

## GALILEO Y EL PRINCIPIO DE INERCIA

Edgar Roy Ramírez

Respecto de la importancia del principio de la inercia en el desarrollo de la física clásica no parece haber el menor desacuerdo. Todo el mundo parece reconocer el papel clave de la primera ley del movimiento; no es tan solo un detalle, sino una de las piedras angulares de la nueva visión del mundo.

Otra, completamente otra, es la historia de la función desempeñada por Galileo en el desarrollo y descubrimiento del principio de la inercia. Galileo es uno de esos personajes es torno a los cuales las polémicas nacen y renacen; pareciera como si los historiadores de Galileo hubieran heredado el carácter polémico del gran sabio italiano. Es quizá imposible encontrar otro personaje acerca del cual los historiadores de la ciencia —a ratos también los filósofos de la ciencia— discrepen tanto. Por lo que, el papel jugado por Galileo en el descubrimiento y aplicación del principio de inercia es campo de debate completamente abierto.

Nuestro propósito es hacer un recorrido y exposición de algunos de los aspectos más importantes de dicha polémica, basándonos primariamente en la obra más madura de Galileo *LAS DOS NUEVAS CIENCIAS*.

Cualquier velocidad impartida a un móvil será rígidamente mantenida en tanto que las causas externas de aceleración o de retardación sean eliminadas. Condición, esta última, que tan sólo se cumple en los planos horizontales (1).

Es de sumo interés hacer notar la cercanía o afinidad conceptual del anterior texto de Galileo con uno de los comentarios que Newton hace de la primera ley del movimiento: “los proyectiles continúan en su movimiento mientras no sean retardados por la resistencia del aire, o impelidos hacia

abajo por la fuerza de la gravedad” (2). Es un hecho histórico que Newton en sus *Principios* acredita a Galileo el descubrimiento del principio de la inercia. Es un lugar común afirmar que Newton no quería a Descartes —ni como físico, ni como filósofo— y que no le da crédito a ninguna de sus contribuciones; también es un lugar común el decir que Newton debe mucho a Descartes y entre sus deudas está el principio —incipiente o en estado de gestación— de inercia. Sin embargo, Newton da crédito a Galileo. ¿Se debe este hecho tan sólo a la “cartesiofobia” newtoniana o tiene algún otro fundamento? Esperamos, a lo largo de este artículo, dar respuesta a dicha interrogante.

Galileo parece estar muy cerca de la plena formulación del principio de la inercia:

En el plano horizontal. . . el móvil es indiferente al movimiento y al reposo, no tiene en sí mismo inclinación alguna a moverse en alguna dirección (determinada), no ofrece tampoco resistencia a ser movido (3).

Encontramos en este texto la importancia característica de la indiferencia entre el movimiento horizontal (nótese que no decimos rectilíneo) y el reposo; y hasta cierto punto su igualdad dinámica: no hay preeminencia del uno sobre el otro—recuérdese cómo en Aristóteles el reposo tiene preeminencia sobre el movimiento. El móvil es indiferente a los movimientos; con esto Galileo “formuló virtualmente el principio de inercia” (4). Tal como la encontramos expresada en el anterior texto, la posible formulación del principio de la inercia parece satisfacer otra característica más: “el

(2) Newton, *Principia* (Berkeley: University of California Press, 1934), p. 13.

(3) Galileo, op. cit., p. 215.

(4) R. Westfall, “Circular Motion in Seventeenth Century Mechanics”, *Isis* 63 (1972): 187.

(1) Galileo, *Two New Sciences* (Wisconsin: The University of Wisconsin Press, 1974), p. 243.

movimiento no tiene una dirección preferencial" (5).

¿Por qué el atribuirle carácter de rectilíneo a dicho movimiento es inapropiado? Galileo mismo nos da una respuesta inequívoca:

En el plano horizontal el móvil no ofrece resistencia a ser movido porque por medio de tal movimiento no hay ganancia o pérdida alguna respecto de su distancia del centro común de los graves, que es siempre conservada en el plano horizontal tal como se le definió arriba (6).

Dicha definición aclara toda posible ambigüedad en lo que respecta a la concepción galileana del plano horizontal: "... Significa una superficie [en todo lugar] equidistante del mencionado centro común'..." Debemos reconocer que nos encontramos frente a una circunferencia. Una y otra vez encontramos el principio de la inercia sugerido por Galileo:

El movimiento en el plano horizontal es uniforme. También ha de notarse que cualquiera que sea el grado de velocidad que se halla en un móvil, éste es por su propia naturaleza indeleblemente impreso en el móvil siempre que las causas de aceleración o las de retardación sean eliminadas, lo que ocurre solamente en el plano horizontal. . . De esto también se sigue que sea eterno por cuanto si es verdaderamente uniforme no se ve debilitado, . . . mucho menos eliminado (7).

Estamos frente al umbral del principio de la inercia, como gusta de decir Alexandre Koyré. Parece tener el carácter de *vis insita*: "... cualquiera que sea el grado de velocidad que se halla en un móvil, éste es por su propia naturaleza indeleblemente impreso en el móvil . . ." También claramente satisface la primera condición establecida por Shapere respecto del principio de la inercia: "el movimiento del cuerpo en cuestión es incausado (o natural)". Esto es: sucede sin ningún agente empujador externo o interno". Esto sucede por cuanto causa e impulso son identificados. Dicho de

otra manera: cuando la causa es reducida al caso particular de la causa eficiente. Esto puede verse claramente como cuando Galileo dice: "siempre que las causas externas de aceleración o retardación sean eliminadas. . ." Esta eliminación puede ser entendida como causa en sentido negativo, es decir, como condición necesaria que permite al movimiento uniforme y horizontal. Con esa condición satisfecha, la naturaleza misma del cuerpo basta para explicar el movimiento "inercial".

Parece como si en el texto anterior se afirmara no sólo el carácter rectilíneo del movimiento inercial, sino también que este movimiento es a la vez perpetuo y uniforme. Este movimiento es rectilíneo, perpetuo —al menos en principio— y uniforme. Alexandre Koyré hace el respecto el siguiente comentario:

. . . en el mundo arquimídeo de los *Discursos*, el plano horizontal sobre el cual el movimiento uniforme prosigue eternamente no es ya una superficie esférica; es un plano geométrico infinito. Y el grado de velocidad que el grave adquiere se conserva en él [plano] eternamente, cualquiera que sea la dirección de su movimiento. Lo que quiere decir que. . . todo cuerpo una vez puesto en movimiento sobre un plano horizontal, se mueve eternamente con un movimiento rectilíneo y uniforme. . . Estamos en el umbral del principio de la inercia y no lo cruzamos porque Galileo agrega inmediatamente que el cuerpo en cuestión se moverá naturalmente hacia abajo. . . el movimiento no permanece rectilíneo (8).

Stillman Drake, otro de los grandes estudiosos de Galileo, diría que Koyré ha puesto demasiado en el pasaje anterior. Drake sostiene que Galileo tiene un "concepto restringido de inercia", "que limitó a fenómenos de cuerpos pesados cerca de la superficie de la tierra. Su comentario de que la interferencia a la uniformidad del movimiento está siempre presente es tan sólo una afirmación de hecho. . ." En un artículo reciente Drake corrobora nuevamente el susodicho concepto restringido de inercia. Tal principio puede ser expresado como sigue: "en la ausencia de cualquier resistencia apreciable, el movimiento horizontal es uniforme y de

(5) Dudley Shapere, *Galileo* (Chicago: The University of Chicago Press, 1974), p. 88.

(6) Galileo, op. cit., p. 217.

(7) *Ibid.*, p. 243.

(8) Alexandre Koyré, *Etudes Galiléennes* (Paris: Hermann, 1966), p. 258.

duración indefinida" (9). Y era precisamente esto lo que Galileo estaba tratando de probar cuando descubrió que la trayectoria de un proyectil en un medio que no ofrece resistencia alguna es una parábola, nos dice Drake. No parece haber duda de que Galileo veía con claridad el carácter parabólico de los proyectiles, y el carácter compuesto —completo— de dicho movimiento: un movimiento uniforme y rectilíneo y el movimiento de libre caída.

Galileo había obtenido un resultado bien definido: la trayectoria de un proyectil es una parábola; sus experimentos y sus demostraciones se remontan a los años previos a su gran "distracción" astronómica. Se puede afirmar con certeza que su descubrimiento y la correspondiente demostración no van más allá de 1609. Tres décadas más tarde, después de que se le ha prohibido mirar a los cielos, en 1638 publica *Los discursos sobre las dos nuevas ciencias* y reasume el problema de la trayectoria de los proyectiles. ¿Hasta qué punto dicho descubrimiento se sostiene a la luz de *Los discursos*? Galileo mismo nos dice cuál es su propósito:

Trataré de presentar y de establecer por medio de demostraciones firmes algunos aspectos esenciales concernientes a un móvil cuyo movimiento está compuesto de dos movimientos. Esto es: cuando se mueve uniformemente y también es naturalmente acelerado [ . . . ].

Mentalmente concibo algún móvil proyectado sobre un plano horizontal, siendo dejados de lado todos los impedimentos. Ahora, es evidente que el movimiento uniforme sobre este plano sería perpetuo si el plano fuera infinito en extensión. Pero si lo suponemos finito y situado en alto, el móvil [al que concibo dotado de pesantez] llevado al final del plano y continuando más allá, añade a su movimiento previo —uniforme e indeleble— aquella tendencia hacia abajo que brota de su pesantez. Así, emerge un cierto movimiento compuesto de un movimiento uniforme, horizontal y de otra naturalmente acelerado, movimiento éste que llamo proyección. Galileo nos dice que va a emprender la

prueba de alguna de las propiedades de dicho movimiento, una de las cuales es cuando un proyectil se mueve con un movimiento compuesto de los movimientos uniforme y horizontal, y naturalmente acelerado hacia abajo, describe en su movimiento una semiparábola (10).

Ahora sabemos que Galileo llevó a cabo cuidadosos experimentos y, como Drake nos ha mostrado, que no podemos seguir manteniendo que Galileo tan solo imaginó o "concibió mentalmente" la trayectoria de un proyectil como parabólica. Es de gran importancia enfatizar que nos encontramos en el comienzo de la ciencia moderna: el movimiento de un proyectil tiene dos componentes independientes: un movimiento inercial y un movimiento de caída libre. Galileo ya había establecido la correcta proporcionalidad de la distancia recorrida por un cuerpo que cae a partir del reposo. Conociendo, pues, las dos componentes del movimiento del proyectil, la conclusión, o quizá mejor, la prueba de que la trayectoria es una semiparábola "es sencilla y directa" (11).

En los *Discursos*, Sagredo califica dicho razonamiento de novedoso-original-ingenioso y concluyente. Sagredo agrega que dichos movimientos, o sus velocidades, al mezclarse no se alteran, perturban o impiden el uno al otro. De tal manera, continúa Sagredo, que la línea descrita por el proyectil en su movimiento no degenerará en algún otro tipo de curva. No obstante lo anterior, parece imposible todo lo que acaba de decir. ¿Por qué? Por cuanto una trayectoria parabólica alejaría al móvil del centro de la Tierra, punto hacia el cual, siendo el móvil un grave, tiene una tendencia natural. "Implícito en el argumento de Sagredo está el punto de que la tendencia natural del cuerpo ejercerá una influencia real retardatoria sobre la componente horizontal, lo que le evitará ser uniforme y perpetua" (12). Koyré hace eco de la crítica de Sagredo cuando nos dice que Galileo fue incapaz de hacer abstracción del peso de los cuerpos. Todo cuerpo es grave. Hecho que evita que Galileo tenga una plena comprensión del principio de la inercia: Galileo no fue lo suficientemente arquimídeo.

(10) Galileo, op. cit., pag. 268-269.

(11) Drake-Maclachlan, op. cit., p. 102.

(12) William Wallace "Three classics of Science", *the great Ideas Today 1974* (Londres: *Encyclopaedia Britannica*, 1974), p. 236.

(9) Drake-Maclachlan, "Galileo's Discovery of the Parabolic Trajectory", *Scientific American* 232 (1975): 104.

Simplicio, el aristotélico, plantea una objeción aún más crucial, dirigida contra la existencia misma de los planos horizontales:

suponemos que el plano inicial es horizontal —que no subiría ni bajaría— y que es una línea recta como si cada parte de dicha línea pudiera estar a la misma distancia del centro, lo que no es cierto. Porque en cuanto que nos alejamos de su punto medio hacia sus extremos, esta línea se sale del centro [de la tierra] por lo que iría siempre cuesta arriba. Una consecuencia de todo esto es que es imposible que el movimiento sea perpetuo, y aun que permanezca uniforme a través de distancia alguna. Al contrario, irá siempre debilitándose (13).

Entre las conclusiones que se desprenden de la opinión de Simplicio están las siguientes (14): no hay movimiento rectilíneo y cualquier movimiento inercial iría siempre cuesta arriba, por tanto venciendo una resistencia por lo que no podría ser ni uniforme, ni perpetuo. La conservación del movimiento sólo ocurre “a lo largo de un gran círculo alrededor de la tierra”. Es plenamente oportuno recordar aquí que un plano horizontal significa, para Galileo, “una superficie en todo lugar equidistante del llamado centro común”.

Salviati, el vocero de Galileo, reconoce las dificultades y las considera tan bien fundamentadas que es imposible eliminarlas. Como consecuencia, no queda más que aceptar que el análisis del movimiento parabólico como compuesto de componentes rectilíneas es, a lo más, una aproximación. Análisis que es permitido debido a la pequeñez de la componente horizontal con el tamaño de la tierra.

Galileo es sin duda sorprendente: habiendo descubierto que la trayectoria del proyectil es una semiparábola y habiendo hecho este descubrimiento experimentalmente, no puede más que causarnos sorpresa que en el contexto de los *Discursos* considere su descubrimiento tan sólo como aproximadamente verdadero.

El filósofo historiador de la ciencia Dudley Shapere intenta una posible explicación: Galileo, habiendo adoptado el copernicanismo y profundi-

zando sus fundamentos, y creyendo, además, que un universo ordenado (cosmos) implica la naturalidad del movimiento circular, no podría haber aceptado el carácter natural del movimiento rectilíneo y uniforme. Por lo tanto, el recorrido de un proyectil integrado en el sistema copernicano no tenía otra alternativa que ser nada más que una aproximación. “Detrás de las apariencias de su preocupación por la mecánica *Los Discursos* es aún copernicano en espíritu... y es este copernicanismo lo que condujo a Galileo a la concepción de la trayectoria parabólica, y, por tanto, de la rectilinearidad de la componente horizontal como meras idealizaciones” (15).

Galileo despierta tanta simpatía en nosotros que a veces se nos desliza el sentimiento de quererlo ver ser también Newton.

Si no estuviéramos conscientes de nuestra simpatías y conscientes de las dificultades intrínsecas al análisis galileano del principio de la inercia, no tendríamos ningún problema en decir que el principio de la inercia está en el siguiente texto, explícitamente expresado:

si el plano no fuera inclinado, sino horizontal, este sólido redondo colocado sobre él haría lo que quisiéramos. Esto es: si es puesto en reposo permanecerá en reposo; si le damos algún ímpetu en cualquier dirección, se moverá en tal dirección, conservando la misma velocidad... todas estas cosas se seguirían si fueran eliminados todos los impedimentos externos y accidentales (16).

Este pasaje, como también aquel otro de la carta sobre las manchas solares, puede ser usado para ilustrar lo que Drake llama el “meollo esencial del concepto de inercia”. Esto es: la indiferencia de un cuerpo respecto del movimiento o respecto del reposo, como la conservación de uno de los dos estados una vez adquirido. La única manera de evaluar la posición de Stillman Drake es enumerar los rasgos característicos del principio de la inercia, y así poder ver con claridad hasta qué punto Galileo había llegado a “el meollo esencial del concepto de inercia”. Según Shapere entre los rasgos esenciales tenemos (17).

(13) Galileo, op. cit., p. 274.

(14) Cfr. Shapere, op. cit., p. 118.

(15) Ibid, p. 120.

(16) Galileo, op. cit., p. 337.

(17) Shapere, op. cit., p. 122.

1. el movimiento del cuerpo en cuestión es incausado;
2. el movimiento del cuerpo continúa perpetuamente a no ser que se actúe sobre él;
3. el movimiento es rectilíneo;
4. el movimiento es uniforme;
5. el movimiento no tiene dirección preferencial;
6. el reposo y el movimiento tienen un mismo "status"; son dinámicamente idénticos.

Según Shapere el concepto inercial Galileico no satisface ni la primera condición ni la tercera sin que se defina explícitamente respecto de la quinta. Ahora bien, es completamente claro que las formulaciones de Galileo no satisfacen la rectilinearidad. Respecto de la primera condición estoy en pleno desacuerdo con Shapere. No digo, sin embargo, que la formulación galileica satisface dicha condición, sino que el principio de inercia permanece silencioso respecto del origen causal del movimiento. Shapere dice que la concepción de Galileo es compatible con la teoría del ímpetu conservado de Buridan, lo que evitaría, que el movimiento inercial sea incausado. Primero que todo, el ímpetu de Buridan posee una tendencia natural al reposo y se comporta como se comporta el movimiento: con él es debilitado y con él destruído. En suma, no permanece en el cuerpo permanentemente, sino más bien temporalmente. Drake ha mostrado cómo el carácter "permanente" del ímpetu se opone al carácter sucesivo, y no implica que el ímpetu pueda ser perpetuo (18).

La primera ley del movimiento no excluye la posibilidad de la causalidad: no es una ley "sin-causa". No dice nada acerca de las causas del movimiento —de su conservación. Por tanto, la posibilidad de causa formal o de causa material no está excluida. Además, debemos tener presente que la inercia es una "vis resistendi", una "vis passiva", y no una "vis activa". Una vez dicho esto, me parece que la primera condición establecida por Shapere debe ser modificada si quiere ser usada como argumento contra Galileo.

La posición de Drake, "el meollo esencial del principio de la inercia", deja por fuera la rectili-

nearidad, lo que parece injustificado. Por otro lado, Alexandre Koyré afirma que, precisamente, en tanto que Galileo no tiene la concepción rectilínea de la inercia —porque no cruzó el umbral— no la tiene del todo. Me parece que por un lado, Drake concede demasiado a Galileo, mientras que Koyré exige mucho a Galileo. Por lo tanto, como resultado, podemos sacar la siguiente conclusión: Galileo juega un papel de precursor de la aplicación y la formulación definitiva del principio de la inercia, anunciando algunos de sus aspectos modernos y omitiendo otros. Galileo contribuyó grandemente a la nueva concepción del universo. En lo que respecta al principio de inercia "ha de ser evidente que las limitaciones, incertidumbres, o inconsistencias que pueden trazarse en sus razonamientos llegarán a ser de gran significación como síntomas de las dificultades que había de superar antes de que una plena inteligencia de la inercia fuera posible" (19).

Otro aspecto importante: ¿necesita el principio de la inercia un universo infinito como marco de referencia? ¿Es la adopción de la idea copernicana de un universo finito lo que evitó que Galileo tuviera una plena comprensión del principio de la inercia? Autores como Alexandre Koyré y Cándido Cimadevilla, entre otros, sostienen la necesidad de un universo espacialmente infinito. Tan sólo un universo infinito posibilita el movimiento inercial. Por otro lado encontramos a autores como William Shea, quien dice:

"Galileo nunca formuló la primera ley de Newton, no porque se negara a postular un universo infinito —punto acerca del cual permaneció sin comprometerse— sino porque tuvo que hacer de la inercia circular piedra angular de la objeción a sus oponentes" (20).

Sin embargo, el principio de la inercia es compatible con un universo finito como con un universo infinito. Analíticamente nada nos impide formular el principio de la inercia en un universo finito. No obstante, diría que el principio es más

(19) E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture* (Oxford: Clarendon Press, 1961), p. 348.

(20) William R. Shea, *Galileo Intellectual Revolution* (New York: Science History Publications, 1972) p. 188.

(18) Véase Stillman Drake, "Impetus Theory Reappraised", *Journal of the History of Ideas* 33 (1975): 30-35.

fácilmente pensable en un universo infinito, y este es el caso históricamente hablando.

Pareciera que podría haber una discusión interminable a favor y en contra de la plena comprensión por Galileo del principio de la inercia. Muchas veces Galileo estuvo a punto de alcanzar la formulación moderna de la aplicación del principio de inercia, pero siempre retrocedió ("efecto Planck") Sin duda Galileo posibilitó el principio de inercia que él mismo no nos heredó. He aquí un gran precursor, los hombros de un gigante. Galileo es *mutatis mutandis* una especie de Moisés que nunca llega a la tierra prometida. " Toda la incerti-

dumbre que aun se encuentra en la concepción galileana de la inercia, no nos debe cegar ante el hecho que nadie hizo más que él para estimular y profundizar el conocimiento de la tendencia de los cuerpos en movimiento de perseverar en su movimiento" (21). Galileo, he aquí su grandeza, tenía conciencia de los límites, era conciente de su papel de precursor: "...dejaré expeditos la puerta y el acceso hacia una vastísima y excelente ciencia cuyos elementos serán mis investigaciones, y en la cual ingenios más penetrantes que el mío alcanzarán mayores profundidades" (22).

Galileo no es Newton; le basta ser Galileo.

(21) Vosses Wilman Data: *Discorsi e Dimostrazioni* (1873) "Apparato", *Amore*, op. cit. p. 190.  
(22) Galileo, op. cit. p. 190.