

¿Hacia Galileo experimentos?

(*Did Galileo do experiments?*)

José ROMO*

Manuscrito recibido: 2004.06.15

Versión final: 2004.11.17

BIBLID [0495-4548 (2005) 20: 52; pp. 5-23]

RESUMEN. Peter Dear ha proporcionado recientemente un análisis de la transformación que sufrió el recurso a la experiencia en la filosofía natural del siglo XVII. De la experiencia de lo cotidiano se pasa a la descripción detallada de una experiencia artificial irreplicable, localizada espacio-temporalmente y producida por instrumentos más o menos complejos. El artículo explora dicha interpretación en referencia a la construcción de la ciencia del movimiento de Galileo, mediante un análisis del experimento del plano inclinado que se describe en los *Discorsi* y un manuscrito, y concluye que la interpretación de Dear dificulta considerablemente la caracterización de la práctica de Galileo.

Descriptores: Galileo, Revolución Científica, experimentación.

ABSTRACT. Peter Dear has recently put forward an analysis of the transformation underwent by the appeal to experience in Seventeenth-Century natural philosophy. According to Dear, this transformation lies in the change from common experience to the detailed description of an unrepeatable artificial experience space temporally located and produced by more or less sophisticated instruments. This paper explores Dear's interpretation with regard to the construction of Galileo's science of motion, by analyzing the celebrated inclined plane experiment described in the *Discorsi* as well as one of Galileo's manuscripts and concludes that Dear's interpretation makes very difficult the characterization of Galileo's practice.

Keywords: Galileo, Scientific Revolution, experiment.

1. Introducción

En una serie de artículos que culmina con su libro *Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Peter Dear ha proporcionado una interesante interpretación de la transformación que sufrió el recurso a la evidencia empírica en la filosofía natural del siglo XVII. De la experiencia de lo cotidiano, formulada en enunciados del tipo “el fuego se eleva”, “el Sol se pone por el oeste”, que sirven para apuntalar empíricamente los principios que la filosofía natural aristotélica utiliza como base de sus demostraciones científicas, se pasa en, por ejemplo, las contribuciones a las *Phi-*

* Este artículo está dedicado a la memoria de mi madre, Lola Feito (1922-2001).

Quiero agradecer a Antonio Beltrán, Fernando Romo y Luisa Trueba la paciencia con que han discutido versiones previas de este artículo así como sus sugerencias, que lo han mejorado considerablemente. Agradezco también las valiosas observaciones de dos informantes anónimos de *Theoria*. Yo soy el único responsable de su forma final.

Deseo agradecer al Ministero per i Beni e le Attività Culturali della Repubblica Italiana su permiso para reproducir el f. 116v y una transcripción parcial del mismo. Asimismo, agradezco al profesor R. H. Naylor su permiso para reproducir uno de sus diagramas.



losophical Transactions de los *Fellows* de la primera época de la Royal Society, a la descripción detallada de una experiencia artificial irreplicable, localizada espacio-temporalmente y producida por instrumentos más o menos complejos. Dicho en pocas palabras, se pasa de la descripción de cómo se comporta la naturaleza a la descripción de cómo se comportó en una ocasión determinada. Para llegar al concepto moderno de experimento, sólo se requiere ya la puesta a punto de un marco teórico que permita justificar por qué descripciones de experiencias discretas pueden justificar enunciados universales sobre la naturaleza. Newton es el que conseguirá esto último ¹.

En este artículo no pretendo discutir detalladamente todas las ramificaciones de la interpretación de Dear, que me parece una aportación importante para la adecuada comprensión de la Revolución Científica del siglo XVII. Lo que me propongo es discutir su análisis de uno de los protagonistas de dicha revolución, Galileo, en lo que respecta al uso que éste hace de la experiencia en su construcción de la ciencia del movimiento tal como aparece expuesta en los *Discorsi* ². Creo que la interpretación de Dear en este punto proviene, en primer lugar, de una lectura discutible de textos fundamentales, en particular la descripción del famoso experimento del plano inclinado que Galileo incluye en los *Discorsi* para confirmar la definición de movimiento naturalmente acelerado y, en segundo lugar, de una concepción unilateral de la práctica científica, según la cual la expresión literaria de dicha práctica constituye el elemento fundamental que nos permite caracterizarla. Creo que la situación en el caso de Galileo es más compleja, y para empezar a entenderla hay que recurrir a algo más que un análisis puramente textual de la descripción de los *Discorsi*, pues este tipo de análisis ignora el contexto de producción de la obra. Si dicha descripción se interpreta desde este contexto, esto es, se la considera como un elemento más del proceso global teórico-experimental de construcción de la ciencia del movimiento, entonces es posible encontrar en el texto elementos que abonan una interpretación alternativa: la descripción de los *Discorsi* es más el fruto de una imposibilidad de resolver problemas fundamentales que la expresión de una convicción epistemológica sobre el papel de la experiencia.

En lo que sigue, analizaré brevemente, en primer lugar, las líneas maestras de la interpretación de Dear y su concreción en el caso de Galileo. En segundo lugar, sin pretender proporcionar un análisis detallado de la construcción de la ciencia del movimiento, discutiré un momento de este proceso que es clave para comprender adecuadamente la descripción de los *Discorsi*: se trata de la investigación de Galileo que puede reconstruirse a partir de uno de los manuscritos sobre el movimiento que han llegado hasta nosotros, el f. 116v ³. Por último, discutiré la descripción del experimento

¹ Dear (1985, 1987, 1990, 1991, 1995).

² Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla Meccanica i Movimenti Locali* (*Discorsi* en lo sucesivo). Leiden: Elzevirii, 1638, en *Opere*, VIII.

³ La bibliografía sobre los manuscritos galileanos del movimiento (vol. 72 de los *Manuscritos Galileanos*) es ingente. Un análisis de parte del material relevante puede verse en Romo (1985). Un análisis particularmente penetrante de documentos claves, así como una bibliografía muy completa, se encontrará en

del plano inclinado de los *Discorsi*, poniendo de manifiesto los elementos del texto que revelan claramente el objetivo de Galileo. En contra de lo que cree Dear, Galileo no pretende presentar al lector una experiencia que tiene el mismo estatuto epistemológico de la experiencia cotidiana de los aristotélicos —“lo que ocurre normalmente”. Lo que Galileo pretende es convencer al lector de la precisión experimental que ha conseguido alcanzar en sus experimentos y, por ende, del alto grado de confirmación que tienen los principios básicos de la ciencia del movimiento.

2. Galileo no hacía experimentos

Según Dear, un experimento es

un suceso histórico en el que un investigador examina [*experiences*] la conducta de un dispositivo o aparato diseñados y utiliza, o podría utilizar, un informe de ese suceso histórico como elemento en la construcción de un argumento que pretende establecer o promover una aportación al conocimiento. Un experimento, por consiguiente, es sólo un experimento si aparece como tal en el discurso científico, o podría hacerlo dado el contexto en el que se creó (Dear 1991, pp. 137-138).

La descripción de la acción forma parte integral del significado de ésta hasta tal punto que si el experimentador no describe su práctica como un experimento, ésta no merece tal nombre. Y este es precisamente, cree Dear, el caso de Galileo. Consideremos el famoso experimento del plano inclinado que se describe en los *Discorsi (Opere, VIII, pp. 212-214)*. Cuando Simplicio reclama una prueba de que los cuerpos naturales caen de acuerdo con la proporción que se ha afirmado en el teorema que formula la ley de caída de los cuerpos, Salviati elogia la oportunidad de la petición y, a renglón seguido, explica cómo puede ponerse de manifiesto que ése es efectivamente el caso mediante la descripción del bien conocido dispositivo formado por un plano inclinado por el que se deja rodar una esfera. Pero, nos advierte Dear:

En vez de describir un experimento específico o un conjunto de experimentos llevados a cabo en un momento concreto, junto con un registro cuantitativo detallado de los resultados, Galileo dice simplemente que, utilizando un dispositivo determinado, descubrió que los resultados concordaban exactamente con sus supuestos teóricos —dice que repitió las pruebas “cien veces”. Un poco más arriba había escrito “a menudo”. En realidad, ambas frases son simplemente modos de decir “tantas veces como queráis”. Así, Galileo establece la autenticidad de la experiencia según la cual los cuerpos que caen se comportan tal y como él afirma basándola en la memoria de *muchas instancias* —una multiplicidad de instancias no especificadas que equivale a una convicción experiencial (Dear 1995, p. 125, subrayado de Dear).

En lo que respecta a la utilización del recurso a la experiencia, pues, Galileo, según Dear, no estaría muy lejos del Aristóteles que escribe:

del recuerdo nace para los hombres la experiencia, pues muchos recuerdos de la misma cosa llegan a constituir una experiencia (*Metafísica*, 980b27-981a1) ⁴.

El lector del pasaje de los *Discorsi* queda convencido de que, en definitiva, Salviati no hace más que describir “lo que pasa”, esto es, se limita a describir cómo se com-

Damerow, P., *et al.* (1992). Los manuscritos están disponibles en la Red: <http://galileo.imss.firenze.it/ms72/>.

⁴ Véase también *Analíticos segundos*, 100a3-a5.

porta la naturaleza habitualmente. Salviati no pretende en ningún momento describir “lo que pasó”. La distancia que hay entre esta concepción y la del experimento moderno se apreciará si se compara el pasaje de los *Discorsi* con, por ejemplo, la descripción de los experimentos con péndulos que Newton utiliza para estudiar el movimiento de cuerpos en medios resistentes. No sólo se describe detalladamente el dispositivo utilizado, sino que también se incluyen resultados numéricos concretos ⁵.

No es muy distinta la valoración que hace Dear de los manuscritos galileanos. Se trata de documentos que se comenzaron a estudiar intensivamente a partir de 1973, cuando Stillman Drake llamó la atención sobre su importancia de cara al estudio de la génesis y desarrollo de la ciencia del movimiento galileana ⁶. En algunos manuscritos, los especialistas creyeron descubrir la prueba inequívoca de que Galileo no sólo había hecho bastantes más experimentos de lo que la entonces dominante interpretación koyreana estaba dispuesta a admitir, sino que por añadidura se trataba de experimentos complejos y notablemente precisos. En su entusiasmo, Drake llegó tan lejos como para sostener que los manuscritos constituían algo así como el certificado de nacimiento de la física experimental (Drake 1973, p. 305) ⁷. Desde su publicación, los manuscritos han sido objeto de un intenso debate en el que más allá de las diferencias en las posiciones epistemológicas e historiográficas de los historiadores que intervienen puede afirmarse que hay un punto común compartido por todos: algunos manuscritos son registros de actividad experimental ⁸. El punto de vista de Dear introduce una dimensión distinta en este debate. Si hasta, y desde, la publicación de los manuscritos la cuestión que ocupaba la atención de los especialistas era: ¿*hacia* Galileo experimentos?, Dear se pregunta más bien ¿*hacia* Galileo *experimentos*?, y su respuesta es negativa:

Quando Galileo hacía descender esferas por planos inclinados y las lanzaba desde los bordes de las mesas para medir las distancias que recorrían, no estaba haciendo “experimentos” en el sentido moderno, a menos que hiciera estas cosas para apuntalar su presentación formal en sus escritos como sucesos históricos discretos. Y este no es el caso (Dear 1995, p. 125).

Conviene subrayar que Dear no discute que las interpretaciones de los manuscritos que los relacionan con prácticas de Galileo son bastante sólidas, lo que niega es que estas prácticas puedan describirse como experimentales. Porque

Los “experimentos”, en tanto que rasgos distintivos de la ciencia experimental moderna, están constituidos textualmente como explicaciones históricas de sucesos, los cuales actúan como pruebas, en un sentido cuasi legal, de la verdad de una afirmación universal (Dear 1995, pp. 124-125).

En definitiva, definir una práctica como experimental requiere que sea descrita por su protagonista como tal; la descripción proporcionada por el protagonista es una

⁵ *Principia*, II, Sección VI, Escolio general. El ejemplo lo proporciona Dear. Véase Dear (1995), pp. 14-15.

⁶ Drake (1973).

⁷ Afirmaciones del mismo tenor se encontrarán en Drake y McLachlan (1975) y Drake (1975).

⁸ Si bien otra cosa muy distinta es determinar el objetivo y las características del experimento. Véase al respecto las referencias citadas en la nota 3.

parte inseparable del significado de la acción (Dear 1991, p. 136). Y Galileo nunca describió su práctica en términos que nos permitan definirla como experimental. Por una parte, en su obra publicada no hay la más mínima mención a las actividades que se registran en los manuscritos; por la otra, la descripción del experimento galileano paradigmático que se proporciona en el celebrado pasaje de los *Discorsi* no aporta resultados concretos, todo se deja en la nebulosa del “se hizo muchas veces y siempre salió bien”. Así pues, cuando se habla de “experimentos de Galileo”, o bien se comete un anacronismo, en la medida en que se proyecta sobre su práctica una noción de experimento construida posteriormente, o bien se hace suponiendo implícitamente que la obra publicada contiene elementos retóricos que los manuscritos permitirán descontar, es decir los manuscritos permitirán determinar, independientemente de lo que decidiera publicar, lo que Galileo *hacía realmente*, lo cual, afirma Dear, es una noción estrictamente incoherente (Dear 1991, p. 136). La única vía que permitirá acceder a una caracterización de la práctica de Galileo es el análisis de los términos en que él mismo la presentaba: “considero que lo que se hacía sólo puede ser caracterizado y comprendido a través de las formas lingüísticas que se utilizaban” (Dear 1995, p. 5).

3. El folio 116v

Entre los manuscritos del movimiento ya mencionados, hay algunos que han ocupado preferentemente la atención de los especialistas en la medida en que se ha creído ver en ellos registros de una actividad experimental tan dilatada como compleja. Es el caso del folio objeto de esta sección, el f. 116v (véase figura 1 y figura 2). El acuerdo es unánime respecto de su datación en el periodo 1608-1610. Asimismo, hay un consenso casi total en considerar el documento como un registro de actividad experimental⁹. Pero el acuerdo no va más allá, y se sigue discutiendo sobre el objetivo del experimento, hasta el extremo de que hay tantas interpretaciones como historiadores han analizado el documento. En el folio aparecen dos diagramas y la atención de los investigadores se ha concentrado principalmente en el contenido en la mitad superior. En este pueden verse cinco curvas que parten de un origen común. En una línea vertical que pasa por este origen hay marcados cuatro puntos con los números 300, 600, 800 y 1000. En la línea horizontal donde terminan las curvas pueden leerse, de derecha a izquierda, los números 800, 1172, 1328, y 1500. Entre la línea horizontal y la tangente a las curvas puede leerse “828 puntos altura de la mesa”. El segundo número en la línea horizontal (1172) va acompañado por la frase “debería [ser], para corresponder con el primero, 1131, d[ife]r[encia] 41”; los demás números, es decir, 1328 y 1500, van acompañados por una frase similar en la que se les compara con otro valor y se constata la diferencia. Así, por ejemplo, 1328 va acompañado por la frase “debería ser 1306, d[ife]r[encia] 22”.

⁹ Sin embargo, para una reconstrucción del folio que pone en duda que sea producto de actividad experimental véase Costabel (1975).

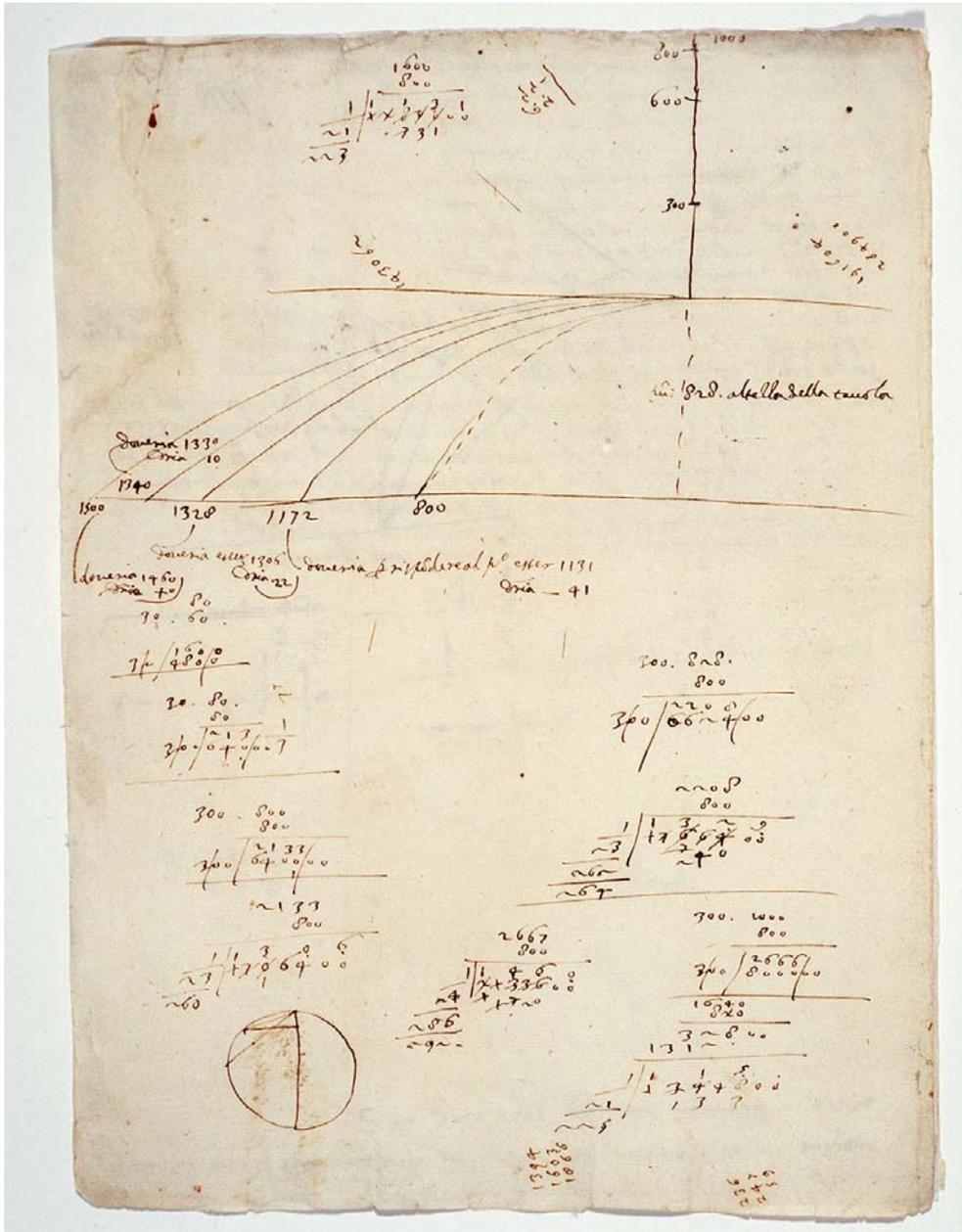


Figura 1. F. 116v (MS. Gal., vol. 72). Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze. Se reproduce con permiso del Ministerio per i Beni e le Attività Culturali della Repubblica Italiana. Se prohíbe cualquier otra reproducción.

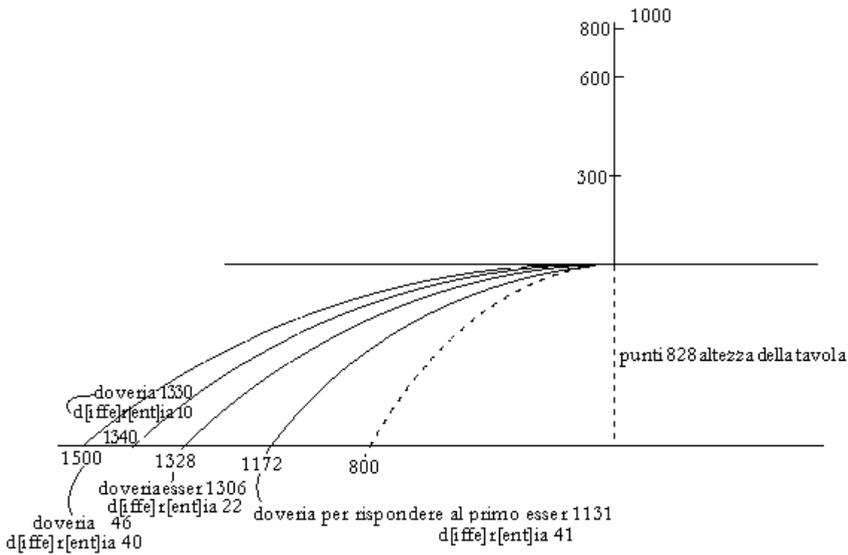


Figura 2. Transcripción parcial del f. 116v. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze. Se reproduce con permiso del Ministero per i Beni e le Attività Culturali della Repubblica Italiana. Se prohíbe cualquier otra reproducción.

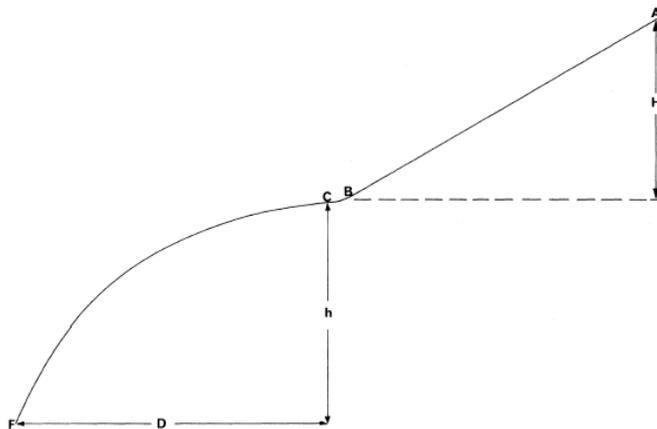


Figura 3. Esquema del dispositivo que permite reproducir los datos del f. 116v. Naylor 1976b, p. 404. Se reproduce con permiso de Naylor.

Parece razonable, pues, pensar que Galileo está comparando un conjunto de valores medidos, el formado por los números 1172, 1328, y 1500, con un conjunto de valores calculados, el formado por los números 1131, 1306, y 1460. En 1974, R. H. Naylor informaba de que utilizando el dispositivo que se muestra en la figura 3 pue-

den obtenerse resultados muy parecidos a los valores medidos que aparecen en el folio (Naylor 1974)¹⁰. Una esfera se mueve a lo largo del plano acanalado AB desde una altura H . En B el plano se curva suavemente para conseguir que la velocidad esté dirigida horizontalmente. El plano está situado a una altura del suelo de 828 *puntos*, valor indicado en el manuscrito, es decir, 77.7 cm¹¹. A partir de C , el movimiento de la esfera está compuesto de otros dos: un movimiento horizontal con una velocidad uniforme igual a la adquirida en el descenso por el plano inclinado y un movimiento vertical uniformemente acelerado de caída libre. Por tanto, la esfera describe, desde el punto C , una trayectoria parabólica, recorriendo hasta tocar en el suelo en el punto F una distancia vertical $b = 77.7$ cm y una distancia horizontal D .

En su reproducción del supuesto experimento, Naylor utilizaba un plano acanalado de 2 metros de longitud y una esfera de acero de 16 mm de diámetro. Con una inclinación del plano de 26° , es posible obtener valores de D correspondientes a los valores de H , o sea 300, 600, 800 y 1000, que son muy próximos a los que figuran en el manuscrito. El ajuste entre valores medidos y valores calculados de D se mantiene para ángulos de inclinación del plano entre 32° y 41° , y disminuye apreciablemente para ángulos mayores que 50° . ¿Cómo ha obtenido Galileo los valores calculados? Unos cálculos que aparecen en el folio debajo de las trayectorias muestran que Galileo está utilizando la relación

$$D^2 \propto H \quad (1)$$

tomando como base la distancia horizontal medida, o sea 800 *puntos*, correspondiente a una altura vertical de 300 *puntos*. Ha podido llegar a esta proporcionalidad fácilmente si se tiene en cuenta que conoce la ley de caída desde 1604, como lo demuestra el hecho de que la fórmula en la carta a Sarpi de 16 de octubre de 1604, y se admite que en este momento ha abandonado su vieja idea de que la ley es derivable de un principio, también afirmado en la carta, según el cual en caída libre los cuerpos aumentan su velocidad en proporción simple con la distancia recorrida. En lugar de este principio, en el periodo a que pertenece el manuscrito ha empezado a considerar un principio alternativo: en caída libre el crecimiento de la velocidad es proporcional a la raíz cuadrada de la distancia¹². Con la ley de caída, el nuevo principio que gobierna el crecimiento de la velocidad, y la idea de que la distancia horizontal recorrida es proporcional a la velocidad con que la esfera deja el plano, puesto que el tiempo es constante para todos los valores de la distancia horizontal recorrida por la esfera al dejar el plano, es fácil llegar a la relación en cuestión¹³.

¹⁰ El dispositivo está sugerido por un diagrama de Galileo contenido en otro manuscrito, el f. 175v.

¹¹ El *punto* es una de las unidades de distancia utilizadas por Galileo. 1 *punto* = 0.94 mm.

¹² Véase la carta a Paolo Sarpi de 16 de octubre de 1604 (*Opere*, X, p. 115) y el f. 152r.

¹³ Sea v la velocidad adquirida por una esfera al recorrer una distancia s por el plano desde una altura H .

Si $v \propto \sqrt{s}$, entonces $v \propto \sqrt{H}$, pues en el plano se cumple que $s \propto H$. Entonces $v^2 \propto H$. Ahora bien, como $D \propto v$, se concluye que $D^2 \propto H$.

Ahora bien, aceptando que el folio registra un experimento la dificultad estriba en determinar su objetivo. Cuando Drake publicó el manuscrito en 1973, afirmó que el objetivo de Galileo era contrastar una idea anterior suya: la persistencia del movimiento horizontal uniforme en ausencia de resistencia apreciable¹⁴. Por su parte, Naylor piensa que este experimento proporciona una contrastación de la ley de caída de los cuerpos mucho más precisa que la que se describe en los *Discorsi* mediante el famoso experimento del plano inclinado (Naylor 1974, p. 112). Otros piensan que los experimentos registrados en el manuscrito obligaron a Galileo a descartar su vieja idea según la cual en el movimiento de caída libre la velocidad crece proporcionalmente con la distancia recorrida —es la idea que afirmó en la carta a Sarpi— y le sugirieron que el crecimiento de la velocidad es proporcional a la raíz cuadrada de dicha distancia o bien que fueron diseñados específicamente para contrastar directamente esta última idea¹⁵.

En cualquier caso, lo que parece claro es que el manuscrito registra una comparación de cálculos concretos con medidas concretas (los “números *doveria*”). Es más, el ajuste entre valores calculados y valores medidos es muy notable. ¿Cómo describiríamos la actividad que atestigua el manuscrito? Dear cree que no podemos decir “Galileo experimentaba” porque, en la obra publicada, nunca proporcionó una descripción de su actividad en términos que, comparados con los que pueden encontrarse en descripciones *posteriores*, como, por ejemplo, las que proporciona Newton, nos permitan identificarla como productora de experimentos. Galileo nunca describe un suceso histórico concreto —“hice esto y resultó aquello”—, antes bien, describe sus experimentos despojando su descripción de detalles concretos, lo cual elimina cualquier distinción entre ellos y un experimento mental. Entonces,

Lo relevante es distinguir entre los sucesos experimentales cuyas descripciones son típicas de las publicaciones de los primeros tiempos de la Royal Society y las experiencias diseñadas cuya descripción no se expresa en términos de sucesos históricos discretos. [...] El largo debate acerca del estatuto de los “experimentos” de Galileo ilustra bien las sutilezas de la cuestión: ¿cómo debemos interpretar los claros intentos de Galileo, en sus publicaciones, por convertir las actividades manifestadas por sus notas manuscritas en transparentes “experimentos mentales”? Resulta apropiado decir que, tal y como pone de manifiesto lo que hace con las experiencias diseñadas que se encuentran en sus manuscritos a la hora de publicar lo que pretenden ser afirmaciones de resultados científicos, Galileo no hacía experimentos (Dear 1990, p. 682 n. 61).

Pero la situación es muy distinta a como la explica Dear. No se trata de que Galileo haya descrito, en la obra publicada, las actividades registradas en sus manuscritos despojándolas de detalles hasta tal punto que la descripción proporcionada podría corresponder igualmente bien a un experimento puramente mental. Ni el caso del f. 116v, ni el de los otros manuscritos relacionados con la construcción de la ciencia del movimiento, responde al análisis de Dear. No se trata de que Galileo convierta sus actividades en “experimentos mentales”, es que no las menciona para nada. “Lo que

¹⁴ Las ideas de Galileo respecto a la conservación del movimiento horizontal se remontan al menos a 1607. Véase la carta a Castelli de 1 de abril de 1607 (*Opere*, X, p. 170).

¹⁵ Las interpretaciones mencionadas del f. 116v están en Wisan (1984), Hill (1986) y Hill (1988).

hace con las experiencias diseñadas que se encuentran en sus manuscritos” es, lisa y llanamente, ocultarlas. Y esto es así tanto en su obra publicada como en su correspondencia.

¿Por qué Galileo nunca mencionó los experimentos registrados en el f. 116v¹⁶? ¿Se trata de una decisión que proviene de una convicción epistemológica sobre el recurso a la experiencia? La reconstrucción del folio permite, si no ofrecer una respuesta definitiva, por las dificultades de interpretación que ofrece un documento tan fragmentario, al menos sugerir una hipótesis alternativa suficientemente verosímil. En la línea horizontal donde terminan las curvas, hay un número particularmente significativo, 1340, que va acompañado por la frase “debería [ser] 1330, d[if]e[r]e[n]cia 10”. Utilizando la relación (1) se ve que la altura en el plano inclinado que corresponde a una distancia horizontal calculada de 1330 *puntos* es 828 *puntos*, esto es se ha medido la distancia horizontal correspondiente a $H = h$. Todo hace pensar que Galileo está aquí contrastando un resultado que conoce desde hace tiempo, la regla de la distancia doble¹⁷. La regla afirma que si se considera un cuerpo que se mueve con un movimiento uniformemente acelerado y en un punto de su trayectoria comienza a moverse con una velocidad constante igual a la alcanzada en dicho punto por el movimiento acelerado, entonces en un intervalo de tiempo igual el cuerpo recorre una distancia doble de la recorrida en el movimiento acelerado¹⁸. En el caso que nos ocupa, el razonamiento de Galileo podría haber sido el siguiente. La velocidad adquirida en el punto *C* (véase la figura 3) por una esfera que desciende por el plano desde una altura vertical *H* es igual a la que adquiriría en una caída vertical desde una altura *H*¹⁹. Al dejar el plano, la esfera recorre una distancia horizontal *D* en un tiempo igual al necesario para caer libremente una altura $h = H$. Así pues, en un tiempo $t (h = H)$ la esfera recorre una distancia horizontal *D* moviéndose con una velocidad uniforme igual a la adquirida en el movimiento acelerado de caída libre por la distancia *h*. Entonces, por la regla de la distancia doble, $D = 2h$, es decir, $D = 1656$ *puntos*.

Ahora bien, si este resultado teórico se compara con el experimental se ve que la discrepancia es del 19% (Naylor 1974, p. 113). El ajuste entre valores calculados y valores medidos se rompe espectacularmente. Si Galileo ha utilizado su proporcionalidad (1) con la base $D = 1656$, $H = 828$, proporcionada por su regla de la distancia doble, y ha comparado con los resultados experimentales, su desaliento no ha podido ser mayor. La discrepancia entre valores calculados con la ecuación (1), utilizando la base

¹⁶ Este es un problema que se ha seguido discutiendo desde que lo planteó Drake. Véase Drake (1973), p. 305.

¹⁷ Ya Drake había llamado la atención sobre este punto. Véase Drake (1973), p. 300.

¹⁸ F. 163v (*Opere*, VIII, p. 384). Véase la discusión de este importante resultado en Wisan (1974), pp. 205-207 y Damerow *et al.* (1992), pp. 171-174.

¹⁹ Este resultado aparecerá posteriormente en los *Discorsi* como el único “principio” que requiere la ciencia del movimiento naturalmente acelerado: “Supongo que los grados de velocidad adquiridos por un mismo móvil sobre planos diversamente inclinados son iguales, siempre que las alturas de esos planos sean iguales” (*Opere*, VIII, p. 205). He utilizado la traducción castellana en Azcárate *et al.* (1988), p. 60.

$D = 800$, $H = 300$, y valores experimentales, que nunca excede del 3.6 %, ahora, al comparar estos últimos con valores calculados utilizando la base proporcionada por la regla de la distancia doble se ve que nunca es menor que 16.9%. Desde nuestro punto de vista, la explicación es inmediata. A diferencia de la caída libre, el movimiento de la esfera por el plano inclinado no es una traslación pura, como supone Galileo, sino una rodadura sin deslizamiento. La aceleración de la esfera en su movimiento por el plano es sólo cinco séptimos de la que la regla de la distancia doble supone. Y la velocidad con la que la esfera deja el plano es sólo $\sqrt{5/7}$ de la que adquiriría después de una caída vertical H . El resultado que Galileo espera sólo sería posible si el movimiento por el plano fuera un deslizamiento perfecto²⁰. Naturalmente, esta explicación está fuera del alcance de Galileo, que tendría que buscar la solución en el único factor posible desde su punto de vista, el rozamiento en el plano.

El experimento del f. 116v permite confirmar con una precisión notable el principio-definición correcto del movimiento uniformemente acelerado ($v \propto t$). Asimismo, podría utilizarse para confirmar la trayectoria parabólica de los proyectiles, que es el otro resultado fundamental de la ciencia del movimiento tal como se expone en los *Discorsi*. Como se ha hecho notar, el experimento permite una especie de contrastación global de la teoría del movimiento (Hahn 2002, p. 358). Además, esta contrastación puede llevarse a cabo sin la necesidad de recurrir a la medida del tiempo lo cual es, para la época, una ventaja fundamental. Sin embargo, esta misma inclusividad opera como desventaja en la medida en que la interpretación del experimento requiere un dominio de conceptos suficientemente complicados tomados por separado. Por otra parte, el experimento mismo revela que algo fundamental en la conceptualización del movimiento no funciona. Situado en esta tesitura, no puede sorprender que Galileo haya ocultado cuidadosamente el experimento.

Ahora bien, que no utilice el experimento no nos permite excluir que *podiera* haberlo hecho y por consiguiente estamos legitimados, desde el análisis del mismo Dear, para hablar del experimento del f. 116v. Recordemos cómo caracteriza Dear un experimento. Lo caracteriza como “un suceso histórico en el que un investigador examina la conducta de un dispositivo o aparato diseñados y utiliza, o *podría* utilizar, un informe de ese suceso histórico como elemento en la construcción de un argumento que pre-

²⁰ Si se considera que el movimiento de la esfera es una traslación pura, se tiene que

$$\frac{1}{2} mv^2 = mgb$$

donde v es la velocidad final adquirida por la esfera y b la altura del plano. Por tanto, $v = \sqrt{2gb}$.

Pero si la esfera rueda sin deslizar, se tiene

$$\frac{1}{2} mv'^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 = mgb$$

donde v' es la velocidad final alcanzada por la esfera, ω la velocidad angular e I el momento de inercia de la esfera ($\frac{2}{5} mr^2$, con r el radio de la esfera). Entonces, $v' = \sqrt{\frac{10}{7} gb}$. Y por tanto $v' = \sqrt{\frac{5}{7}} v$.

El problema había sido discutido por Drake en su reconstrucción de los experimentos de Galileo. Véase Drake (1973), p. 300. Véase, asimismo, Naylor (1974), p. 112 y Naylor (1976b), pp. 416-419.

tende establecer o promover una aportación al conocimiento” (Dear 1991, pp. 137-138, el subrayado es mío). ¿En qué podría basarse Dear para negar que el experimento del f. 116v pudiera servir para construir un argumento? Que Galileo no lo utilizó es un hecho pero ¿lo es también que no podría haberlo utilizado? Hemos visto razones que pueden explicar por qué Galileo decidió no utilizarlo, pero esas mismas razones no pueden excluir que pudiera haberlo utilizado. Yo he proporcionado una explicación de por qué hubiera sido aconsejable no utilizarlo, máxime cuando, como veremos inmediatamente, Galileo tenía una alternativa mejor, pero dicha explicación no excluye que Galileo *hubiera podido* decidirse a utilizarlo después de todo. Es perfectamente concebible que Galileo hubiera podido arriesgarse a proporcionar una descripción de su experimento que pasara por alto sus dificultades, del mismo modo que decidió anunciar al mundo sus descubrimientos telescópicos cuando ignoraba cómo funcionaba el telescopio.

He apuntado que Galileo tenía una alternativa mejor. Supongamos que pudiera describirse un experimento más simple que el que se registra en el f. 116v, pero que permitiera confirmar más allá de toda duda el principio $v \propto t$ mediante la contrastación de su consecuencia, la ley de caída de los cuerpos. En este caso, la ciencia del movimiento quedaría vindicada en su mismo fundamento. Este es, precisamente, el famoso experimento que se describe en los *Discorsi*.

4. *El experimento de los Discorsi*

El *De motu locali*, tratado cuya lectura ocupa las dos últimas jornadas de los *Discorsi*, constituye la presentación final de la nueva ciencia del movimiento de Galileo. Estructurado en tres libros, el tratado contiene los dos grandes resultados de la cinemática galileana: la ley de caída de los cuerpos (Teorema II del Libro II, *De motu naturaliter accelerato*) y la demostración de la trayectoria parabólica de los proyectiles (Teorema I del Libro III, *De motu proiectorum*). Una vez que Salviati, aquí como en el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas* el portavoz de Galileo, ha terminado de leer a sus amigos la demostración del teorema que formula la ley de caída de los cuerpos, Simplicio, el defensor de las tesis aristotélicas, se declara convencido de la corrección de la demostración del teorema, pero se pregunta si los graves en la naturaleza caen según esa ley. Salviati elogia la preocupación de Simplicio y, a renglón seguido, describe la siguiente experiencia:

En un tablón, o si se quiere, en una viga de madera de unas 12 brazas de largo y media braza de ancho por un lado y 3 dedos por el otro, se había tallado, en esta anchura menor, un canalito poco más ancho de un dedo; habiéndolo trazado muy recto, y, después de pegarle en su interior un pergamino bruñido y lustrado todo lo posible para tenerlo muy pulido y liso, se hacía descender por él una bola de bronce durísimo, muy redonda y pulida; después de inclinar la viga, elevando sobre el plano horizontal uno de sus extremos una o dos brazas a voluntad, se dejaba (como digo) descender por dicho canal la bola, anotando, en la manera que indicaré enseguida, el tiempo que empleaba para recorrerlo todo, repitiendo el mismo acto muchas veces, para asegurarnos bien de la cantidad de tiempo, en el cual jamás se encontraba una diferencia ni siquiera de la décima parte de una pulsación. Una vez hecha y establecida exactamente esta operación, hacíamos descender la misma bola solamente por la cuarta parte de la longitud del canal; y medido el

tiempo de su descenso, se encontraba siempre, con toda exactitud, ser la mitad del otro; y haciendo luego experiencias [esperienze] con otras partes, comparando el tiempo de toda la longitud con el tiempo de la mitad, o con el de los dos tercios o de los $\frac{3}{4}$, o, en conclusión, con cualquier otra división, por medio de experiencias [esperienze] más de cien veces repetidas, se encontraba siempre que los espacios recorridos están entre sí como los cuadrados de los tiempos, y esto en todas las inclinaciones del plano, esto es, del canal por el que se hacía descender la bola [...]. En lo que respecta a la medida del tiempo, se empleaba un gran cubo lleno de agua, suspendido en alto, del cual, por un delgado canalito soldado en su fondo, caía un fino hilo de agua que se recogía en un pequeño vaso, durante todo el tiempo en que la bola descendía por el canal y por sus partes. Luego, las partículas de agua recogidas de este modo, se iban pesando cada vez con una balanza exactísima, dándonos las diferencias y proporciones de sus pesos, las diferencias y proporciones de los tiempos; y esto con tal precisión que, como ya he dicho, repetidas una y otra vez estas operaciones, nunca diferían de modo apreciable (*Discorsi, Opere*, VIII, pp. 212-214) ²¹.

Como es bien sabido, esta descripción se ha discutido una y otra vez en la literatura especializada. Los historiadores que escribían a finales del siglo XIX y comienzos del XX no tenían ninguna duda de que: (i) Galileo estaba describiendo un experimento real; (ii) el experimento descrito podía arrojar resultados tan precisos como los que Galileo reivindicaba ²². Sin embargo, en 1939, Koyré aceptaba (i), pero rechazaba rotundamente (ii): “tal rigurosa concordancia es rigurosamente imposible” (Koyré 1980, p. 145, subrayados de Koyré). En un artículo de 1953 volvía a la carga; después de citar íntegramente el texto de los *Discorsi*, comentaba:

¡Una bola de bronce que rueda en una ranura “lisa y pulida”, tallada en madera! ¡Un recipiente de agua con un agujero por el cual pasa el agua que se recoge en un vaso, para pesarla luego y medir de este modo los tiempos de descenso! [...] ¡qué acumulación de fuentes de error y de inexactitud!

Es evidente que los experimentos de Galileo están completamente desprovistos de valor: la misma perfección de sus resultados es una prueba rigurosa de su inexactitud (Koyré 1977, p. 279) ²³.

En definitiva, si bien Koyré no ponía en duda que la descripción de los *Discorsi* se correspondiera con un experimento real, desde su punto de vista está claro que la ejecución nunca podría producir resultados precisos, y no por falta de pericia experimental por parte de Galileo sino por un condicionamiento inevitable de la época: la falta de dispositivos que permitieran medir tiempos con la exactitud suficiente.

Hasta 1961, la discusión sobre el experimento de Galileo se apoyaba fundamentalmente en el análisis textual. En ese año la discusión iba a enriquecerse con nuevos

²¹ Traducción castellana en Azcárate *et al.* (1988), pp. 73-74, ligeramente modificada.

²² Ya Herschel mencionaba “los experimentos del tipo más convincente” utilizados por Galileo para refutar la teoría del movimiento de Aristóteles (Herschel 1987, p. 113). Véase, asimismo, la discusión de Mach en Mach (1960), pp. 159-160. Aún en 1955, Dugas citaba el texto de los *Discorsi* señalando la “escrupulosa manera” en que había sido llevado a cabo el experimento (Dugas 1988, p. 138).

²³ Sin embargo, cabe preguntarse para quién están “desprovistos de valor” los experimentos de Galileo ¿para él o para nosotros? A juzgar por la nota a pie de página que introduce en el texto que acabamos de citar, en la que señala que los historiadores modernos leen el texto de Galileo teniendo en mente la ejecución del experimento en los laboratorios escolares actuales, parece que Koyré considera que la precisión accesible a Galileo no sería aceptable *para nosotros*. Pero, naturalmente, lo relevante es si a Galileo le parecía el experimento lo suficientemente preciso.

factores, a raíz de la entrada en escena de un personaje nuevo, el historiador-experimentador. Settle publicó un artículo en el que informaba de los resultados que había obtenido al repetir el experimento del plano inclinado de los *Discorsi* siguiendo fielmente la descripción de Galileo y utilizando exclusivamente medios accesibles a Galileo (Settle 1961). Según Settle, en contra de lo que Koyré había afirmado, es perfectamente posible obtener resultados precisos con los medios que Galileo tiene a su alcance. Naturalmente, lo que Settle había probado, en principio, es que Galileo *podría* haber obtenido resultados precisos, en absoluto que los *obtuviera de hecho*. Digo “en principio” porque su repetición del experimento fue cuestionada. Unos años después, en 1974, Naylor, insatisfecho con algunas de las características de la reproducción de Settle, publicaba un artículo en el que, después de señalar las insuficiencias de la reconstrucción de Settle, en particular en lo que hace referencia a la medida del tiempo, informaba de los resultados que había obtenido en su propia reproducción del experimento. Su conclusión es inequívoca: este experimento no permite confirmar la ley con la precisión que Galileo afirma haber conseguido (Naylor 1974, p. 133). A diferencia de lo que ocurre en el experimento del f. 116v, en el de los *Discorsi* la concordancia entre predicciones y medidas no excede $\pm 5\%$ (Naylor 1980, p. 371).

Vimos más arriba cómo Dear leía la descripción de Galileo:

En vez de describir un experimento específico o un conjunto de experimentos llevados a cabo en un momento concreto, junto con un registro cuantitativo detallado de los resultados, Galileo dice simplemente que, utilizando un dispositivo determinado, descubrió que los resultados concordaban exactamente con sus supuestos teóricos —dice que repitió las pruebas “cien veces”. Un poco más arriba había escrito “a menudo”. En realidad, ambas frases son simplemente modos de decir “tantas veces como queráis”. Así, Galileo establece la autenticidad de la experiencia según la cual los cuerpos que caen se comportan tal y como él afirma basándola en la memoria de *muchas instancias* —una multiplicidad de instancias no especificadas que equivale a una convicción experiencial (Dear 1995, p. 125, subrayado de Dear).

El propósito de la descripción del experimento de los *Discorsi* es, pues, según Dear, convencer al lector de que, después de todo, no se encuentra ante nada más que la descripción de una experiencia análoga a aquéllas con las que está familiarizado por sus lecturas de textos aristotélicos. El lector quedará convencido porque se le asegura que las cosas son así. Más aún, añade Dear, es particularmente significativo el hecho de que el experimento se describa en italiano y que la descripción no forme parte del tratado latino sobre el movimiento:

La presentación literaria que hace Galileo de la experiencia la separa netamente de la estructura deductiva estricta de su ciencia matemática formal del movimiento. Galileo se esforzó todo lo que pudo en conseguir que el supuesto básico de esa ciencia apareciera intuitivamente obvio (a saber, que las distancias recorridas por un cuerpo pesado que cae libremente en periodos uniformes de tiempo desde el reposo siguen la secuencia 1, 3, 5, 7, ...), pero la glosa italiana es el testimonio de su fracaso. Intenta reforzar el tratado latino recurriendo a la experiencia universal, pero el carácter construido, y esencialmente recóndito, de esa experiencia es precisamente la razón de que no pueda aparecer en la ciencia formal (Dear 1995, p. 127).

Creo que tenemos elementos suficientes para comprender lo discutible de esta lectura. Notemos, en primer lugar, que, en contra de lo que Dear afirma, el texto italiano que describe el experimento no pretende ser una “glosa”, al menos si se toma ese tér-

mino en su acepción usual de explicación o interpretación de un pasaje oscuro. Lo que pretende esa descripción es probar que el movimiento de los graves tiene una determinada estructura matemática, la que se expone en el Teorema II del libro dedicado al movimiento naturalmente acelerado. Dicho en otras palabras, lo que pretende es probar que el Teorema II es algo más que un teorema matemático. Pretende probar que, efectivamente, el enunciado del teorema formula una ley ²⁴ y que, por consiguiente, el principio del que es consecuencia, el principio $v \propto t$ es algo más que una mera definición formal.

Asimismo, hay otra hipótesis que permite explicar por qué la descripción del experimento se hace en italiano y que la argumentación de Dear no basta para descartar: porque, como vimos más arriba, Galileo no ha llegado a resultados suficientemente buenos en su experimento. Entonces, la situación de Galileo es realmente complicada: por una parte, tiene un experimento preciso, el del f. 116v, pero es conceptualmente complejo y su resultado parece manifestar un desajuste en la teoría; por la otra, tiene un experimento conceptualmente sencillo, el que se describe en los *Discorsi*, pero poco preciso. La salida está en construir una descripción de un experimento que pueda persuadir al lector de la precisión de un experimento no preciso. Dicho de otra manera, en recurrir a la retórica y describir el experimento perfecto ²⁵. Y esto es precisamente lo que hace Galileo, subrayando dos puntos fundamentalmente: (i) el plano inclinado que se utiliza tiene un rozamiento despreciable; (ii) el método utilizado para la medida del tiempo es de una precisión a toda prueba.

En su reconstrucción del experimento del plano inclinado, Naylor, siguiendo escrupulosamente la descripción de Galileo, revistió con pergamino el canal por el que desciende la esfera y estudió sistemáticamente su influencia en el movimiento de la esfera ²⁶. Pues bien, en contra de lo que podría pensarse al leer el texto de Galileo, el efecto del pergamino es contraproducente, de hecho retarda el movimiento de la esfera. Ello es porque la longitud del canal obliga a utilizar más de una pieza de pergamino, con lo que las inevitables juntas entre ellas perturban el movimiento. Ahora bien, observa Naylor, si Galileo podía medir tiempos con la precisión que pretende — la diferencia entre predicciones y resultados no excedía “la décima parte de una pulsación” (o sea 0.08 segundos, si se toma el valor estándar de 75 pulsaciones por minuto)— este hecho no podía escapársele. Entonces, ¿por qué introduce el detalle del pergamino en la descripción? Porque está describiendo, si no el plano ideal de roza-

²⁴ Como ya observaba Clavelin. Véase Clavelin (1968), p. 422. Notemos, de pasada, que, en contra de lo que escribe Dear, sin duda por descuido, la afirmación que pone entre paréntesis en su texto no es un “supuesto básico” de la ciencia del movimiento, sino el Corolario II del Teorema II del movimiento naturalmente acelerado, también conocido como “corolario de los números impares”.

²⁵ Como ya había señalado Naylor. Véase Naylor (1974), p. 133 y Naylor (1976b) p. 399. De hecho, como vimos más arriba, ya Koyré había adelantado que la descripción del experimento no se ajustaba a su ejecución (Koyré 1977, p. 279). Elementos retóricos en la descripción de Salviati han sido señalados también en Cantor (1989).

²⁶ Settle había ignorado el detalle y había hecho descender la esfera por los bordes del canal.

miento cero, al menos un plano en el que el rozamiento sea despreciable a todos los efectos (Naylor 1974, p. 133).

Pero no basta con un plano con rozamiento casi cero, hay otro factor tan complicado o más que el primero: la medida del tiempo. Aquí Galileo se supera a sí mismo, al afirmar que “las partículas [*particelle*] de agua recogidas de este modo, se iban pesando cada vez con una balanza exactísima”. ¡Una balanza que pesa partículas! Cuando insista en su método de medida del tiempo en una carta a Baliani, le explicará, más sobriamente, que

Es verdad que podremos conseguir medidas más exactas si observamos el flujo del agua en un tubito, pues si la recogemos y pesamos la que pasa en, por ejemplo, un minuto, podremos luego, si pesamos la que pasa en el tiempo del descenso del canal, encontrar la medida exactísima y la cantidad de ese tiempo, máxime si nos servimos de una balanza tan exacta que es capaz de pesar un sesentavo de grano (Galileo a Baliani, 1 de agosto de 1639, *Opere*, XVIII, pp. 76-77).

Su afirmación final es cuando menos chocante: su balanza tiene una precisión de 0.1 miligramos ²⁷. No es extraño que, en su respuesta, Baliani ignore totalmente el método propuesto por Galileo para la medida del tiempo y, en su lugar, prefiera utilizar un péndulo de periodo conocido (Baliani a Galileo, 19 de agosto de 1639, *Opere*, XVIII, pp. 86-88).

El lector de la descripción de los *Discorsi* no puede por menos de quedar convencido tanto de la precisión del experimento como de que su ejecución afortunada no depende de la casualidad. Funciona bien “una y otra vez”, y la repetición aquí no implica necesariamente un compromiso epistemológico con una concepción del recurso a la experiencia en última instancia aristotélica sino, por una parte, un énfasis retórico en la idoneidad del dispositivo y la pericia del experimentador y, por la otra, quizás una insinuación de que no estamos ante un experimento, sino ante una serie de experimentos ²⁸. Nótese, asimismo, que Galileo tiene que emplearse a fondo en esta descripción porque, en contra de su afirmación según la cual el experimento funciona “en todas las inclinaciones del plano”, sabemos muy bien que el experimento sólo produce buenos resultados en inclinaciones pequeñas, precisamente porque en caso contrario el intervalo de tiempo implicado es lo suficientemente pequeño como para que la medida del tiempo sea poco precisa (Naylor 1976a, p. 93). Desde *nuestro* concepto de experimento nos hubiera gustado que Galileo hubiera empleado menos retórica y, como Newton, hubiera proporcionado una tabla de resultados pero, desde su punto de vista la omisión es imperativa: no proporciona resultados porque no los tiene. O bien tendría que presentar sus resultados con precisiones poco prometedoras del tipo “el ex-

²⁷ Tomando 1 grano = 0.006 gramos. Véase, al respecto la tabla de unidades usadas por Galileo en Mer-senne (1973), vol. 2, p. 134. Téngase en cuenta que, como señala Settle, según Agrícola, a principios del siglo XVI los ensayadores podían pesar con una precisión de 0.2 gramos (Settle 1961, p. 22).

²⁸ Esta última posibilidad ha sido sugerida por Hahn. Véase Hahn (2002), p. 342. En este sentido, nótese que Galileo escribe “se dejaba [...] descender por dicho canal la bola, anotando [...] el tiempo que empleaba para recorrerlo todo, repitiendo el mismo acto muchas veces, *para asegurarnos bien de la cantidad de tiempo*” (*Discorsi*, *Opere*, VIII, p. 213, el subrayado es mío). La repetición, “muchas veces”, tiene, pues, una interpretación bastante natural, aunque no carece de intención retórica.

perimento funciona para planos con ángulos de inclinación tales y cuales, pero no funciona en otros casos”. Por ello el tratado que expone la ciencia del movimiento no puede incluir resultados concretos del experimento que confirma los principios en que se basa y hay que recurrir al expediente de la descripción retórica.

5. Conclusiones

El Galileo que redacta el *De motu locali* se encuentra en una situación particularmente difícil en lo que hace referencia a la contrastación de los principios que fundamentan la ciencia del movimiento. Dispone de un experimento, el que se registra en el f. 116v, que permite contrastar con gran precisión los dos principios fundamentales de dicha ciencia: (i) la definición de movimiento naturalmente acelerado, y (ii) el principio que afirma la igualdad de las velocidades adquiridas en el descenso por la vertical y la longitud del plano en un plano inclinado. Pero el experimento no puede pasar a la obra publicada porque, en primer lugar, es demasiado complicado y, además, porque hay un factor, la inercia rotacional, que escapa a Galileo y que convierte al experimento en un misterio parcial. Aquí es ilustrativo recordar los problemas asociados a su presentación de sus descubrimientos telescópicos. Galileo no sabe por qué el telescopio funciona como funciona, esto es no tiene una teoría del instrumento, pero tiene el instrumento, lo puede reproducir y, por tanto, puede conseguir que otros, una vez que aprendan a ver, vean lo mismo que él. ¿Es posible hacer esto en el caso del experimento del f. 116v? En la presentación definitiva de la ciencia del movimiento se proporciona una descripción retórica de un experimento mucho más simple de concepción que permite poner de manifiesto la corrección de los principios en que se basa dicha ciencia.

Dear sostiene que no podemos decir que “Galileo experimentaba”, entonces ¿qué hacía?, esto es, ¿cómo podemos describir su práctica? El aristotélico entiende por experiencia lo que la observación revela del mundo tal y como aparece y que puede expresarse en enunciados universales del tipo “el fuego se eleva”. La actividad que conduce a este enunciado es, simplemente, observar cómo se comporta el fuego. Así pues, el aristotélico no experimentaba. Por su parte, Galileo construye un dispositivo para contrastar una ecuación matemática y compara valores calculados mediante esta ecuación con valores medidos. Hay una clara diferencia entre estas dos prácticas, — una diferencia que Dear no ignora, no estoy sugiriendo que Dear convierta a Galileo en un aristotélico más desde el punto de vista de su concepción de la experiencia— pero, desde su interpretación Dear dificulta extraordinariamente la caracterización de esta diferencia. Nótese que para plantear este problema no se requiere, necesariamente, compartir la idea positivista según la cual algún documento, o conjunto de documentos, nos permitirá por fin determinar de manera inequívoca lo que Galileo hacía realmente.

Quizá sea tentador describir su práctica literaria como una simple presentación, o forma, o “mera retórica”; afirmar que las cuestiones importantes están relacionadas con lo que hacía realmente y no con su manera de presentar sus actividades al público. Sin embargo, esto sería un error: la noción implicada de lo que Galileo “hacía realmente” resulta ser estrictamente incoherente. ¿Qué

significa *hacer un experimento*? ¿Podemos decir legítimamente que hacer rodar bolas por planos inclinados es, realmente, “hacer un experimento” incluso si el que las lleva a cabo proporciona una interpretación de dichas acciones que es bastante diferente de la que proporcionarían experimentalistas posteriores de un carácter típicamente moderno? (Dear 1991, p. 136, subrayado de Dear).

No se trata de oponer la retórica de la obra publicada frente a la sobria autenticidad de los manuscritos, bajo el presupuesto de que sólo estos últimos nos revelarán lo que Galileo hacía realmente. Se trata, más bien, de reconstruir una práctica compleja que, entre otras muchas cosas, ha dejado una huella, los manuscritos del movimiento. Si las convicciones epistemológicas de Galileo son las que le han conducido a una práctica literaria en los términos que analiza Dear, entonces cabe preguntarse ¿para qué se ha tomado la molestia de “hacer rodar bolas por planos inclinados”? Dicho en otras palabras, la interpretación de Dear hace que la práctica de Galileo cuya huella son los manuscritos sea rigurosamente ininteligible, a menos que nos baste decir que decidió registrar los resultados de hacer rodar bolas por planos inclinados. Dear considera que si Galileo no describía su práctica en los mismos términos que lo hacían los experimentalistas posteriores es porque, a diferencia de estos últimos, no había llegado a la noción moderna de experimento. De lo anterior se sigue otra posibilidad: si Galileo no describe su práctica en términos homologables a los de los experimentalistas, es porque ninguno de sus experimentos se presta a ello. Pero el f. 116v registra algo más que “hacer rodar bolas”, el problema es que aún no sabemos cómo caracterizarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aristóteles (1982). *Metafísica de Aristóteles*, edición trilingüe de Valentín García Yebra. Madrid: Gredos.
- (1988). *Analíticos segundos*, en Aristóteles, *Tratados de Lógica (Órganon)*, 2 vols., introducciones, traducciones y notas de Miguel Candel Sanmartín. Madrid: Gredos.
- Azcárate, C., Doncel, M. G. y Romo, J., (eds.) (1988). *Galileo Galilei: La nueva ciencia del movimiento*. Bellaterra: Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona y Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Cantor, G. (1989). “The Rhetoric of Experiment” en Gooding, D., Pinch, T., y Schaffer, S., (eds), *The Uses of Experiment. Studies in the Natural Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 159-180.
- Clavelin, M. (1968). *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris: Armand Colin.
- Costabel, P. (1975). “Mathematics and Galileo’s Inclined Plane Experiments” en Righini Bonelli, M. L., y Shea, W. R. (eds.), *Reason, Experiment and Mysticism in the Scientific Revolution*. Nueva York: Science History Publications, pp. 177-189.
- Damerow, P., Freudenthal, G., McLaughlin, P., y Renn, J. (1992). *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics. A Study of Conceptual Development in Early Modern Science: Free Fall and Compounded Motion in the Work of Descartes, Galileo, and Beekman*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Dear, P. (1985). “*Totius in verba*. Rhetoric and Authority in the Early Royal Society”, *Isis* 76, 145-161.
- (1987). “Jesuit Mathematical Science and the Reconstitution of Experience in the Early Seventeenth Century”, *Studies in History and Philosophy of Science* 18, 133-175.
- (1990). “Miracles, Experiments, and the Ordinary Course of Nature”, *Isis* 81, 663-683.
- (1991). “Narratives, Anecdotes, and Experiments: Turning Experience into Science in the Seventeenth Century” en Dear, P. (ed.), *The Literary Structure of Scientific Argument. Historical Studies*. Filadelfia: University of Pennsylvania Press, pp. 135-163.
- (1995). *Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.

- Drake, S. (1973). "Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts", *Isis* 64, 291-305.
- (1975). "The Role of Music in Galileo's Experiments", *Scientific American* 232 (junio), 98-104.
- Drake, S. y MacLachlan, J. (1975). "Galileo's Discovery of the Parabolic Trajectory", *Scientific American* 232 (marzo), 102-110.
- Dugas, R. (1988). *A History of Mechanics*. Nueva York: Dover, (orig. 1955).
- Galileo Galilei (1890-1909). *Le Opere di Galileo Galilei*, 20 vols., Edizione Nazionale a cura di A. Favaro. Florencia: Barbera.
- Hahn, A. J. (2002). "The Pendulum Swings Again: A Mathematical Reassessment of Galileo's Experiments with Inclined Planes", *Archive for History of Exact Sciences* 56, 339-361.
- Herschel, J. F. W. (1987). *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press, facsímil de la edición de 1830.
- Hill, D. K. (1986). "Galileo's Work on 116v: A New Analysis", *Isis* 77, 283-291.
- (1988). "Dissecting Trajectories. Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall", *Isis* 79, 646-668.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI (orig. 1939).
- (1977). "Un experimento de medición" en Koyré, A., *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo XXI, pp. 274-305.
- Mach, E. (1960). *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of Its Development*. La Salle: Open Court, 1960 (orig. 1883).
- Mersenne, M. (1973). *Les nouvelles pensées de Galilée*, 2 vols., édition critique par P. Costabel y M.-P. Lerner. Paris: Vrin.
- Naylor, R. H. (1974). "Galileo and the Problem of Free Fall", *The British Journal for the History of Science* 7, 105-134.
- (1976a). Reseña de Wisan (1974), *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze* 1, 89-97.
- (1976b). "Galileo: Real Experiment and Didactic Demonstration", *Isis* 67, 398-419.
- (1980). "The Role of Experiment in Galileo's Early Work on the Law of Fall", *Annals of Science* 37, 363-378.
- Newton, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy, A New Translation* by I. Bernard Cohen and Anne Whitman, assisted by Julia Budenz. Berkeley: University of California Press.
- Romo, J. (1985). *La física de Galileo. La problemática en torno a la ley de caída de los cuerpos*. Bellaterra: Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- Settle, T. B. (1961). "An Experiment in the History of Science", *Science* 133, 19-23.
- Wisan, W. L. (1974). "The New Science of Motion: A Study of Galileo's *De motu local?*", *Archive for History of Exact Sciences* 13, 103-306.
- (1984). "Galileo and the Process of Scientific Creation", *Isis* 75, 269-286.
- Waismann, F. (1951). "Verifiability", en A. Flew (ed.), *Logic and Language*, 1st series. Oxford: Basil Blackwell, pp. 17-44.

Jose Romo es Profesor Titular de Historia de la Ciencia en la Universidad de Barcelona. Ha publicado, entre otros, "Faraday's initial mistake concerning the direction of induced currents, and the manuscript of Series I of his *Researches*", *Archive for History of Exact Sciences* 47 (1994): 291-386 (junto con Manuel G. Doncel); "Los Diálogos de Galileo", *Asclepio* 48 (1996): 289-292; "La hipótesis cosmogónica de Laplace", *Revista Española de Física* 14 (2000): 48-54.

ADDRESS: Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia. Facultad de Filosofía. Universidad de Barcelona. C/ Baldori i Reixac, s/n. 08028 Barcelona. E-mail: romo@cerber.mat.ub.es.