

HISTORIA

LA RECONSTRUCCION DE EXPERIMENTOS EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA: GALILEO EN DEBATE

GUILLERMO BOIDO

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata

RESUMEN

La reconstrucción de experimentos llevados a cabo por científicos del pasado ha servido para una mejor comprensión de ciertos episodios históricos. En particular, ha tenido gran difusión el empleo de este procedimiento a propósito de la obra de Galileo. Los resultados, sin embargo, han sido objeto de interpretaciones controvertidas. En este trabajo se exponen las posibilidades y limitaciones de la historia experimental y se analiza, sucintamente, el estado actual de la polémica acerca del carácter de la ciencia galileana a la luz de la reconstrucción de algunos de sus experimentos.

I- El recurso a la reconstrucción de experimentos realizados en el pasado no ha sido habitual en la historia de la ciencia. No hay, por otra parte, unanimidad en cuanto al valor intrínseco de este procedimiento de investigación histórica, llamado a veces *historia experimental*. Quienes lo rechazan sostienen que, aún cuando dispusiéramos de informes detallados acerca de los materiales y de los procedimientos utilizados por un investigador en el pasado, nunca podremos conocer con certeza las expectativas teóricas y la interpretación de los resultados inherentes a un experimento llevado a cabo en un contexto histórico distinto del nuestro. Nunca podremos reconstruir (prosigue la crítica) los pensamientos, las creencias, las conjeturas y las expectativas de aquellos experimentadores, ni tampoco sus condicionantes sociales, filosóficos, ideoló-

gicos. Aquel experimento será, por tanto, único e irrepetible.

Pero esta crítica extrema sólo es válida en el caso de experimentos realizados en períodos históricos acerca de los cuales nuestro conocimiento es impreciso, o bien cuando el informe de laboratorio que nos ha legado el investigador es demasiado exiguo. En cualquier otro caso, la crítica parece dirigida contra el carácter conjetural de la historia experimental. En efecto, toda reconstrucción del experimento llevado a cabo en el pasado supone en mayor o menor grado formular hipótesis no sólo acerca de los materiales empleados, los instrumentos y procedimientos de medición, etc., sino también acerca del clima científico de la época, las teorías en boga, las presunciones del experimentador y muchas otras. Nada de ello invalida las pretensiones de la historia experimental, que no es ni más ni menos conjetural que la historia en general o que cualquier otra disciplina científica. Sencillamente, al historiador-experimentador le caben las generales de la ley en materia de conjeturas.

Veamos un famoso ejemplo, referido en este caso a una cuestión de prioridad. En 1920 un grupo de historiadores y químicos daneses se propusieron demostrar que su connacional Hans Christian Oersted había sido el primero en obtener aluminio en un laboratorio. Por esa época se concedía la priori-

dad al alemán Friedrich Wöhler, quien con seguridad lo había logrado en 1827. El informe de Oersted, de 1825, había sido descartado porque, si se sigue el pie de la letra el procedimiento por él descrito y que involucra la reducción de un óxido de aluminio, la alúmina, no se obtiene aluminio. En 1920 el grupo danés conjeturó que en el informe impreso en 1825 se había deslizado una errata. Oersted menciona que en la primera etapa de su procedimiento se forma monóxido de carbono. Por lo tanto la teoría química parecía bastar para refutar la pretensión de Oersted de haber obtenido aluminio. Sin embargo, bastaría admitir que la alúmina se hallaba mezclada con polvo de carbón para que el procedimiento fuera eficaz. La experiencia fue realizada en las condiciones especificadas por Oersted con el agregado de polvo de carbón a la alúmina y se obtuvo, en efecto, aluminio. Dado que la hipótesis acerca de la existencia de una errata en el informe original podía parecer arbitraria, ad hoc, el grupo danés examinó cuidadosamente la correspondencia mantenida en 1825 por Oersted y finalmente halló una carta en la que éste comunica a un colega los detalles de su procedimiento y menciona explícitamente al carbón. Desde 1920, entonces, se admite que la prioridad del descubrimiento corresponde a Oersted.

Como muestra el ejemplo anterior, la refutación de ciertos relatos históricos puede bastarse simplemente en nuestro conocimiento actual de las leyes científicas. No sería necesario reconstruir, por caso, el experimento de un alquimista del siglo XV que informa haber convertido plomo en oro si nuestro único objetivo fuera probar que el alquimista no pudo obtener oro. Pero la reconstrucción puede ser útil para saber qué sustancia obtuvo el alquimista en realidad: porqué pensó que era oro, porqué creyó que el procedimiento era adecuado para obtenerlo, o qué teorías sustentaba acerca de la materia y sus cambios. En otros casos, la reconstrucción puede querer

legitimar ciertos relatos históricos: mostrar, por ejemplo, que un experimento pudo haber sido realizado en un laboratorio y que no se trató simplemente de un *experimento mental*.

La discrepancia entre un informe documental y el informe de quien realiza el experimento en la actualidad no implica necesariamente que, en el pasado, el experimento no haya sido efectuado. Distintas expectativas teóricas a propósito del mismo pueden jugar una mala pasada. Un fenómeno que acontece durante la realización del experimento puede ser relevante para nosotros, hoy, pero no haberlo sido en aquel momento pasado, no sólo debido a nuestro conocimiento actual sino también a nuestra propia concepción del método experimental. El fenómeno en cuestión puede ser crucial para nuestra interpretación de los resultados, pero haber sido un mero *ruido* para aquel investigador, aunque fueran similares los materiales y procedimientos empleados. Con un siglo de diferencia, Boyle y Lavoisier realizaron la *misma* experiencia desde el punto de vista de los materiales y procedimientos: ambos calentaron sobre el fuego un recipiente cerrado que contenía plomo; ambos constataron la formación de un calcinado (minio); ambos abrieron luego el recipiente y comprobaron que el calcinado pesaba más que el plomo original. Pero la expectativa teórica de ambos era bien distinta. Boyle intentaba decidir si el fuego es o no una sustancia material, pesante: supuso que el aumento de peso durante la transformación del plomo en calcinado se originaba en la incorporación de fuego al plomo a través del recipiente: infirió que el fuego pesa. Lavoisier, en cambio, concentraba su interés en el comportamiento del aire encerrado en el recipiente: sospechaba que el aumento de peso se debía a la incorporación de parte del aire al plomo: de ser así, durante la transformación debía producirse en el recipiente un vacío parcial. Y efectivamente, afirma Lavoisier, al abrir el recipiente advirtió que en él ingresaba ai-

re del exterior. ¿Percibió o no Boyle este fenómeno? No lo sabemos. No nos lo informa. Si lo advirtió pudo haber sido, para él, un simple ruido. Pero de aquí no se concluye que Boyle no realizó la experiencia que afirma haber realizado.

A continuación nos ocuparemos del caso más resonante y difundido de aplicación de la historia experimental, referido al proceder metodológico de Galileo. Se trata de una cuestión que tiene no poca importancia desde el punto de vista epistemológico y cultural, pues involucra el modo de concebir la investigación científica de quien sigue siendo, a tres siglos y medio de su muerte (1642), un protagonista fundacional de la ciencia moderna.

II- Hasta principios de los años 70, la fuente documental más relevante para acceder a la obra de Galileo era la edición nacional italiana compilada por el gran erudito Antonio Favaro entre 1890 y 1910 en veinte volúmenes. Los debates sobre la naturaleza del proceder metodológico galileano giraban en torno a ciertos fragmentos de su obra escrita, tales como las jornadas III y IV de su obra de madurez, los **Discorsi (Consideraciones y demostraciones matemáticas acerca de dos nuevas ciencias, 1630)**. Aquí aparece uno de los fragmentos más citados por la historia empirista tradicional. Se trata de aquél en el que Salviati, el portavoz de Galileo, describe el equipo y el procedimiento utilizados para realizar una experiencia en la que una esfera rueda a lo largo de un plano inclinado. Aparecen aquí el listón de madera con su canaleta revestida con pergamino, la esfera de bronce, la orgullosa afirmación de que la diferencia entre los tiempos de caída que han sido medidos no excedían entre sí el *décimo de latido* (del pulso). Y todo ello a pesar de que las mediciones de tiempos eran realizados dejando escurrir un chorrito de agua de un recipiente y pesando luego las cantidades de agua acumuladas. Desde el siglo XVII la descripción había sido

esgrimida para construir una imagen experimentalista de Galileo. Sin embargo, hacia los años 30 de nuestro siglo el historiador Alexandre Koyré estaba persuadido de que el discurso de Salviati era pura jactancia de Galileo. Los experimentos que menciona Galileo nunca habrían sido realizados, o bien habrían sido puramente mentales. Serían, por otra parte, prácticamente irrealizables con los medios experimentales a su disposición. "No", nos dice Koyré, "es el puro pensamiento sin adulteraciones y no la experiencia o la percepción sensorial lo que sustenta la nueva ciencia de Galileo". A partir de consideraciones como ésta, Koyré construyó la imagen de un Galileo platónico, de un apriorista que subordina la observación y la experimentación a la teoría. La imagen cautivó a muchos historiadores, quienes, en ciertos casos, la cultivaron hasta el exceso. "La apelación de Galileo a la experiencia era puramente retórica", escribe A. Rupert Hall. Y el gran historiador de la mecánica C. Truesdell: "Galileo no era un empirista, sino un idealista neoplatónico". Hubo excepciones, pero en general la aproximación histórica a Galileo que predominó hasta los años 70 fue construída a imagen y semejanza de Alexandre Koyré y su influyente escuela.

Para comprender porqué desde entonces se ha debido reivindicar al "Galileo experimentador", puede ser interesante volver al experimento que describe Salviati y exponer su parlamento en el contexto del diálogo al que estamos asistiendo. La presentación del tema es axiomática, al más puro estilo de Arquímedes, a quien Galileo admiraba sin reservas. Se discute la caída libre. Se admite, dado que "la naturaleza opera siempre de la manera más sencilla", que será conveniente estudiar las propiedades de un movimiento tal que la velocidad del móvil es proporcional al tiempo invertido en alcanzarla: el movimiento uniformemente acelerado. De aquí Salviati deduce que las distancias recorridas por el móvil son proporcionales a los cuadrados de los

tiempos transcurridos. Enuncia, por fin, el famoso corolario según el cual en un movimiento uniformemente acelerado las distancias recorridas en lapsos iguales y sucesivos están entre sí como los números impares, 1, 3, 5, 7 ... Pero el aristotélico Simplicio, otro personaje que aparece en los *Discorsi*, es como su maestro poco afecto a la matemática; por eso interviene y reclama que se presenten resultados experimentales para saber, dice, "si la naturaleza se sirve o no" de esa clase de movimiento. Salviati, cortésmente, luego de afirmar que Simplicio habla "como un verdadero hombre de ciencia" y que su demanda "es muy razonable", pasa a describir el famoso experimento con el listón acanalado y la esfera de bronce. El experimento aparece así con un propósito de comprobación, y la prosa de Galileo, siempre magnífica, describe la investigación como la puesta en escena de una obra teatral que se desarrolla en el gran escenario de la naturaleza, un escenario que, lejos de ser estático, puede intervenir y modificar la trama de la obra. Sólo que en los *Discorsi* la naturaleza se limita a asentir, a certificar su aprobación ante el argumento que narra Salviati. Esta presentación pública es la que Galileo pretendía que estudiaran sus contemporáneos, y se corresponde con lo que el filósofo A. Whitehead llamaba la "lógica de lo descubierto", es decir, una reelaboración temática realizada de tal modo que los resultados de una investigación surjan de una secuencia lógica predeterminada y convincente.

Pero, ¿cuál pudo ser, para emplear la expresión complementaria de Whitehead, la "lógica del descubrimiento" galileano? Sea cual fuere, no es lícito buscarla en un texto tan elaborado como el de los *Discorsi* u otros escritos que Galileo destinó a ser publicados¹. Pero entonces, ¿dónde? Tal era

¹Se dice que Pasteur recomendaba a sus discípulos redactar los informes de investigación de acuerdo con esta máxima: "haz que parezca inevitable". Al igual que Galileo, quienes hoy escriben *papers* se ajustan a ella.

el género de interrogantes que hace veinte años se formulaba Stillman Drake, el historiador de la Universidad de Toronto que contribuyó más que ningún otro a modificar la imagen de Galileo construida por Koyré. Cuando Favaro compiló la obra galileana omitió publicar una serie de páginas manuscritas porque, informó, "contenían sólo cálculos o diagramas sin proposiciones o explicaciones que las asistieran". Para Drake, se trata de una suerte de archivo privado de Galileo, la cocina del investigador, registros de experimentos realizados con fines heurísticos. Su reconstrucción ha permitido a Drake trazar un cuadro del carácter de la investigación galileana que tiene bastante en común con la tradicional, aquél que ofrecía la historia empirista anterior a los estudios e interpretaciones de Koyré.

No era la primera vez que la historia experimental se aplicaba al caso de Galileo. En 1961 la revista *Science* publicó un informe de Thomas Settle acerca de la reconstrucción, por este historiador, del célebre experimento descrito por Salviati en los *Discorsi*. El punto clave era la medición de tiempos por medio del pesaje de cantidades de agua escurridas de un recipiente. Settle consultó tratados técnicos del siglo XVI e infirió de ellos, en particular del libro de Agricola *De re metallica*, que era posible ya en esa época realizar pesadas con una precisión de un quinto de gramo. Esto allanaba el camino. Las diferencias halladas por Settle entre valores teóricos y medidos no superaban al 2%, lo cual resultaba inferior al décimo de pulsación mencionado por Galileo. Luego, sin mucho orden ni concierto, otros historiadores-experimentadores se dedicaron a reivindicar la fama de agudo observador y experimentador que Galileo había tenido entre sus contemporáneos y sucesores. El canadiense James McLahlan informó haber reconstruido un curioso experimento del que Galileo da cuenta en los *Discorsi*, referido al modo en que se comportan el agua y el vino con-

tenidos en sendos recipientes cuando éstos se ponen en comunicación. Un recipiente inferior contiene vino; el superior contiene agua; ambos se comunican a través de un pequeño orificio. Galileo afirma que en esas condiciones asciende una delgada columna de vino hacia la parte superior del recipiente que contiene agua y viceversa. Los líquidos no se mezclan, y al cabo de cierto tiempo han trastocado su lugar; ahora hay vino en el recipiente superior y agua en el inferior. Esta descripción despertaba la irrisión de Koyré, quien afirma que Galileo nunca hizo la experiencia. De haberlo hecho, prosigue Koyré, hubiera observado que no hay sustitución del vino por el agua y viceversa, sino la formación de una mezcla. Fue un experimento imaginario, concluye, y el resultado le fue dictado a Galileo por el "pensamiento puro", por la certeza a priori de que existe una incompatibilidad esencial y absoluta entre ambos líquidos. En verdad Koyré no pretendía haber reconstruido el experimento pero, víctima a su vez del "pensamiento puro", creía saber qué hubiera ocurrido de haberlo hecho. MacLahlan sí lo hizo, repitió la experiencia con numerosas variantes y en todos los casos comprobó que el comportamiento del agua y el vino es, esencialmente, el descrito por Galileo.

Los estudios de Drake, quien en ocasiones trabajó con MacLahlan, lo llevaron al análisis e interpretación de los manuscritos galileanos inéditos mencionados por Favaro y que se encuentran hoy depositados en la Biblioteca Nacional de Florencia. En algunos de ellos aparecen diagramas y anotaciones numéricas que no parecen dejar lugar a dudas: se trata de resultados de experimentos reales llevados a cabo por Galileo hacia 1608. En el llamado "folio 116" hay un esquema que Drake interpreta del siguiente modo: una esfera rueda por un plano inclinado colocado sobre una mesa: el extremo inferior del plano coincide con el borde de la mesa, y allí hay un deflector que permite a la esfera realizar un tiro hori-

zontal. El mismo concluye cuando la esfera choca contra el piso, a cierta distancia de la base de la mesa (el alcance). Variando el punto de partida del cuerpo sobre el plano inclinado, se obtienen distintas trayectorias de tiro y distintos alcances: cinco en el diagrama de Galileo. Este anota, junto a los puntos de impacto de la esfera, dos valores y la diferencia entre ambos. El primero, según Drake, es el alcance calculado teóricamente con la suposición de que el movimiento horizontal es inercial; en cada caso, el valor está precedido por la palabra *doveria*, *debería (ser)*. El segundo valor sería el hallado experimentalmente; las diferencias, el error absoluto de la medición. Admitida esta interpretación, los porcentajes de error no superan un 4%. La reconstrucción del experimento por Drake y McLahlan, cuyos resultados fueron publicados en 1975, confirma razonablemente los resultados hallados por Galileo. Según los autores, es imposible evitar la influencia que supone el desconocimiento de la anchura de la canaleta practicada en el listón o la dimensión de las esferas, pero en lo esencial, concluyen, de lo que se trata es de confirmar la **pauta** del razonamiento galileano y ello ha sido logrado.

Drake reconstruyó también, a partir de otro folio, el 114, experimentos que Galileo habría realizado con un equipamiento similar al anterior pero sin emplear el deflector. No se trataría ahora de un tiro horizontal sino oblicuo, con la componente vertical de la velocidad dirigida hacia abajo. La importancia del experimento, según Drake, radica en que Galileo no estaba en condiciones de calcular teóricamente los alcances; y los números que corresponden a éstos, siete en total, procedían por lo tanto de una serie experimental. En otros casos el historidor ha formulado interesantes (aunque polémicas) conjeturas de procedimientos de medición que Galileo habría utilizado durante la ejecución de sus experimentos. Uno de ellos consistiría el garantizar la igualdad de intervalos de tiempo

cantando regularmente, a la manera de un metrónomo: al fin de cuentas, Galileo era músico. Claro que otros historiadores no están dispuestos a llegar tan lejos e incluso afirman que los resultados no son en modo alguno concluyentes. Drake, por su parte, no se inmuta ante las críticas. Tales "sofisticados colegas", dice, se limitan a proponer interpretaciones filosóficas cuyo único mérito reside en que "cuadran con las opiniones preconcebidas de un metódico desarrollo científico a largo plazo". Y remacha el clavo: "Raro es el filósofo que no haya hallado ayuda y consuelo en los escritos de Galileo; resulta muy fácil emparentar la ciencia galileana con una u otra filosofía, pero lo cierto es que no merece demasiado la pena". Igualmente discrepa con quienes han querido ver en Galileo a un mero continuador de la tradición medieval, en particular la de ciertos escolásticos del siglo XIV, cuestión que en la actualidad constituye motivo de fuerte controversia.

La crítica que se ha dirigido a Drake y a su visión de un Galileo experimentalista se funda esencialmente en el carácter de ciertas conjeturas que se ha visto obligado a formular y que sólo se sustentarían en su pretensión de ver en el gran italiano a un físico *excesivamente moderno*. Más allá de estos reparos, no cabe duda de que Drake ha rehabilitado el papel de la experimentación en la obra de Galileo, y muy en particular en lo que respecta a su función *heurística*, esa que brilla por su ausencia en los *Discorsi*. La base empírica de esta nueva visión histórica radica, claro está, en documentos que sólo en los últimos veinte años han podido ser utilizados para penetrar más allá de la fachada lógica de los textos publicados por Galileo. En tan breve lapso, Drake ha logrado *hacer encajar* dicha documentación en una reconstrucción histórica coherente aunque no universalmente aceptada. ¿Habrán otras en un futuro próximo?

Debemos convenir, finalmente, en que sería ingenuo suponer que Galileo disponía de

una metodología definida o que adhería a una filosofía explícita, y que la tarea del historiador consiste en ponerlas en evidencia. Sobre este punto Drake ha insistido con singular énfasis.

Al fin de cuentas, la cuestión del método sigue en estado de debate y, por ello mismo, se puede coincidir con Ludovico Geymonat cuando afirma que las vacilaciones de Galileo a propósito de procedimientos hablan de cierta incoherencia filosófica pero a la vez, desde el punto de vista metodológico, también de una consciente madurez.

Referencias Bibliográficas

- COHEN, I. B., *El nacimiento de una nueva física*. Madrid, Alianza, 1989.
- DRAKE, S., *Galileo at Work: His Scientific Biography*, Chicago University Press, 1978.
- DRAKE, S., *Galileo*, Madrid, Alianza, 1983.
- GEYMONAT, L., *Galileo Galilei*, Barcelona, Península, 1969.
- KOYRÉ, A., *Estudios galileanos*, Madrid, Siglo XXI, 1980.
- KRAGH, H., *Introducción a la historia de la ciencia*, Barcelona, Crítica, 1989.
- THUILLIER, P., "¿Experimentó Galileo?", en *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la investigación científica*, Madrid, Alianza, 1990.

FATIGA

En algunos de sus escritos juveniles inéditos, Galileo sostiene que si se dejan caer simultáneamente dos cuerpos de distintos peso se observa a veces que el más liviano, al comienzo de su trayectoria, va "delante" del más pesado, si bien éste después lo sobrepasa. Afirma haber realizado muchas veces esta observación mientras dejaba caer cuerpos desde lo alto de una torre. Los partidarios de un Galileo apriorista podrían aquí invocar las leyes de caída en un medio (ligeramente) viscoso y desechar las pretendidas observaciones, pues, como es sabido, de estas leyes se concluye que el cuerpo más pesado siempre irá delante. Pero el historiador I. Bernard Cohen y otros colegas estudiaron las características arquitectónicas de la paradigmática torre de Pisa y descubrieron que para realizar la experiencia es necesario sostener los cuerpos con los brazos extendidos antes de soltarlos. Conjeturaron que tal vez, aunque el experimentador crea que ha dejado caer simultáneamente ambos cuerpos, en realidad el más liviano ha partido en primer lugar. Pruebas fotográficas mostraron que efectivamente es así: la mano que sostiene al cuerpo más liviano se abre antes que la otra.

Thomas Settle halló en 1983 la explicación del curioso fenómeno. Al parecer se trata de un efecto de fatiga muscular, que difiere según el peso del cuerpo sostenido por la mano. Según Cohen, ello corroboraría no sólo la agudeza observacional de Galileo, sino también que en una época temprana de su vida, en Pisa, Galileo ya estaba realizando experiencias de caída. (Veáse I. B. Cohen, *El nacimiento de una nueva física*, apéndice 3, cita bibliográfica.)

Nota de los Editores

El profesor Guillermo Boido trabaja en Epistemología e Historia de la Ciencia y ha sido hasta hace poco tiempo Editor Asociado de CIENCIA HOY, la excelente revista de divulgación científica argentina cuyos artículos son escritos prevalentemente por científicos argentinos.

Con este artículo Boido nos da una certera imagen de cómo se trabaja en los problemas de Historia de la Ciencia, la actualidad de algunos de ellos (que muchos podrían suponer totalmente resueltos) y cuán viva está esa disciplina.

Creemos que Boido ofrece buen material aprovechable por nuestros lectores, particularmente en estos tiempos en que la Historia de la Ciencia está reclamando atención en la Educación en las Ciencias y mejor ubicación en los planes de estudio en general, tanto en el nivel secundario como en el universitario.