

## ¿ES LA MASA LA MEDIDA DE LA INERCIA?

ZALAMEA GODOY, E.<sup>1</sup> y PARIS ESPINOSA, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

<sup>2</sup> Universidad Distrital F. J. de Caldas. Bogotá.

### SUMMARY

In this paper we analyse from a critical point of view the definition that has usually been given to inertia as «the resistance that a body presents to its movement being modified». We also reflect on the unwanted didactic implications that this definition –that grants bodies a «property of decision over their own movement»– can have on general physics courses.

### 1. INTRODUCCIÓN

Para quienes han sido docentes de física durante algunos pocos años no es un secreto la persistencia de errores conceptuales en los alumnos a pesar de la acción de los maestros, y tampoco sorprende que tales errores sean los mismos tanto en las diferentes generaciones estudiantiles como en diversas latitudes. García y Rodríguez (1988) anotan que el hecho de que se repitan de generación en generación nos dice que su origen no puede ser azaroso ni producto de poco estudio u otras causas tradicionalmente aducidas para justificar los resultados deficientes de los estudiantes.

Consideramos importante estudiar las razones que explican la existencia y persistencia de tales errores, pero también nos parece importante aclarar el papel que juega la enseñanza tradicionalista de la física en la perpetuación de muchos de ellos, pues existen paradigmas erróneos que se propagan de generación en generación. Uno de ellos es el relacionado con ciertos conceptos de masa y de inercia. Tradicionalmente se acostumbra a definir la *inercia* como «la tendencia de los cuerpos a oponerse a los cambios de su estado de movimiento», y se afirma que a mayor masa, mayor inercia, y se concluye que entonces la *masa* es la medida de la inercia o que la masa es la dificultad que presenta un cuerpo para cambiar su movimiento. Pretendemos demostrar la inconsistencia de estas afirmaciones y conclusiones.

### 2. LA TRADICIÓN CONSAGRADA EN LOS TEXTOS Y PERPETUADA POR LOS MAESTROS

Examinemos, en primer lugar, cómo en los textos más usados intercontinentalmente y que gozan del prestigio

de ser la pauta en el ámbito universitario en ingeniería y ciencias se hace gala de los paradigmas anotados anteriormente, tanto en sus versiones originales como en sus traducciones en lengua hispana.

El decano de los textos elementales de la física universitaria, el Halliday-Resnick (1982) al final de la sección 5-1 dice: «... hemos empleado los términos fuerza y masa en forma imprecisa... identificamos... a la masa con la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado cuando obra sobre él una fuerza, propiedad que a menudo se llama inercia». En la sección 5-4 insiste: «... necesitamos un método para medir la masa, o sea, la propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a cambiar su movimiento... Por consiguiente, la masa se puede considerar como una medida cuantitativa de la inercia». Cuando trata la rotación de un cuerpo utiliza expresiones paralelas a éstas al referirse al momento de inercia del sólido.

En el texto de los profesores Eisberg y Lerner (1983) «Física, Fundamentos y Aplicaciones», que es tal vez el más notable de los textos de física elemental del último decenio, en la sección 4-1 dice: «...El nombre es apropiado, pues la palabra inercia significa tendencia a evitar cambio en el estado de movimiento». En el original inglés emplea la palabra «tendency». Más adelante, en la sección 4-2, dice: «Cuál es el significado físico de  $m$ ? Se sabe por experiencia que no todos los cuerpos se pueden poner en movimiento con la misma facilidad. Todo parece indicar que la dificultad para acelerarlos aumenta con la cantidad de materia que contienen... Cualitativamente la masa de un cuerpo mide su inercia, en otras palabras, su resistencia a la aceleración...» El original usa la palabra «reluctance», que los traductores han tomado como resistencia.

La física del PSSC (1973) afortunadamente no utiliza ninguno de estos gazapos y, por el contrario, es clara y cuidadosa en afirmar que los cuerpos no pueden por sí mismos cambiar su estado de movimiento (lo cual consideramos el verdadero sentido de la palabra inercia), y que ante la más mínima fuerza neta un cuerpo cambia su estado de movimiento (lo cual consideramos el verdadero sentido de la segunda ley de Newton). Sin embargo, entre guiones hay una desafortunada frase que puede inducir a equívocos al afirmar: «...estamos interesados en conocer si la masa inercial—medida de la dificultad de acelerar un cuerpo— es una nueva propiedad...»

El mismo Feynman (1971) en sus *Lectures on Physics* sigue la corriente tradicional cuando en la página 9-2 dice: «Usamos el término masa como medida cuantitativa de la inercia...» Y en renglones anteriores deplorablemente habla de «...la fuerza para vencer la inercia...»

Paul A. Tipler (1984) en el numeral 4-2 de su texto lleva a cabo un tratamiento que nos parece muy correcto acerca de la masa, que es el título de esa sección, pero la concluye con esas frases tradicionales que dada la secuencia desarrollada no son consecuencia lógica del discurso: «... Así pues, la masa es una medida cuantitativa de la propiedad inercia o resistencia frente a la aceleración que todos los cuerpos poseen». Examinamos el otro decano de los textos universitarios, el de los profesores Sears y Zemansky (1975) y nos pareció correcto en todas sus afirmaciones. Ellos no definen inercia, usan muy poco esa palabra, pero cuando la nombran lo hacen ortodoxamente. No definen masa, se limitan a establecer la forma operacional de medirla.

Finalmente tuvimos ocasión de examinar algunos libros en lengua italiana y encontramos un hecho interesante. Los textos cuyos autores son de origen italiano no conciben la masa como oposición a variaciones de movimiento; baste citar sólo uno de los últimos producidos, el de los profesores Mencuccini y Silvestrini (1985); en cambio las traducciones en italiano de textos británicos sí incurren siempre en tales concepciones (Marion 1975, Steven et al. 1986)

Apriorísticamente se debería concluir que si los grandes maestros están de acuerdo en tales afirmaciones, entonces deben ser correctas. Tal vez es por esto que los autores de textos de educación media han copiado de generación en generación estos «paradigmas» cada uno en su respectivo país, fortaleciendo la falsa sensación de manejar la más pura doctrina. Nuestras investigaciones nos permiten constatar que los maestros toman textualmente los paradigmas descritos (Zalamea, París 1990).

### 3. INCONSISTENCIA DE TALES PARADIGMAS

Examinemos por qué afirmamos que estos paradigmas son inconsistentes. Si se define la inercia como la tendencia de los cuerpos a oponerse a las variaciones en su movi-

miento, tendríamos entonces que concluir que los cuerpos no son inertes, pues tienen una facultad que los hace casi conscientes al «tender a oponerse»; nada más opuesto al concepto de la palabra inerte. En el original de Eisberg se lee «...reluctance to avoid change in...»; y el diccionario de Velázquez (1967) dice: «Reluctance: repugnancia, desgano, disgusto, mala gana». Y luego continúa: «Reluctant: repugnante, que no quiere, no dispuesto a ceder, que obra con repugnancia». Indudablemente estas palabras no se pueden referir sino a seres animados, conscientes, y no a la materia inerte. Muchos de los originales citados emplean en inglés el término «tendency». El porqué y las consecuencias de estas concepciones animistas de la materia no las examinamos en esta ocasión

Cabría pensar que fue el mismo Newton quien introdujo esta concepción errada de masa en su definición III (Newton 1982), pero a este respecto podemos anotar algunas cosas. En primer lugar, como afirma Bernard Cohen (1983), Newton hace una clara distinción entre la fuerza insita y la fuerza impresa, no incluyendo nunca la primera en ningún paralelogramo de fuerzas, y empleando consistentemente la segunda. En segundo lugar, si tomáramos la definición III como definición de masa, lo cual evidentemente no es la intención de Newton, tendríamos una inconsistencia con la segunda ley que establece que la más mínima fuerza neta sobre un cuerpo cambia su estado de movimiento. Finalmente, los escritos de los maestros no podemos tomarlos como dogmas incuestionables, pues esto iría contra un sano espíritu científico; estos escritos deben ser mediados por la más severa de las críticas. De todas formas afirmamos que tanto Galileo como Newton no conciben la inercia como tendencia a algo y mucho menos como repugnancia; al contrario, son categóricos al reconocer precisamente ese carácter inanimado de la materia (viva o no) en cuanto que por sí misma no puede variar su cantidad de movimiento. Recordemos algunas palabras de Galileo (1976): «Sea una superficie absolutamente plana y pulimentada. Sea una esfera absolutamente esférica; dése a la tal esfera un empujón. Consta en firme que continuará moviéndose eternamente con movimiento rectilíneo y constante». Sobra análisis; para Galileo un cuerpo por sí mismo no puede cambiar su estado de movimiento, y mientras sobre él no actúe una fuerza no equilibrada, *conserva* el movimiento rectilíneo y constante. Ni en Galileo ni en Newton aparecen las famosas palabras tender a, tendencia a, oponerse a...; utilizan inflexiones verbales categóricas en presente o futuro: mantiene, continuará.

### 4. PERO, ¿SE OPONEN LOS CUERPOS A CAMBIAR SU ESTADO DE MOVIMIENTO?

Nos preguntamos ahora: ¿Los cuerpos presentan oposición a variar su estado de movimiento? Los que consideramos la materia como inerte debemos contestar que no. Newton es diáfano en la expresión de esta idea. «La variación en el movimiento—dice en su segunda ley—, es proporcional a la fuerza motriz impresa y opera en la dirección de ella». Newton entiende que en el instante en que sobre un cuerpo haya fuerza neta, en ese instante ese

cuerpo *cambia* su movimiento, y no se refiere de ninguna manera a que el cuerpo reaccione para oponerse. Por enorme que sea la masa y por mínima que sea la fuerza neta, *cambia* su movimiento. La masa no puede ser la medida de la inercia, así entendida la inercia de todos los cuerpos sería cero. Y, cómo una propiedad física (masa) puede ser la medida de otra propiedad física (inercia)?

Tradicionalmente se ha utilizado un experimento (del maestro) con la pretensión de comprobar (al alumno) que los cuerpos «se oponen» a variar su estado de reposo, afirmando que si un cuerpo está en reposo tiende a *mantener* ese reposo. Sobre una mesa hay una hoja de papel y sobre ésta una copa (o cigarrillo). Si se da un violento tirón al papel, «la copa no se mueve porque ella se opuso a variar su reposo», dice el maestro a su sorprendido pupilo, y le añade que si la masa de la copa fuese mayor, más se hubiera resistido al movimiento... porque... (las mismas razones de la tradición).

Aunque parezca superfluo, examinemos algunos detalles de este «Experimento» en honor a la claridad. La copa se queda en la mesa no porque quiera quedarse, sino porque la máxima fuerza de rozamiento estático que le puede aplicar el papel (que es la fuerza neta sobre ella) le produce una aceleración menor que la aceleración con que avanza el papel. La copa se queda pero avanza respecto a la mesa y al deslizar sobre aquél la fuerza de rozamiento es cinética. Dado el pequeñísimo tiempo durante el cual actúa ésta fuerza, la rapidez de la copa llega a ser muy poca y al caer sobre la mesa la fuerza de rozamiento cinético que ésta le aplica la detiene en brevísimo tiempo. Y el maestro engaña al alumno y lo induce a perpetuar el error tradicional afirmando (con inocente buena fe): «La copa se opuso al movimiento».

Veamos cómo este «experimento del maestro» es fraudolento desde otro punto de vista. Supongamos que tenemos un rollo de papel y en lugar de una copa, dos bloques de igual material pero diferente «masa», como lo esquematiza la figura 1. Cuando se tire violentamente del papel hacia la derecha, los dos bloques acelerarán ante los pupilos del maestro mago con *igual* aceleración.

La fuerza neta que actúa sobre cada bloque es la respectiva fuerza de rozamiento cinético que le aplica el papel, por lo tanto la aceleración de cualquiera de ellos es tal que:

$$f_k = ma$$

es decir:

$$\mu_k mg = ma$$

y por lo tanto:

$$a = \mu_k g$$

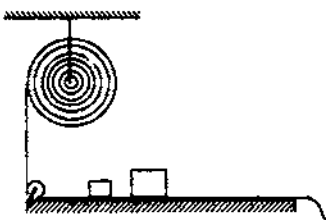
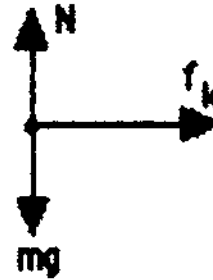


Figura 1

Figura 2



¡No importa la masa, todos los bloques de igual material aceleran igual! Las conclusiones de la experiencia del maestro no son válidas, la masa de los cuerpos no es algo que se opone al movimiento, y a mayor masa no hay mayor oposición y, por lo tanto, carece de sentido eso de que a mayor masa mayor inercia. La masa no puede ser la medida (cualitativa para Eisberg, cuantitativa para Halliday) de la inercia, la cual, además, no es una cantidad física.

## 5. CONCLUSIONES

Nos parece conveniente retomar los trabajos de Galileo y Newton para definir de acuerdo con ellos la inercia como la característica que tienen los cuerpos de no poder por sí mismos variar su movimiento y la masa como un coeficiente de proporcionabilidad entre el valor de la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo y el valor de su aceleración. De acuerdo a esto, la masa no es una cosa que tiene un cuerpo, sino una conceptualización de la cabeza del estudioso, una construcción teórica, lo cual no queremos discutir en esta ocasión.

Newton en los *Principia* define masa como cantidad de materia (definición 1) y a pesar de su ambigüedad nos sigue pareciendo buena definición para el nivel medio. La afirmación: «a mayor cantidad de protones, electrones y neutrones de un cuerpo, mayor es su masa» nos parece inmensamente más adecuada para un joven de enseñanza media, que la frase hueca: «a mayor masa, mayor inercia».

Las implicaciones didácticas y conceptuales que conllevan estas consideraciones son diversas y posiblemente muy polémicas. Baste por ahora recalcar que la problemática tratada ejemplifica una de las muchas situaciones en donde la acción instruccional del texto y del maestro propicia la elaboración de obstáculos epistemológicos por parte del alumno, que impiden una adecuada asimilación de cuerpos teóricos completos, la dinámica newtoniana en el caso descrito.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COHEN, B., 1983. *La Revolución Newtoniana y las Transformación de las Ideas Científicas*. (Alianza Universidad: Madrid).
- EISBERG, R. y LERNER, L., 1983. *Física Fundamentos y Aplicaciones*. (McGraw-Hill: Madrid).
- FEYNMAN, R., 1971. *Lectures on Physics*. (Fondo Educativo Interamericano: Panamá).
- GALILEO, G., 1976. *Consideraciones y Demostraciones sobre Dos Nuevas Ciencias*. (Editora Nacional: Madrid).
- GARCÍA HOORCADE, J. y RODRÍGUEZ, D., 1988. Ideas Previas, Esquemas Alternativos, Cambio Conceptual y el Trabajo en el Aula, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 6, pp. 161-166.
- HALLIDAY, D. y RESNICK, R., 1982. *Física 1*. (Cecsa: México).
- MARION, J., 1975. *Physics and the Physical Universe*. (John Wiley and Sons).
- MENCUCCINI, C. y SILVESTRINI, V., 1985. *Física 1, Mecánica, Termodinámica*. (Liguori Editore).
- NEWTON, I., 1982. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural y su Sistema del Mundo*, p. 224. (Editora Nacional: Madrid).
- PSSC. 1973. *Física*. (Reverté: Barcelona).
- SEARS, F. y ZEMANSKY, W., 1975. *Física*. (Aguilar: Madrid).
- STEVEN, C. et al., 1986. *The Mechanical Universe*. (Zanichelli Editore: Bolonia).
- TIPLER, P., 1976. *Física*. (Reverté: Barcelona).
- VELÁZQUEZ, M., 1967. *New Revised Velázquez Dictionary*. Chicago.
- ZALAMEA, E. y PARÍS, R., 1990. ¿Saben los maestros la Física que enseñan?, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 7 (3), pp. 251-256.