aunque intenta demostrar que la elección entre una Tierra inmóvil y una Tierra en rotación debe ser una simple cuestión de fe. Ningún argumento, dice, sea lógico, físico o incluso bíblico, puede refutar la posibilidad de una rotación diurna de la Tierra.

Y en efecto, se encuentra en D'Oresme una discusión precisa y exhaustiva de aquella relatividad óptica "que desempeña un papel de primer orden en las obras de Copérnico y Galileo". D'Oresme, recuerda Kuhn:

emprende un demoledor ataque contra un argumento aristotélico aún más importante, el que deriva la inmovilidad de la tierra del hecho de que un objeto lanzado verticalmente hacia arriba caiga siempre en el suelo en el punto de partida. La célebre defensa Galileana del sistema copernicano, el *Diálogo sobre los Dos Principales Sistemas del Mundo*, está lleno de argumentos del mismo tipo que el precedente.

Aun R. Hall y M. Boas Hall, por ejemplo, mencionan que un grupo de filósofos del Merton College de Oxford, quienes, alrededor de la mitad del siglo XV, se ocupaban de matemática, "fueron los primeros en distinguir entre las causas del movimiento (dinámica) y su descripción (cinemática)" y que enunciaron lo que se conoce como la "regla de Merton": "cada forma

uniformemente variable, o velocidad, es equivalente a una forma uniforme, o velocidad, que tiene el valor del punto medio de la forma variante". D'Oresme aseveró que, si la forma es la velocidad, entonces la "extensión" (variable independiente) en función de la cual se dibuja su intensidad tiene que ser el tiempo, y el efecto es, en este caso, la distancia recorrida. Parece que, a partir del área del triángulo, D'Oresme llegó a la conclusión, en términos modernos, de que en el caso de variación uniforme $s = \frac{1}{2} vt$.*

Es todo esto lo que posiblemente llevó a Kuhn a concluir que:

algunas de las más importantes aportaciones de Galileo, en particular su obra sobre la caída de los cuerpos, pueden ser consideradas con toda justicia como un reagrupamiento creativo de los hasta entonces dispersos conocimientos físicos y matemáticos ... arduamente elaborados por los científicos medievales.

¿Hay, pues, en contra de la opinión tradicional una sustancial continuidad entre la física medieval y la moderna? La física de Galileo, ¿representaría entonces nada más que un desarrollo de aquélla?

Es éste el punto de vista sostenido con autoridad, por ejemplo, por el conocido físico y epistemólogo francés Pierre Duhem, quien insistió en particular sobre la continuidad entre la dinámica medieval del ímpetus y la de Galileo y Descartes de la inercia y de la cantidad de movimiento.

Sin embargo, éste no es el final de la historia. Leemos, por ejemplo, en el mismo Kuhn:

* Cabe mencionar que no va a interesarnos aquí en sí el problema de las prioridades: no nos interesa tanto averiguar que tanto sabía Galileo de sus antecedentes, sino más bien de discutir que relación *objetiva* hay entre los resultados logrados durante la Edad Media y en la época de Galileo. De todas maneras, A. Carugo y L. Geymonat, en su comentario a la edición crítica de las *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, escriben: "No se puede excluir que Galileo se haya basado, más o menos directamente, sobre la tradición de Nicolás de Oresme. Esto podría encontrar un válido apoyo y una confirmación, además de en la vasta difusión de las teorías sobre la *latitudo formarum* en Italia en los siglos XV y XVI, también en los esbozos explícitos hechos por Galileo en sus *Juvenilia*".

Cuando los argumentos de D'Oresme reaparecen en las obras de Copérnico y Galileo, tienen una función diferente y más creativa. D'Oresme sólo quería demostrar que la Tierra *podía moverse*.

Los científicos posteriores "querían demostrar que la Tierra podía moverse a fin de explotar las ventajas astronómicas que se derivarían de tal situación si, de hecho, *estaba en movimiento*".

Un problema parecido se presenta con respecto al "hecho bien conocido" de que Galileo rompió con la tradición aristotélica al proponer una separación entre cinemática y dinámica. Como vimos, esta separación ya la habían planteado los filósofos del Merton College. Sin embargo, la cinemática de Galileo es también dinámica en el sentido de que él está estudiando movimientos *reales* que ocurren en la naturaleza. Como en el caso de la relatividad óptica, el fin es diferente.

Koyré⁽⁵⁾ rechaza firmemente la conclusión de Duhem. Por lo que se refiere al ímpetus en particular, insiste sobre la "naturaleza confusa y metafórica" del concepto; nada más que una "condensación, por así decir, del sentido común", y sobre el hecho de que "es imposible matematizar, es decir transformar en un concepto exacto, matemático" esta "concepción cruda, vaga y confusa". La conclusión de Duhem, dice Koyré, es ilusoria: "Una revolución, aunque bien preparada, sigue siendo una revolución".

Conscientes del hecho de que estamos muy lejos de poder llegar a conclusiones definitivas sobre el problema, pasamos a examinar otro punto.

¿Tenía razón la Inquisición?

Otro punto fijo de la tradición es el que ve a Galileo como defensor de las razones de la ciencia y de su método frente al oscurantismo medieval de la Iglesia durante los acontecimientos que concluyeron con la abjuración.

El ya citado Duhem expresa a este propósito un punto de vista paradójico. Esta posición está probablemente inspirada, como su punto de vista sobre la continuidad entre la dinámica medieval y la de Galileo y Descartes, en su voluntad de eliminar el mito del Renacimiento, al que considera esencialmente un movimiento que se contrapone a la teología medieval. Esto es porque Duhem, "científico cristiano", quiere demostrar que

sucuencia es compatible con su metafísica, inspirada en la filosofía medieval. El sistema ptolemaico y el copernicano sólo son dos cinemáticas, dice sustancialmente Duhem⁽⁶⁾, en el sentido específico que refieren los mismos movimientos a dos diferentes sistemas de referencia, pero nada más ("dos imágenes del mismo orden ontológico, distintas porque son observadas desde un punto de vista diferente, pero de ninguna manera discordantes"). Y mientras se trata solamente de la descripción cinemática, la elección del sistema de referencia es arbitraria y, a lo más, sobre ella pueden influir razones de simplicidad de la descripción (más o menos al mismo tipo de interpretación del *De Revolutionibus* invitaba Osiander, quién escribió el prefacio de la primera edición de la obra de Copérnico). El fin de la ciencia es la *descripción* de los fenómenos ("salvar los fenómenos", según se expresa Duhem usando una expresión platónica). Además, sigue Duhem:

Galileo distingue netamente entre el punto de vista de la astronomía, cuyas hipótesis no tienen otra sanción que no sea el acuerdo con la experiencia, y el de la filosofía natural que se aferra a la realidad. Cuando sostiene que la Tierra se mueve, quiere pasar sólo por astrónomo y de ninguna forma quiere presentar sus suposiciones como verdad; sin embargo estas distinciones son nada más que escapatorias para evitar las censuras de la Iglesia, y sus jueces no las tomaron como opiniones sinceras; para creerlas hubieran debido ser muy poco perspicaces. Si hubieran pensado que Galileo hablaba sinceramente como astrónomo y no como filósofo natural, como físico, según su lenguaje, si hubieran considerado sus teorías como un sistema capaz de *representar* los movimientos celestes, y no como una doctrina que afirma la *naturaleza real* de los fenómenos astronómicos, no hubieran ciertamente censurado sus ideas ... Bellarmino mantuvo la distinción, familiar a los escolásticos, entre el método físico y el método metafísico, distinción que para Galileo era sólo un subterfugio.

De la lectura de la obra de Duhem podemos concluir que en el juicio de Galileo la posición de la Iglesia era correcta desde el punto de vista epistemológico ya que habría podido aceptar una lectura convencionalista de este tipo de la obra de Copérnico, en cambio, era incorrecta la posición de Galileo que quería atribuir a la ciencia una tarea que no tiene: la de llegar a una descripción unívoca de los fenómenos. ¿Sin embargo, la elección entre Copérnico y Ptolomeo no era en realidad más que una elección entre diferentes sistemas de referencia? Por ejemplo: ¿No se había verifi

cado tal vez que, aun añadiendo ecuantos y excéntricos a deferentes y epiciclos, la astronomía ptolemaica *no* se encontraba de acuerdo con las observaciones? Y, tal vez, ¿no se verificó también que el sistema de círculos de Copérnico se mostraba más de acuerdo con ellas? Como puede verse, éste ya no es exactamente el problema de Duhem: ya no se trata sólo de una elección alternativa entre sistemas de referencia, sino de cinemáticas *explícitas*, tales como órbitas y leyes del movimiento.

Por otra parte, de la lectura del libro de Kuhn resulta que no se puede desmentir a Duhem con base a evidencias observacionales. De hecho, ninguna observación, por sí misma, impuso el rechazo del sistema ptolemaico. Desde un punto de vista tanto cualitativo (por ejemplo, la explicación del movimiento retrógrado de los planetas) como cuantitativo, los dos sistemas eran sustancialmente equivalentes. Se hubiera podido preferir el sistema copernicano por la economía de hipótesis y la unidad que presentaba, y rechazarlo debido a que predecía el paralaje estelar (que no se verificó hasta 1838) y a que se encontraba en desacuerdo con la física de la época.

Entonces, ¿cómo se puede defender la actitud de Galileo? En primer lugar, no debemos olvidarnos de que en su época él ya había podido añadir a los argumentos de Copérnico sus observaciones astronómicas. Entre éstas, algunas (la resolución de las estrellas de la Vía Láctea, el descubrimiento de los relieves lunares y de las manchas solares, el descubrimiento de los planetas "medíceos", es decir, del sistema de satélites de Júpiter) ofrecían una evidencia indirecta en favor del sistema copernicano. Por lo menos una de sus observaciones, el descubrimiento del ciclo de las fases de Venus, parece que debió proporcionar una evidencia bastante directa. Sin embargo, no debemos tampoco olvidarnos de que el sistema ticónico podía explicar también el fenómeno. Además, por otra parte, Feyerabend⁽⁷⁾ presenta argumentos en contra de la lectura tradicional de las observaciones de Galileo y de la actitud de sus contemporáneos. Según la tradición, los varios Simplicius de la época rehusaron la evidencia llegando a negarse a mirar por el telescopio. Feyerabend pone de nuevo en discusión, tanto este rechazo como la evidencia de las observaciones. Resultan absolutamente asombrosos los relatos de los contemporáneos sobre las reuniones que se llevaron a cabo para repetir las observaciones de Galileo a través de su telescopio.

Por ejemplo, en 1610, veinticuatro profesores de la Universidad boloñesa se reunieron para repetir las observaciones de Galileo. En el relato de Horky (el episodio no está relatado en la traducción castellana del libro de Feyerabend), un discípulo de Kepler que estuvo presente, se lee:

En las cosas inferiores, hace milagros; en el cielo, fracasa en la medida en que algunas estrellas fijas se ven dobles ... Tengo como testigos hombres excelentes y doctores nobilísimos ...; todos confesaron que el instrumento falla. Galileo tuvo que callarse, y el lunes 26 se fue melancólicamente en la madrugada ...

Y el anfitrión de la velada, el astrónomo Magini, escribió a Kepler:

"más de veinte sabios hombres estuvieron presentes, sin embargo nadie vio distintamente los nuevos planetas; difícilmente podrá él seguir sosteniéndolos".

Aproximadamente un año después, en Roma, presentes varios sabios, se repitió el intento de observación de los planetas mediceos. En un relato de la reunión se lee que los sabios "aún quedándose hasta la una de la madrugada, no alcanzaron un acuerdo en sus opiniones".

Parece, por lo tanto, que no hubo ni un rechazo general, ni una evidencia definitiva.

¿Cuáles son las razones para esto último? El análisis que Feyerabend hace a este propósito constituye, en nuestra opinión, la parte más original de su libro. No intentaremos reproducirla sino a grandes rasgos. Es obvio, para empezar, que el telescopio de Galileo estaba muy lejos de ser un instrumento perfecto. A esto se añadía que obstáculos psicológicos se entrometían para su utilización en los mismos términos en que lo harían hoy en día. "Los problemas-dice Feyerabend -eran comparables a los de alguien que, no habiendo visto nunca una lente, mira por vez primera a través de un mal microscopio. No sabiendo qué debe esperarse (después de todo, no se encuentran por la calle pulgas grandes como hombres), es incapaz de distinguir las propiedades del "objeto" de las "ilusiones" creadas por el instrumento (distorsiones, franjas de color, decoloraciones)". Usando el telescopio "en las cosas inferiores", el conocimiento de los objetos que conseguimos antes nos permite discriminar, pero no sucede lo mismo

para las observaciones celestes. Para poder hacer lo mismo en este caso, habría sido necesaria una teoría del telescopio. Sin embargo, según Feyerabend, esta teoría no la poseía Galileo, ni tampoco existía en sus tiempos. Galileo construyó su telescopio empíricamente y no basándose en una teoría y cálculos.

Entonces, ¿tenemos que concluir que no tuvo ningún sentido racional la defensa que hizo Galileo, basada en sus observaciones astronómicas, del sistema copernicano? El mismo Feyerabend no propone esta conclusión. La idea que se saca de la lectura de Feyerabend es la de un Galileo en el cual su adhesión al sistema copernicano y las evidencias no conclusivas se apoyan la una a las otras: el copernicanismo proporciona una clave de lectura inequívoca para las observaciones, que, a su vez, refuerzan el copernicanismo. El procedimiento es probablemente *ad hoc*, como dice Feyerabend, pero, ¿es tan irracional como parece?

Galileo, ¿era un físico experimental o un místico platónico?

Es indudable que Galileo hizo observaciones astronómicas, pero, ¿hizo también experimentos?

Wohlwill y Koyré formularon dudas sobre el "famoso" experimento descrito por Vincenzo Viviani, consistente en dejar caer bolas de plomo de pesos diferentes desde la cima de la torre de Pisa, para comprobar que llegaban al suelo simultáneamente**. Sin embargo, desde hace mucho tiempo existen dudas también a propósito del más serio y fundamental experimento del plano inclinado. Ya antes de la publicación de las *Consideraciones y demostraciones matemáticas*⁽⁸⁾, donde se describe el experimento, Marin Mersenne, un amigo de Descartes, trató de reproducirlo basándose en las referencias del experimento que había leído. Al no poder llegar a los resultados reportados por Galileo concluyó:

** Un relato detallado de lo que se escribió a este propósito se encuentra en Galluzzi⁽⁷⁾. Cabe señalar que puntos de vista opuestos a los de Wohlwill y Koyré fueron expresados por Moody y Settle. Es cierto que el experimento fue hecho por Giovan Battista Baliani, quien relató sobre sus resultados en 1638, según refieren Carugo y Geymonat (*op. cit.*).

Je doute que le sieur Galilée ait fait les experiences de cheuter sur le plan, puisqu'il n'en parle nullement et que la proportion qu'il donne contredit souvent l'experience ... l'experience n'est pas capable d'engendrer un science***.

Inspirándose probablemente en Mersenne, Koyré⁽⁹⁾ expresó, a su vez, dudas sobre la viabilidad del experimento por medio de los instrumentos que poseía Galileo y, por lo tanto, acerca del hecho de que lo realizara con los resultados que relató. Más en general, Koyré expresó dudas sobre toda la actividad de Galileo como experimentador. Eso no con el fin de disminuir el papel de Galileo como fundador de la ciencia moderna, sino con la intención de sostener la tesis de que la importancia de Galileo en la transición entre ciencia medieval y ciencia moderna (que este autor, como decíamos, ve muy clara) no está en el hecho de que hizo experimentos, sino en que matematizó la física. Según Koyré, la ciencia moderna no es a fin de cuentas hija de la escolástica medieval; puede nacer de la restauración neo-platónica que surgió con el humanismo y durante el Renacimiento. Acerca de la importancia de esta corriente de pensamiento insistió también Kuhn. Bien entendida, subraya Kuhn, "la obra de Copérnico y sus contemporáneos astronómicos pertenece de lleno a esta tradición universitaria (leer 'escolástica') tan ridiculizada por los humanistas". Sin embargo, el antiaristotelismo dogmático de los humanistas logró:

... facilitar a otros la ruptura con los conceptos básicos de la ciencia aristotélica. Un segundo efecto, aún más importante, fue la sorprendente fecundación de la ciencia por parte de la poderosa corriente de desapego de este mundo que caracterizaba al pensamiento humanista.

De este aspecto del humanismo

... algunos científicos renacentistas como Copérnico, Galileo y Kepler extrajeron dos ideas indudablemente ajenas al pensamiento de Aristóteles: una nueva fe en la posibilidad y la importancia de descubrir en la naturaleza simples regularidades aritméticas y geométricas, y una nueva visión del sol como fuente de todos los principios y fuer

*** "Dudo que el señor Galileo haya hecho los experimentos de caída sobre el plano (inclinado), porque nunca habla de ellos y la proporción que da contradice a menudo la experiencia ... la experiencia no puede generar una ciencia".

zas vitales existentes en el Universo.

(Como un ejemplo, Kepler dice:

El sol es el único que, en virtud de su dignidad y poder, parece a propósito ... para mover los planetas en sus órbitas y digno de convertirse en la morada del propio Dios, por no decir en el primer motor.).

Observamos, de paso, que la lectura de estos textos sugiere que la ciencia, que "notoriamente" nació del *enfrentamiento* con la escolástica, *contrastada* por la actitud anticientífica de los literatos y por el consciente rechazo de cada elemento metafísico y místico presente en estas tradiciones, es "en realidad" el fruto de una síntesis nacida del enfrentamiento de dos "tesis" contrapuestas, la escolástica y la mística. Más dejemos de lado las genealogías y también la mística del Sol, y fijémonos en la lectura matemática de la naturaleza. Se acostumbra iniciar con un famoso pasaje de Galileo tomado de *Il Saggiatore*:

La filosofía está escrita en ese grandioso libro que está continuamente abierto ante nuestros ojos (lo llamamos universo). Pero no se puede descifrar si antes no se comprende el lenguaje y se conocen los caracteres en que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático siendo sus caracteres triángulos, círculos y figuras geométricas. Sin estos medios es humanamente imposible comprender una palabra: sin ellos deambulamos vanamente por un oscuro laberinto.

Luego, agrega Koyré⁽⁵⁾:

Estamos tan acostumbrados a la ciencia matemática, a la física matemática, que no notamos la rareza de un punto de vista matemático sobre el ser, la audacia paradójica de Galileo al declarar que el libro de la naturaleza está escrito con caracteres geométricos.

Lo que es cierto es que este enfoque es completamente ajeno a toda la tradición aristotélica; aún más, es completamente ortogonal a ella. No sólo la física aristotélica es cualitativa, sino que niega, *de principio*, que se pueda matematizar lo real. Lo real está hecho de formas inmutables, es un mundo de calidades y no de cantidades, y no se puede tratar la calidad en términos matemáticos. En la verdadera naturaleza no hay ni círculos ni triángulos, ni líneas rectas. El físico examina cosas reales, el géome-

tra razones a propósito de abstracciones. Mezclar geometría y física no sólo es inútil, es peligroso. (Esta exposición de ideas aristotélicas es una paráfrasis de algunos pasajes de Koyré⁽⁵⁾).

El enfoque matemático de la naturaleza es propio, como decíamos, del restablecimiento de algunos aspectos del pensamiento platónico que se produjo en el Renacimiento. Y el Galileo que nos propone Koyré es un Galileo platónico, un Galileo que postula leyes geométricas de la naturaleza, que no sólo no somete al control experimental, sino que además contradice la observación. Somos aristotélicos, dice Koyré, si "sostenemos que la física no necesita ninguna otra base que la experiencia y debe edificarse directamente sobre la percepción ..." Hay de qué pasmarse: ¡Galileo habría sido incluso contrario a construir la física basándose en la experiencia! Aparte de las opiniones de Koyré, ¿puede sustentarse esta tesis?

Sabemos que en ocasiones Galileo llegó a negar la realidad de los hechos. Por ejemplo, en *Il Saggiatore* Galileo niega la realidad de los cometas. Podemos leer en Shea⁽¹⁰⁾, a propósito de la cuarta jornada del *Diálogo* y de la teoría galileana de las mareas, que Galileo "no quiso tomar en cuenta debidamente los cuatro conocidos períodos de las mareas, no se cuidó de poner orden en las contradicciones entre su teoría y la experiencia y no se fijó en las asombrosas consecuencias experimentales que su explicación implicaba", mostrando una "arrogante intolerancia hacia la complejidad de los datos, una especie de autolegitimación típica de las mentes cuyo propósito, cuando se enfrentan con la naturaleza, es el orden y la simplicidad", y, en conclusión, "un vistoso desinterés hacia los hechos". Estos son casos límite en que tal vez jugó un papel decisivo la pasión polémica de Galileo.

Hay situaciones en que el problema de la relación entre hipótesis matemática o geométrica y experiencia se replantea en términos más sutiles y, al mismo tiempo, más instructivos. Acerca del problema de si cuerpos del mismo material y pesos diferentes, si se les deja caer juntos, llegan juntos o no al suelo, Sagredo dice que él hizo el experimento con el resultado "galileano", pero no lo describe: en vez de eso, es Salviati el que trata de convencer a Simplicio, demostrándole que la teoría de Aristóteles es lógicamente autocontradictoria. Le contesta Simplicio: "Vuestro razonamiento está, realmente, bien trazado. De cualquier forma, me resulta di

fácil creer que una gota de plomo pueda moverse a la misma velocidad que una bala de cañón"⁽⁸⁾; y parece pedir con esto una apelación ulterior al tribunal de la experiencia (que, como sabemos, por lo menos en principio, le daría razón. Sin embargo, la cosa más asombrosa es que Salviati le concede su conclusión. Presentamos a continuación su respuesta, subrayando que no parece él (es decir Galileo) el más inclinado a basarse en la experiencia:

Aristóteles dice: "Una bola de hierro de cien libras, que cae de una altura de cien brazas, llega al suelo antes de que una bola de una libra haya descendido una sola braza". Yo, por mi parte, afirmo que las dos llegarán al mismo tiempo. Si haceis la experiencia, podreis constatar que la más grande saca a la más pequeña una ventaja de dos dedos solamente; ...Estando así las cosas, ¿quereis esconder los noventa y nueve brazas de Aristóteles debajo de aquellos dos dedos y poniendo de relieve un pequeño error, pasar por alto aquel otro descomunal?.

Después de esta amplia divagación, podemos volver a la pregunta inicial. A fin de cuentas ¿Galileo hacía o no experimentos? Por lo que se refiere al experimento del plano inclinado, será tal vez útil recordar que Galileo lo describe en sus *Consideraciones*⁽⁸⁾:

En un listón o, lo que es lo mismo, en un tablón de una longitud aproximada de doce codos, de medio codo de anchura más o menos y de un espesor de tres dedos, hicimos una cavidad o pequeño canal a lo largo de la cara menor, de una anchura de poco más de un dedo. Este canal, tallado lo más recto posible, se había hecho enormemente suave y liso, colocando dentro un papel de pergamino lustrado al máximo. Después, hacíamos descender por él una bola de bronce muy dura, bien redonda y pulida. Habiendo colocado dicho listón de forma inclinada, se elevaba sobre la horizontal una de sus extremidades, hasta la altura de uno o dos codos, según pareciera, y se dejaba caer (como he dicho) la bola por dicho canal, tomando nota, como en seguida he de decir, del tiempo que tardaba en recorrerlo todo. Repetimos el mismo experimento muchas veces para asegurarnos bien de la cantidad de tiempo y pudimos constatar que no se hallaba nunca una diferencia ni siquiera de la décima parte de una pulsación. Establecida exactamente esta operación, hicimos que esta misma bola descendiese solamente por una cuarta parte de la longitud del canal en cuestión. Medido el tiempo de la caída, resulta ser siempre, del modo

más exacto, precisamente la mitad del otro. Haciendo después el experimento con otras partes, bien el tiempo de la longitud completa con el tiempo de la mitad, con el de los dos tercios, con el de 3/4 con cualquier otra fracción llegábamos a la conclusión, después de repetir tales pruebas una y mil veces, que los espacios recorridos estaban entre sí como los cuadrados de sus tiempos. Esto se podría aplicar a todas las inclinaciones del plano, es decir del canal a través del cual se hacía descender la bola. Observamos también que los tiempos de las caídas por diversas inclinaciones del plano guardan entre sí de modo riguroso una proporción que es, como veremos después, la que les asignó y demostró el autor.

En lo que a la medida del tiempo se refiere, empleamos una vasija grande llena de agua, sostenida a una buena altura y que a través de un pequeño canal muy fino, iba vertiendo un hilillo de agua, siendo recogido en un vaso pequeño durante todo el tiempo en que la bola descendía, bien por todo el canal o solo por alguna de sus partes. Se iban pesando después en una balanza muy precisa aquellas partículas de agua recogidas del modo descrito, con lo que las diferencias y proporciones de los pesos nos iban dando las diferencias y las proporciones de los tiempos. Ocurría esto con tal exactitud que, como he indicado, tales operaciones, repetidas muchísimas veces, jamás diferían de una manera sensible.

Basándose en esta descripción, Settle⁽¹¹⁾, en 1961, reprodujo el dispositivo de Galileo, hizo el experimento y encontró un acuerdo sustancial con el relato galileano.

Un historiador, Stillman Drake, ferviente admirador de Galileo, escribió⁽¹²⁾ unos años después:

Más de un decenio transcurrió desde que Thomas Settle publicó un ensayo clásico en que se reivindicaron las bien conocidas afirmaciones de Galileo sobre sus experimentos con el plano inclinado ... Es hasta demasiado evidente la ineficacia práctica de la meticulosa repetición de los experimentos por parte de Settle como argumento para alterar la opinión de los historiadores de la ciencia ... Y la literatura general sigue disminuyendo el papel del experimento en la física de Galileo ... Se ha vuelto anticuado sostener el punto de vista de los primeros historiadores de la ciencia, que Galileo fue el padre de la ciencia experimental.

Sin embargo, como el mismo Drake debió reconocer, el experimento de Settle era "suficiente para refutar la posición de Koyré que él no podía haberlo hecho, pero no alcanzaba a probar que Galileo de hecho *habla* logra

do aquellos resultados".

En el mismo artículo, Drake expone la evidencia directa que él cree haber encontrado de otro experimento galileano en un manuscrito hasta entonces inédito. El experimento consistía en hacer rodar una pequeña esfera a lo largo de una encañaladura trazada en un plano inclinado, cuya extremidad inferior presentaba una curvatura tal que la esfera dejase el plano inclinado con velocidad horizontal y describiera una trayectoria parabólica antes de llegar al suelo. Según Drake, el experimento de Galileo tendía a una forma de confirmación experimental de la ley de la inercia (recorridos mayores después del impacto, cuanto más grandes es la velocidad inicial). Hay que dudar de esta interpretación incluso antes de analizar en detalle el experimento.

De hecho, la interpretación de Drake ha sido puntualmente desmentida. En un artículo de 1974, Naylor⁽¹³⁾ parte de la afirmación que, gracias a los estudios de Drake, "no se pueden tener muchas dudas acerca de que 1973 será conocido como un año en el que los conocimientos sobre la mecánica de Galileo crecieron dramáticamente". Sin embargo "su actitud con respecto a la observación pudiera ser mucho más compleja de cuanto supuso Drake". Para el experimento analizado por Drake, Naylor propone una interpretación alternativa: en lugar de una poco plausible verificación de la ley de inercia, el experimento habría tendido al estudio de la caída libre de los cuerpos, cosa de la cual no tenemos dificultad en convencernos. Además, Naylor volvió a hacer el experimento según su lectura, encontrando acuerdo con las tablas manuscritas de Galileo.

Ahora llegamos al punto que nos parece más interesante: el hecho de que Galileo *no podía* encontrar acuerdo con su hipótesis sobre la caída de los graves, porque no sabía nada acerca del efecto de la rotación sobre la aceleración de una esfera y de que, por consiguiente, sus datos no podían estar de acuerdo con su teoría. En estos hechos, Naylor encuentra una respuesta a la pregunta de por qué Galileo no mencionó el experimento en sus publicaciones.

Sin embargo, pudiera ser que la importancia del experimento podría radicar (si en verdad se realizó en 1608) en el hecho de contribuir a que Galileo eligiera la descripción en que la velocidad es proporcional al tiem

po y no al espacio como axioma básico para la caída de los graves. ****

¿Podemos entonces deducir que Galileo *pudo* haber hecho sus experimentos y que probablemente *los hizo*? Parecería que sí. Sin embargo, el problema se desplaza: queda abierta la cuestión del papel que estos tuvieron en el desarrollo de su pensamiento, en particular en relación con su platonismo, que también en cierto sentido y en cierta medida parece claro.

Una profundización global de esta cuestión rebasa los límites para una posible respuesta, unas páginas del ensayo introductorio de C. Solís a la reciente edición castellana de las *Consideraciones*⁽⁸⁾. Después de haber recordado la posición de Koyré ("un serio malentendido") y citado los estudios recientes a los cuales nosotros también nos referimos, Solís continúa:

El error de Koyré habría que atribuirlo a un deficiente análisis de la ciencia galileana, dejándose engañar por el método de la exposición de los *Discorsi*. Metodológicamente, Galileo (al igual que su predecesor Arquímedes) desconfiaba del interés científico de un descubrimiento meramente empírico, que tratará siempre de deducir *a priori* o de reducir a una pieza de un modelo desarrollado *more geometrico*. Así, en la tercera jornada, en lugar de afirmar que el movimiento naturalmente acelerado es aquel que en tiempos iguales añade incrementos iguales de velocidad, *porque* así aparece en cuidadosos experimentos, se justifica recurriendo al carácter obvio, racional y autoevidente de esta definición. Por otra parte, Galileo no desarrolla cuantitativamente sus teorías con ayuda de mediciones concretas, sino que se limita a construir análisis de modelos abstractos y generales, lo cual explica el uso continuo de experimentos imaginarios (que podrían haberse realizado, aunque no se considera necesario) orientados a mostrar pedagógicamente y no a demostrar experimentalmente; y de experimentos mentales, orientados a mostrar que los viejos modelos del movimiento son incompatibles con otras piezas de experiencia, por lo que *no* cesitan ser reformados los modelos de carácter matemático, sí, pero no métricamente articulados que se aplican al mundo de las *apariencias* de un modo global, dejando un sinnúmero de brechas sin rellenar, a falta del desarrollo de experimentos y teorías auxiliares más precisas, en espera de las cuales no se nos ofrece frecuentemente más que explica-

Una discusión detallada del camino seguido por Galileo para llegar a su teoría de la caída de los graves, así como una orientación bibliográfica al respecto, se encuentra en un artículo de P. Fantazzini (no publicado).

ciones insuficientes y aun ad hoc. Así por ejemplo, la discrepancia entre la teoría y las inmediatas evidencias se rellena recurriendo a efectos del medio, cuyo alcance es exactamente el necesario para enjugar el déficit ...

Como vimos anteriormente, Naylor evalúa en una forma similar el papel jugado por el experimento analizado por él y Drake. Podemos entonces concluir (provisionalmente) nuestra discusión proponiendo una posible solución bajo estos lineamientos para los primeros puntos que discutimos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos mucho a R. Rechtman sus útiles discusiones.

BIBLIOGRAFIA

1. P.K. Feyerabend, *Against Method - Outline of an anarchistic Theory of Knowledge*, NLB, 1975.
2. J.H. Randall jr., en: *Roots of scientific thought. A Cultural Perspective*, P.P. Wiener and A. Noland eds., Basic Books, New York, 1977
3. A.R. Hall, M. Boas Hall, *A Brief History of Science*, Signet Science Library Book, The New American Library of World Literature, Inc., N.Y. 1964.
4. T.S. Kuhn, *The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Harvard Univ. Press., Cambridge, 1957; trad. esp.: *La Revolución Copernicana*, Ed. Ariel, México, 1978
5. A. Koyré, "Galileo y Platón", en: *Estudios de Historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, México (1977); ver también: *Etudes galiléennes*, Paris, 1939.
6. P. Duhem, *La théorie physique: son object et sa structure*, Paris, Marcel Rivière, 1914. Sobre Duhem y el enfrentamiento entre Duhem y Koyré, vease: M. Fichant, M. Pecheux, *Sur l'histoire des sciences*, Paris, 1969, 2a.ed. 1974.
7. P. Galluzzi, *Momento, studi galileiani*, edizioni dell'Ateneo & Bizzarri, Roma, 1979; trad. esp.: *Estudios galileanos*, Siglo XXI, México (1981).
8. Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche attorno a due nuove scienze*, Boringhieri, Torino, 1958; trad. esp.: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Edición preparada por C. Solís y J. Saslaba, Editora Nacional, Madrid 1970.
9. A. Koyré, "An Experiment in Measurement", *Proc. Am. Phil. Soc.*, 224, (1953).
10. W.R. Shea, *Galileo's intellectual Revolution*, Mac Millan Press, London and Basingstoke, 1972.
11. T.B. Settle, *An Experiment in the History of Science*, *Science*, 133 (1961) 19.

12. S. Drake, *Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts*, *ISIS*, 64 (1973) 291.
13. R.H. Naylor, "Galileo: Real Experiment And Didactic Demonstration", *ISIS*, 67 (1976) 398; "Galileo and the problem of free fall", *British Journal for the History of Science*, 7 (1974).