

EL PRINCIPIO DE INERCIA EN EL SIGLO XVII 2a PARTE

Elia Nathan Bravo*



En esta sección examinaremos brevemente el concepto de inercia en Descartes y Newton con el fin de encontrar qué es lo que ellos aportaron para que el concepto de inercia se constituyera en un principio o fundamento de la nueva física. Usualmente se considera que Descartes fue el primero en enunciar correctamente en su obra *El mundo* (1630) la ley de inercia ([16], p. 68). Considero que el aporte fundamental de Descartes consiste en: 1) estableció con claridad la función metafísica del concepto de inercia, es decir, explicitó los nuevos conceptos de movimiento y materia presupuestos por dicho concepto, 2) estableció por primera vez que la ley de inercia era el primer principio (o primera ley de la naturaleza) de la nueva física ([3], p. 325), y 3) sostuvo que la inercia era rectilínea ([3], p. 325; [16], p. 69).

Tomemos el punto 1. En Descartes nos encontramos con la clara comprensión de que la filosofía natural (o física) matematizada y mecanicista que se había venido gestando antes de él, no puede concebirse como una teoría aristotélica reformada sino sólo como una teoría radicalmente opuesta a la aristotélica. Dado su fuerte espíritu sistemático, Descartes se dio cuenta de que esta nueva fi-

* Instituto de investigaciones filosóficas UNAM.

sica sólo podría concebirse claramente como una nueva teoría, distinta a la aristotélica, si es que la realidad, cuyo conocimiento sería dado por esta nueva teoría, era también correlativamente concebida de una nueva manera, distinta a la aristotélica. Esta nueva concepción de la realidad (física, es decir, de la naturaleza exceptuando al hombre) que Descartes propone, consiste en la afirmación de que sólo existe la materia (o sustancia extensa). La materia es una sola, pasiva, y sólo tiene propiedades matematizables - a saber: magnitud, figura y movimiento. Con esta afirmación Descartes rompe con la tradición peripatética: dado que ya no se concibe que los objetos físicos estén caracterizados por una esencia específica, los objetos físicos ya no se pueden concebir como activos, el espacio en que se encuentran tampoco se puede concebir como heterogéneo, o sea, como un espacio con lugares privilegiados donde los cuerpos pueden actualizar su esencia (sino que el espacio se concibe de acuerdo con la geometría euclideana); y, el movimiento que tienen los objetos físicos ya no puede concebirse como actividad, o proceso (que requiere de una causa interna - la esencia - o externa), ni se puede dividir en natural o violento. En verdad, si los objetos materiales son pasivos o inactivos, y si sólo pueden tener propiedades matematizables, entonces el movimiento que tienen ya no puede ser una actividad, acción o proceso como para Aristóteles, sino que el movimiento tiene que ser concebido como mera translación, mero cambio de situación especial, mera "trayectoria" descrita (la cual si se puede representar geométricamente (*El Mundo*, [8], p. 324; [7], pr. II, 24 y 25, pp. 47-8). Pero, continúa Descartes, el movimiento o traslado, no es una cosa subsistente por sí misma (no es una sustancia) sino que es un modo del cuerpo que se mueve ([7], Pr. II, 25, p. 48).

En el caso de los cuerpos, dado que éstos son inactivos o pa-

sivos, sus modos son *estados*. Estado, en latín "*status*" proviene de *sto*, *stare*, y significa, situación, posición o condición ([16], p. 66, nota 3). O sea, "estado" significa algo que permanece, que continúa. Así, por ejemplo, la figura de un cuerpo es un estado o condición en que se encuentra el cuerpo, y por ende, el cuerpo continuará teniendo esta condición, teniendo la misma figura, a menos que algo externo se la cambie (él mismo no la puede cambiar por ser pasivo). El movimiento (uniforme y rectilíneo) es un estado porque: a) se lo concibe no como una actividad o proceso de un cuerpo, sino como mera translación (mero cambio de relaciones espaciales que no afecta al cuerpo mismo, y por lo cual no requiere de ninguna acción -fuerza- por parte del cuerpo); b) el movimiento es un modo del cuerpo, y los modos son estados del cuerpo, dada la pasividad de los cuerpos; y c) sólo el movimiento uniforme y rectilíneo, o sea, sólo la velocidad constante, puede ser un modo o estado porque es algo que no cambia, mientras que la velocidad no constante es una velocidad cambiante que por ello requiere de una causa externa (interna no podría ser porque los cuerpos son pasivos) que ocasione el cambio. Si se define al movimiento (uniforme y rectilíneo) como un estado, entonces el principio de inercia, en tanto que éste sostiene que el movimiento (uniforme y rectilíneo) se mantiene a menos que una causa externa lo cambie, se sigue trivialmente ([16], p. 69).

He aquí el principio de inercia cartesiano:

"La primera de éstas (leyes de la naturaleza) es que toda cosa, en tanto que simple e indivisa, queda, por lo que de ella depende, siempre en el mismo estado, y nunca puede cambiarse sino por causas externas. Así, si alguna parte de la materia es cuadrada, fácilmente nos persuadimos que perpetuamente seguirá siendo cuadrada, si no adviene algo de otra parte que cambie su forma. Si descansa, no creemos que empeza-

rá nunca a moverse, a no ser que sea impulsada a ello por alguna causa. Y si se mueve, no hay más razón para que creamos que la misma espontáneamente y no impedida por alguna otra cosa, habrá de interrumpir ese movimiento suyo. Y por eso ha de concluirse que lo que se mueve, en lo que de él dependa, se mueve siempre". ([7], Pr. II, 37, p. 54).

El principio de inercia cartesiano lo que destaca, fundamentalmente, es el hecho de que el movimiento (uniforme y rectilíneo) es un *estado*; es decir, es algo que se conserva o mantiene por sí mismo, sin requerir de *ninguna causa*. Generalmente se considera que la concepción del movimiento como un estado es una concepción innovadora que Descartes introduce como un concepto clave en la nueva física, y que es opuesta a la concepción aristotélica según la cual el movimiento es un proceso (de actualización de la potencia). Y, por ende, algo que requiere de una causa ([3], p. 323; [16], p. 67).

El movimiento es translación, y es un modo-estado. Paradójica concepción del movimiento, y sin embargo, necesaria al principio de inercia. El movimiento es translación, es decir, es una relación, pero a pesar de ello, es un modo, propiedad o condición en que se halla un cuerpo (y sólo uno de los cuerpos de la relación). Además, y aún más notoriamente, el movimiento es cambio (de relaciones especiales), y sin embargo, ¿no requiere de ninguna causa (en el caso del movimiento inercial)! (Tal vez lo que les permitió a los pensadores del siglo XVII aceptar la idea de un estado-de-constante-cambio, de un cambio no-causado, haya sido el hecho de concebir al movimiento como mero cambio de relaciones especiales que no afectan a los cuerpos, a las sustancias, y que, por ende, no es realmente cambio).

Para concluir con este punto 1: Descartes captó la función metafísica que desempeña el concepto de inercia en tanto que logró explicitar que el principio

de inercia define o establece que el movimiento inercial es un estado, por tanto algo que no requiere de causas para continuar. Pero además, y aquí sí de manera novedosa, logró captar que sólo porque el movimiento *en general* es mera translación, y no actividad o proceso, y los cuerpos son pasivos, son mera materia sin esencias específicas, el movimiento inercial puede ser un estado. La función metafísica profunda que cumple el principio de inercia es implicar esta nueva concepción de la realidad (física) y del movimiento.

Examinemos ahora el punto 3. Descartes sostuvo que el único movimiento que puede ser un estado es el rectilíneo, en base a dos razones. Una de ellas es una razón física: en el movimiento circular, por ejemplo, de una piedra colocada en una honda que la mano hace que gire, la experiencia nos muestra que si la piedra se separa de la honda, entonces la piedra no continúa moviéndose circularmente sino en una línea *recta* que es tangente al punto de la circunferencia donde la piedra se separó de la honda ([17], Pr. II, 39, p. 56) ⁷. (Nótese que Galileo usó este mismo ejemplo

7. En el análisis de este ejemplo. Descartes confunde el movimiento inercial con la fuerza centrífuga: "todo cuerpo que se mueve circularmente, tiende siempre a separarse del centro del círculo que describe. Como experimentamos con la piedra por la misma sensación de la mano mientras la volteamos con la honda". ([7], Pr. II, 39, p. 56; cf. también Pr. III, 58, p. 90). Según la física newtoniana o clásica, sucede que como el movimiento inercial es rectilíneo, se requiere que una fuerza centrípeta constante actúe sobre la piedra para que el movimiento de ésta cambie su dirección, de rectilínea a circular: la fuerza centrífuga que la piedra ejerce sobre la mano no es más que la relación de la piedra a la acción (fuerza centrípeta) que la mano ejerce sobre ella a través de la honda. La fuerza centrífuga no explica, como pretende Descartes, por qué el movimiento inercial se da en una línea *recta tangente* al punto de separación.

y análisis en sus *Diálogos* ([13], pp. 191 y 193), pero no concluyó a partir de él que *todo* movimiento para ser inercial tiene que ser rectilíneo). La otra razón que Descartes dio es conceptual y *a priori*: dada la inmutabilidad y simplicidad de Dios conserva el movimiento exactamente como lo es en el instante de tiempo en que lo conserva, es decir, lo conserva con la *misma dirección*; y la misma dirección se conserva sólo si el objeto continúa en línea *recta* ([7], Pr. II, 39, pp. 55-6).

Aunque Descartes logró enunciar correctamente el principio de inercia, al sostener que el movimiento inercial es rectilíneo, sin embargo, su principio no es exactamente idéntico al newtoniano, dado que Descartes no entendió con claridad que la conservación del movimiento depende de una concepción vectorial de éste, no comprendió que la dirección es una característica esencial del movimiento, y, por ello, sostuvo la rectilinearidad del movimiento en otro principio, en su segunda ley de la naturaleza. En cambio, Newton, que concibe vectorialmente al movimiento, enuncia el principio de inercia en una sola ley del movimiento o axioma de la física ([3], p. 324).

Pasemos ahora al punto 2, o sea, tratemos de descubrir por qué Descartes llegó a considerar a la ley de inercia como un principio de la nueva física. Para ello recordemos que Descartes funda sus tres leyes de la naturaleza (o principios de la física) en Dios. Así, antes de enunciar la primera ley sostiene que "Dios es la causa primera del movimiento y *conserva* siempre en el universo la misma cantidad de movimiento" ([7], Pr. II, 36; p. 53, subrayado mío) y en el texto explicativo de la primera ley dice: "Y por esta misma inmutabilidad de Dios, pueden conocerse ciertas reglas o leyes de la naturaleza" ([7], Pr. II, 37, p. 54). Dado que Descartes funda sus leyes de la naturaleza en Dios, frecuentemente se ha considerado que el principio cartesiano de inercia tiene un fundamento metafísico, y no en la experiencia, a dife-

rencia del newtoniano ([3], p. 324; [27] p. 226). Yo pienso que ningún principio se puede fundar en la mera experiencia; aun cuando ciertos datos experienciales nos muestren la existencia de ciertos hechos o relaciones, el considerar a estos hechos o relaciones y no otros como fundamento de toda la física, no es algo que la experiencia nos pueda indicar, sino que es una propuesta que se hace en base a razones de tipo puramente conceptual. Ahora bien, si dejamos por el momento de lado la referencia a Dios, lo que Descartes hace es tratar de sistematizar u organizar deductivamente la física en función de un pensamiento conservacionista ([16], p. 71). O sea, una manera de organizar deductivamente la física es considerar que el princi-



pio que rige a toda explicación de la naturaleza es el de conservación. En efecto, esto es lo que Descartes hace. Recordemos que para Descartes la naturaleza es sólo materia en movimiento o reposo (mecanicismo). Explicar la naturaleza consiste, pues, en explicar el movimiento y el reposo de acuerdo con los siguientes principios; si un cuerpo no choca, entonces se mantiene en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo (primera y segunda ley) y si un cuerpo choca con otro, entonces el estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo de al menos uno de los

cuerpos se altera de forma tal que se conserva la cantidad total de movimiento (tercera ley de la naturaleza) ([7], Pr. II, 40, p. 56); o sea, en el choque se transfiere el movimiento ([7], Pr. II, 42, p. 57).

Así pues las tres leyes cartesianas de la naturaleza son principios porque organizan el campo problemático de la física: ellas establecen en términos generales qué tipos de movimiento hay y cómo se explican: puede haber el movimiento inercial, el cual se explica destacando que es un estado, o puede haber el movimiento no-uniforme, o no rectilíneo, y éste se explica apelando a causas externas, o sea, a la conservación del momento en el impacto. Dado que los principios organizan el campo problemático de una rama científica, los principios también sirven de guía para la investigación al indicarle al científico qué tiene que buscar para poder explicar un fenómeno dado.⁸ Ahora bien, Descartes seleccionó estas tres leyes y no otras como principios, no sólo porque organizan el campo problemático de la física, sino porque son principios de conservación; y los principios de la ciencia deben ser de conservación porque Dios, la causa primera de la realidad, es ante todo inmutable, y por tanto conserva aquello que crea como lo creó.

Podemos preguntarnos si hay alguna relación entre el reconoci-

miento cartesiano de la función metafísica del concepto de inercia y el reconocimiento de la ley⁹ de inercia como un principio. Me parece que sí hay tal relación: al haber explicitado una nueva concepción de la realidad física y del movimiento, y al haber reconocido que esta nueva concepción sustituye a la concepción aristotélica de la realidad, Descartes pudo pensar en nuevos fundamentos para la física, y en particular, que estos radicaban en la oposición "conservación del estado-no conservación del cambio de estado (es decir, el cambio de estado requiere de causas externas)". O sea, la nueva concepción mecanicista y matemática de la realidad fue condición de posibilidad, o principio

a) considerar que la ley de inercia describe un movimiento componente, y b) que establece la equivalencia mecánica entre el estado de movimiento uniforme y rectilíneo, y el reposo (principio cinemático de relatividad). Con respecto a a), Descartes niega que en la realidad los movimientos se cambien, y considera que el método de composición de movimientos tiene sólo un valor pragmático pero no realista ([7], Pr. II, 32, p. 51). Probablemente la razón por la cual Descartes no acepta totalmente el método de composición de movimiento sea que él ha identificado movimiento con trayectoria, y ciertamente un cuerpo sólo puede tener una trayectoria.⁹ Ahora bien, es por esta di-



8. La idea de que los principios lo son por ser guía para los científicos aparece, por ejemplo, en Moulines (22, p. 85). Con respecto a esta presentación, se pueden decir dos cosas. La primera es una aclaración: los principios guían no sólo la investigación, la resolución de rompecabezas, sino también la explicación. La segunda es que, como lo demuestra el principio de inercia (y, tal vez, cualquier principio de conservación), no es necesario que los principios contengan cuantificadores existenciales (22, pp. 76 y 82), dado que no necesariamente los principios guían en el sentido de indicar que hay que descubrir ciertos parámetros funcionales para explicar un fenómeno dado.

heurístico, que le permitió a Descartes postular la ley de inercia como principio.

Para terminar con el punto 2, cabe destacar que, paradójicamente, a la vez que Descartes postula a la ley de inercia como un principio, deja de lado casi totalmente la función física que cumple dicha ley. Dicha función, como vimos, consiste fundamentalmente en:

9. En *El mundo VII* (8, p. 327) Descartes considera que el movimiento inercial es una tendencia o inclinación presente en el movimiento circular: sin embargo, aun así considerado, no es claro cómo se puede hablar legítimamente de la composición de movimientos dado que no se ve cómo pueden representarse geoméricamente tendencias al movimiento.

ficultad en reconocer la composición de movimiento,¹⁰ que Descartes hace sólo un análisis cualitativo y parcial del movimiento de los proyectiles: él dice que la causa por la cual continúan moviéndose después de que se separan del motor que los impulsó es que conservan su movimiento inercial (con lo cual Descartes sustituye claramente la teoría del *impetus* por la ley de inercia), pero que éste cesa finalmente dada la resistencia (vía choques) del medio ([7], Pr. II, 38, p. 55); pero no nos dice nada acerca de cómo el movimiento inercial se compone con el movimiento de caída. También su análisis del movimiento circular de una piedra en una honda que gira es cualitativo y no-composicional (además de confuso, *cf.* p. 32). Con respecto a b), podemos decir que nunca utilizó el principio cinemático de relatividad dado que una de sus utilizaciones más claras es explicar los fenómenos en una Tierra en movimiento, y Descartes en los *Principios* niega que la Tie-

10. Shapere considera que el principio de inercia cartesiano es ininteligible porque al identificar Descartes espacio y tiempo (en *los principios*) resulta absurdo pensar que un cuerpo se pueda aislar de la influencia de otros cuerpos ([24], p. 123). Considero que el principio cartesiano no es ininteligible porque el que el principio de inercia sea idealizacional no quiere decir, como Shapere parece sugerir, que su función sea sólo describir casos ideales o situaciones contrafácticas, como lo sería el caso de un cuerpo que se mueve y que nunca actúa sobre él ninguna causa o fuerza externa. En verdad, a la física no le interesa conocer mundos ideales *per se*. La función de los enunciados idealizacionales es describir casos concretos vía su factualización (como Descartes reconocer con el principio de inercia, cuando sostiene que un proyectil no continúa moviéndose perpetuamente dada la resistencia del medio). Lo que sí me parece crucial, es el hecho de que al no comprender adecuadamente en qué consiste la composición de movimientos, Descartes no entiende por completo cual es la función física del principio de inercia.

rra se mueva ([7], Pr. II, 29, p. 49).

Resumiendo nuestra exposición de Descartes, podemos decir que las contribuciones más importantes de este autor son la de haber especificado que la inercia es rectilínea, y que la ley de inercia es un principio de la física, especificación que, en parte, fue posible gracias a que Descartes explicitó una nueva concepción de la realidad y del movimiento.

Pasemos a examinar brevemente a Newton.

Newton tomó de la formulación cartesiana tres elementos:

1) que la ley de inercia es el primer principio de la física, y tal que debe ser complementado por otro principio que determine cuáles son las causas externas que pueden cambiar el estado de un cuerpo (aunque Newton especificó de distinta manera cuáles son dichas causas externas); 2) que el movimiento uniforme y rectilíneo, al igual que el reposo, son estados; y 3) que el movimiento, para ser un estado, debe ser rectilíneo (aunque Newton consideró que esta característica debe concluirse en el principio de inercia, y no especificarse en otro principio, dado que él manejó un concepto vectorial del movimiento) ([3], pp. 323-4).

Considero que a pesar de las similitudes y diferencias un tanto superficiales, hay una diferencia crucial entre la formulación cartesiana y la newtoniana del principio de inercia, que se debe a la relación que Newton establece entre dicho principio y el segundo axioma. Veamos.

En sus *Principia* Newton define el primer axioma o ley del movimiento así:

Todo cuerpo continúa en su estado de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta, a menos que sea obligado a cambiar este estado por fuerzas impresas sobre él. (Y como ejemplos ofrece el movimiento proyectil, la rotación (1), y el movimiento planetario). ([23], p. 13).

El segundo axioma *compelmenta* al primero ya que especifica cómo cambia la fuerza el estado

de reposo o movimiento inercial:

El cambio de movimiento (es decir de momento, el cual se mide multiplicando la masa por el cambio de velocidad vectorial del cuerpo sobre el cual actúa la fuerza ([23], Def. II, p. 1) es proporcional a la fuerza motiva impresa; y se hace en la dirección de la línea recta en la que esa fuerza se imprime. ([23], p. 13).

Lo que esta ley II afirma es que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es proporcional al cambio de momento de éste luego entonces $f \propto \Delta m \vec{v}$, o en terminología más moderna $f = ma$ (donde "a" es la aceleración o ritmo de cambio de la velocidad).

El segundo axioma es *complemento* del primero, y entre los dos especifican el campo problemático de la física, en tanto definen en términos generales cómo se explica el movimiento y el reposo ([17], pp. 554 y 556). Sin embargo, la relación entre el primero y el segundo axioma no es la de mero complemento, es decir la que en un axioma especifica aquellos casos que el otro no especifica como sí lo es la relación entre el principio de choque y el principio de inercia en Descartes. La relación es más profunda, y esto por dos razones.

En primer lugar, parecería ser que Newton entiende cómo opera la fuerza utilizando la idea de movimiento inercial componente. Supongamos que un cuerpo de masa X se mueve a velocidad constante de 5 Km/hr; y que una fuerza que se le imprime instantáneamente cambia su velocidad a 6 Km/hr; entonces el cuerpo continuará moviéndose constantemente a 6 Km/hr por su inercia: "esta fuerza (impresa) consiste sólo en la acción, y deja permanecer en el cuerpo cuando la acción termina. Pues un cuerpo mantiene cada nuevo estado que adquiere sólo por su inercia ([23], Def. IV, p. 2). Nótese además que la nueva velocidad que adquiere el cuerpo (6 Km/hr) es el resultado de *componer* dos movimientos, el inercial que antes tenía (5 Km/hr) y el que genera la fuerza impre-

sa:

Y este movimiento (que tiene la misma dirección que la fuerza que lo genera), si es que el cuerpo se movía antes, se añade o se sustrae del movimiento anterior (. . .) de tal forma que se produce un nuevo movimiento que se compone de la determinación de ambos (movimientos). ([23], ley II, p. 13).

Supongamos ahora el caso de una fuerza que actúa continuamente, y que produce una aceleración positiva uniforme, un aumento constante de la velocidad de un cuerpo. Si consideramos la velocidad que tiene el cuerpo en cualquier instante, podemos decir, dado el análisis anterior que ésta es la resultante de componer dos movimientos: el inercial que tenía en el instante anterior y el que genera la fuerza impresa. La razón por la cual la fuerza, que es constante, produce un aumento continuo de la velocidad es, precisamente porque el movimiento (velocidad escalar) que ella produce, y que es siempre el mismo dado que la fuerza es constante (tiene la misma magnitud y dirección), se añade a o compone con el movimiento inercial previo del cuerpo. O sea, la fuerza constante no produce una velocidad constante, como para Aristóteles, sino que produce un movimiento acelerado porque se considera al movimiento inercial como componente en cualquier caso de aceleración.

Así pues, a partir de los dos casos examinados (y aunque sólo consideramos en el caso de aceleración, el cambio positivo de la velocidad escalar, y no otros tipos, nuestro análisis se puede extender a ellos) podemos concluir que si analizamos la aceleración desde un punto de vista dinámico, ésta se ha de entender siempre como un movimiento resultante, uno de cuyos componentes es el movimiento inercial. Y dado que el segundo axioma especifica la relación que hay entre fuerza y aceleración, podemos concluir que el segundo axioma requiere del primero para que sea comprensible porque se afirma

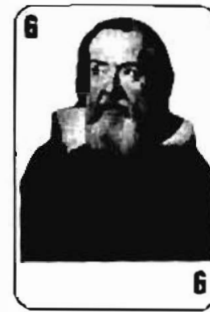
que la fuerza produce una aceleración (o cambio de momento).

En segundo lugar, el segundo axioma toma del primero la idea de fuerza de resistencia o masa o *vis inertiae*. Para entender este punto notemos que Newton define la inercia en su Definición III (que antecede a los axiomas) de la siguiente manera:

La *vis insita*, o fuerza inata de la materia, es un poder de resistir, por el cual todo cuerpo, en tanto que de él depende, continúa ese su estado actual, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme hacia adelante en una línea recta.

Esta fuerza es siempre proporcional al cuerpo del cual es esta fuerza, y no difiere en nada de la inactividad de la masa, sino en nuestra manera de concebirla. Un cuerpo, dada la naturaleza inerte de la materia, sólo con dificultad puede sacarse (cambiarse) de su estado de reposo o movimiento. Dada esta explicación, la *vis insita* puede, por medio de un nombre muy significativo, ser llamada inercia (*vis inertiae*) o fuerza de inactividad. Pero un cuerpo sólo ejerce esta fuerza cuando otra fuerza, impresa sobre él, intenta cambiar su condición; y el ejercicio de esta fuerza puede considerarse tanto resistencia como impulso. . . ([23], p. 2).

"Inercia" significa para Newton una fuerza interna (inata) de resistencia al cambio de estado. La introducción de este sentido es un tanto problemática, pues, de acuerdo con la primera oración de la Definición III, Newton parece sostener que es la fuerza inercial la que causa que los cuerpos continúen en su estado de reposo o movimiento. Esta interpretación la ha ofrecido, por ejemplo, Koyré ([16], p. 70). Sin embargo, Newton sostiene en la última oración citada de la Definición III, que la fuerza inercial es de resistencia, y por tanto, un cuerpo *solo* la ejerce cuando una fuerza externa intenta cambiar su estado. Por ello, podemos sostener que la interpretación correcta del concepto



de inercia consiste en considerar que "inercia" significa 'estado que se conserva', cuando nos referimos a un cuerpo que no interactúa, y 'fuerza de resistencia' cuando nos referimos a un cuerpo que interactúa con alguna fuerza externa.¹¹ Es interesante notar que la justificación conceptual que Newton ofrece para estos dos sentidos de inercia es una concepción particular de la materia. La materia, de la cual -y sólo de ella- está constituido cualquier cuerpo, es pasiva, inerte o inactiva; esto quiere decir que un trozo de materia man-

11. Si fuese el caso de que Newton sostuviera que el movimiento inercial requiere de una fuerza interna ("inercial") que lo conserve, se podría pensar que Newton sigue en este punto a la teoría peripatética del *impetus* (como por ejemplo 25, p. 493). Me parece que esta tesis no es correcta porque la fuerza a la que se refiere la teoría del *impetus* es una fuerza *internalizada*, una fuerza que el motor le transmite al móvil, mientras que para Newton la fuerza inercial es interna (inata) y no transmitida por la fuerza impresa (véase Definición IV citada en la p. 37) además, Newton no parece haber sostenido que la causa de que se conservara el movimiento inercial fuese la fuerza inercial, según acabamos de ver.

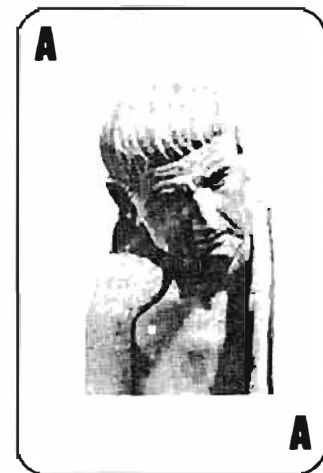
tendrá su estado de reposo o movimiento inercial porque es pasiva (es decir que no tiene fuerzas internas para cambiarlo), pero pasividad, inactividad, o inercia también quiere decir para Newton que un cuerpo ejercerá una fuerza pasiva de resistencia al cambio de estado. Fuerza "pasiva" o de "inactividad" en el sentido de que esta fuerza no genera un movimiento donde antes no lo había (como es el caso de las fuerzas activas, por ejemplo, la de gravedad), sino que sólo conserva el movimiento que hay. Ahora bien, dado que Newton funda la fuerza de resistencia en (el carácter inerte de) la materia, la fuerza de resistencia al cambio de estado que un cuerpo puede ejercer será proporcional a la cantidad de materia que tiene ese cuerpo, será proporcional a la masa.

Por "masa" Newton entiende la cantidad de materia que tiene un cuerpo ([23], Def. I, p. 1): y dado que para él la masa es una cantidad absoluta que no varía con la situación (especial o dinámica) en que se encuentre el cuerpo ([6], p. 100), Newton identifica al cuerpo con la masa ([23], Def. I, p. 1). En la Definición III (cf. p. 39), Newton nos dice que la materia es inerte, es decir, sólo posee fuerza de resistencia al cambio de estado, y dado que materia = cuerpo = masa, la masa, entendida dinámicamente, es la fuerza de resistencia. Para cuantificar esta fuerza de resistencia, Newton nos dice que la consideremos proporcional a la masa (dado que la masa, o sea, cierta cantidad de materia, es, en una situación dinámica, la fuerza de resistencia).

La razón por la cual la variable masa aparece en la segunda ley es, parcialmente, física. La "experiencia" nos muestra que una misma fuerza impresa no cambia de la misma manera la velocidad de cualquier cuerpo, que la misma fuerza acelera distinto a los diferentes cuerpos. Para concebir y cuantificar aquello de los cuerpos en que se producen distintas aceleraciones, dada la misma fuerza impresa, Newton apela al concepto de masa, o sea, al de

fuerza de resistencia: es porque los cuerpos tienen distinta cantidad de materia, distinta masa, por lo cual oponen distinta fuerza de resistencia, y esto ocasiona que la misma fuerza produzca distintas aceleraciones. Newton utiliza el concepto de masa y no el de fuerza de resistencia, aunque esto es lo que "masa" quiere decir en la segunda ley, porque él cree poder cuantificar la masa sin utilizar la segunda ley. En efecto, en la Definición I nos dice que la masa se mide dividiendo la densidad entre el volumen ([23], p. 1) (aunque dado el carácter circular de esta definición, en el texto explicativo Newton sostiene que la masa se conoce por el peso del cuerpo, ya que es proporcional al peso ([23], p. 1); aunque esta manera de cuantificar la masa parece depender del segundo axioma).

En síntesis, entre el primer y segundo axiomas newtonianos hay una estrecha relación, que no es la de mera complementación, ya que el segundo axioma toma del primero: a) la idea de que la fuerza produce aceleración porque se toma al movimiento inercial como un componente, y b) la idea de masa, o sea, de fuerza de resistencia o *inercia* (cf. [3], p. 327). A partir de esto podemos concluir que el principio de inercia newtoniano difiere del cartesiano en tanto que Newton considera que el movimiento inercial es ante todo un movimiento com-



ponente, y que el concepto de inercia se refiere no sólo a un estado que se mantiene, sino también a una fuerza de resistencia al cambio de estado.¹²

Para evaluar el principio de inercia newtoniano también debemos

12. La idea de que "inercia" significa fuerza de resistencia al cambio de estado no es totalmente original de Newton. Descartes derivó la fuerza de acción o resistencia que los cuerpos ejercen unos sobre otros en el impacto del principio de inercia (7, Pr. II, 43, pp. 57-8). Empero, 1) no parece ser legítima la derivación cartesiana dado que de la mera continuación en el mismo estado no se sigue que un cuerpo ejercerá una fuerza para resistir el cambio de estado (un punto relacionado con éste es el hecho de que para Descartes la pasividad de la materia significa su carencia de fuerzas, mientras que, para Newton, significa que los cuerpos sólo tienen fuerzas pasivas); 2) la fuerza de la que habla Descartes aparece sólo en el contexto del impacto, en cambio, la fuerza de resistencia newtoniana aparece en el contexto que establece el segundo axioma, 3) Descartes cuantifica esta fuerza tomando en cuenta el tamaño o superficie del cuerpo, o su celeridad y dirección (7, Pr. II, 43, p. 58), Newton la cuantifica sosteniendo que es proporcional a la masa.



se Meyerson 20 , p. 146, quien tomar en cuenta cómo lo justifica Newton. Recordemos que Descartes justifica el introducir la ley de inercia como un principio por ser una ley de conservación. Newton no lo justifica así; en verdad, él sostuvo que el mundo no se conservaba por sí mismo sino que requería de vez en vez una intervención divina extraordinaria (véase Meyerson [20], p. 146), quien sostiene que el verdadero fundamento del principio de inercia es un principio de conservación o identidad a través del tiempo). Newton nos dice que es un axioma, lo cual como justificación, no es muy clara, ya que se trata de una teoría empírica. Empero, parece que Newton tendría dos justificaciones para considerar la ley de inercia como axioma o principio. 1) Según hemos visto al examinar la Definición III, el concepto de inercia entendido como continuación en el mismo estado, y como fuerza de resistencia al cambio de estado, se sigue del concepto de materia como entidad pasiva, inerte, inactiva. 2) Como hemos visto, el primer axioma es complemento del segundo, y entre ellos (junto con el tercero) determinan cuales son los problemas de la física, y cómo se han de investigar. Parecería ser que si la teoría física que definen dichos tres axiomas es capaz de explicar exitosamente los fenómenos físicos, entonces dichos axiomas resultan justificados (en dos sentidos: como verdaderos, y como principios que guían la investigación).

En fin, respecto del principio de inercia newtoniano podemos concluir que, por una parte, la función física que éste cumple es la de especificar un movimiento componente, y la existencia de fuerzas de resistencia al cambio de estado¹³; y por otra parte, la de organizar el campo problemático de la mecánica.

13. Algunos autores consideran que el primer axioma newtoniano es superfluo por ser derivable del segundo (22 , p. 62). o en otros términos, por física inercial entienden una fi-



sica basada en la proporcionalidad de la fuerza y la aceleración (5 , pp. 125, 133, 139). Yo considero que lo que el primer axioma enuncia no es meramente " $f = 0, v = h$ " que es lo que se puede derivar del segundo axioma formulado en el lenguaje del cálculo. El primer axioma nos habla de la existencia de un movimiento componente (inercial) en cualquier movimiento que perdura por algún tiempo. Por ejemplo, en el movimiento proyectil, la razón por la que perdura es por tener al movimiento inercial como un componente, y la razón por la cual su trayectoria (desde un marco de referencia no terrestre) es parabólica es de nuevo por tener un movimiento inercial componente. Pero si sólo contásemos con la fórmula " $f = 0, v = h$ " no podríamos sostener justificadamente dicho análisis del movimiento proyectil porque esta fórmula no nos da ningún criterio, ni existe independientemente de ella algún criterio, para determinar que existe una fuerza igual a cero en cierta dirección en un fenómeno dado: experiencialmente no tenemos acceso a fuerzas nulas (note-se que discutimos sobre " $f = 0, v = h$ " y no sobre " $f = 0, v = k$ "), ni experiencialmente se nos presenta una velocidad constante en los casos en que el movimiento inercial interviene como componente. Es por ello que hay que considerar

al primer axioma como independiente al segundo, y como un axioma que establece entre otras cosas que en *cualquier* movimiento que continúa por algún tiempo hay que explicarlo sosteniendo que uno de sus componentes es el movimiento inercial. También me parece que la fórmula anterior no especifica la existencia de fuerzas de resistencia al cambio de estado, mientras que el primer axioma newtoniano sí lo hace (siempre y cuando lo interpretemos a la ley de la Definición III). En fin, me parece que la reconstrucción formal que Moulines nos ofrecen no se puede considerar una reconstrucción adecuada de la mecánica newtoniana porque deja de lado el primer axioma. Además, me parece que no podríamos considerar que la metodología estructuralista que él adopta es una metodología que nos permite realizar reconstrucciones *históricas completas*, ya que hay varios elementos que no son formalizables; en particular, en este trabajo hemos visto que el surgimiento del principio de inercia estuvo muy ligado con el desarrollo de una nueva concepción de la realidad, luego entonces con un compromiso metafísico (que como Moulines parece reconocer (22 , p. 60) no es aprehensible por la metodología estructuralista).



Bibliografía

- [1] Coffa, J.A. *El concepto de inercia en Galileo*. Cuadernos del Instituto de Lógica y Filosofía de las Ciencias. No. 2. Universidad Nacional de la Plata. 1968.
- [2] Cohen, I.B. *The Birth of a New Physics*. Nueva York: Doubleday Anchor Books. 1960.
- [3] Cohe, I.B. "History and Philosophy of Science" en *The Structure of Scientific Theories* (ed. por F. Suppe). 2o. ed. Urbana: University of Illinois Press. 1977.
- [4] Cohen, I.B. *Introduction to Issac Newton's Principia*. Cambridge: Harvard University Press. 1978.
- [5] Crombie, A.C. *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*. Vol. II. Madrid: Alianza Editorial. 1974.
- [6] J'Abro, A. *The Evolution of Scientific Thought. From Newton to Einstein*, 2o. ed. Nueva York: Dover Publications. 1950.
- [7] Descartes, R. *Los principios de la filosofía*. Buenos Aires: Losada. 1951.
- [8] *Descartes Selections* (ed. por R.M. Eaton). Nueva York: Charles Scribners Sons. 1955.
- [9] Dijkstra, E.J. *The Mechanization of the World Picture*. Oxford: Clarendon Press. 1961.
- [10] Drake, S. *Galileo Studies, Personality, Tradition and Revolution*. Ann Arbor: The University of Michigan Press. 1970.
- [11] Frege, G. "On the Law of Inertia". *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 2, No. 3, 1971.
- [12] Galileo, G. *Discoveries and Opinions of Galileo* (Tr. por S. Drake). Nueva York: Doubleday Anchor Books. 1957.
- [13] Galileo, G. *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*. (tr. por S. Drake). 2o. ed. Berkeley: University of California Press. 1974.
- [14] Galileo, G. *Dialogues Concerning Two New Sciences*. (tr. por H. Crew y A. de Salvio). Nueva York: Dover Publications. 1954.
- [15] Koyré, A. *Galileo Studies*. New Jersey: Humanities Press. 1978.
- [16] Koyré, A. *Newtonian Studies*. University of Chicago Press. 1965.
- [17] Kuslow, A. "The Law of Inertia: Some Remarks on its Structure and Significance", en *Philosophy, Science and Method* (ed. por S. Morgenbesser, P. Suppes y M. White). Nueva York: St. Martin Press. 1969.
- [18] Kuhn, T.S. *La revolución copernicana*. Barcelona: Editorial Ariel. 1978.
- [19] March, R.H. *Física para poetas*. México: Siglo Veintiuno. 1977.
- [20] Meyerson, E. *Identity and Reality*.
- [21] Mittelstrass, J. "The Galilean Revolution. The Historical Fate of a Methodological Insight". *Studies in the History and Philosophy of Science*, Vol. 2, No. 4. 1972.
- [22] Moulines, C.U. "Cuantificadores existenciales y principios guía en las teorías físicas". *Critica*, Vol. X, No. 29, 1978.
- [23] Newton, I. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. (tr. por A. Motte y F. Cajori). Vol. I Berkeley: University of California Press. 1962.
- [24] Shapere, D. *Galileo, a Philosophical Study*. University of Chicago Press. 1974.
- [25] Shapere, D. "Newtonian Mechanics and Mechanical Explanation". *Encyclopedia of Philosophy* (ed. por Edwards). Vol. 5.
- [26] Shea, W. *Galileo's Intellectual Revolution. The Middle Period. 1610-1632*. 2o. ed. Nueva York: Neabe Watson Academic Publications. 1977.
- [27] Toughin, S. y J. Goodfield. *The Fabric of the Heavens*. Londres: Hutchinson and Co., Ltd. 1961.
- [28] Westfall, R. S. *The Construction of Modern Science. Mechanisms and Mechanics*. Cambridge University Press. 1977.

