

LA ESTRUCTURA DE LAS LEYES DE NEWTON: UN ENFOQUE ALTERNATIVO

Enrique Arribas Garde
Vicente Sanjosé López

*Enrique Arribas Garde,
Departamento de Física Aplicada,
Escuela Universitaria Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha.*

*Vicente Sanjosé López,
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales,
Escuela Universitaria de Formación del Profesorado de E.G.B.
Universidad de Valencia.*

RESUMEN

SE presenta un método alternativo para la introducción de las leyes de Newton. Usando el concepto de cantidad de movimiento, se parte del principio de su conservación (análogo a la primera ley de Newton). Se define el concepto de fuerza. La segunda ley de Newton surge como un teorema, y la tercera como un corolario. Creemos que esta alternativa puede hacer más coherente la introducción a la Mecánica newtoniana que se realiza en el primer curso de las carreras científicas y tecnológicas.

La mayoría de los profesores de Física dedicamos alguna lección del temario a hablar con nuestros discípulos de la naturaleza de la Ciencia y de la estructura de las teorías científicas. Habitualmente nos cuesta bastante esfuerzo que los alumnos entiendan que nuestro conocimiento acerca del mundo que nos rodea, procede únicamente de esas teorías y de los modelos construidos en su seno.

En el caso de la Física, además tenemos que hacer comprender el imprescindible papel que la Matemática juega, en los desarrollos lógicos que nos permiten profundizar en las consecuencias contrastables de los constructos teóricos. Como decía Galileo Galilei «El gran libro de la Naturaleza está escrito en símbolos matemáticos» o como decía Rudolf Carnap «En verdad es un hecho sorprendente y afortunado que la Naturaleza pueda expresarse mediante funciones matemáticas de

orden relativamente bajos» o como dijo Newton «La Matemática no es la Física. Pero es la única lengua de la misma» y es la potencia y coherencia del lenguaje matemático lo que facilita, y muchas veces orienta, la búsqueda de soluciones a los problemas concretos que nos encontramos los científicos. Sin embargo, y a pesar del consenso acerca de lo anterior, cuando entramos de lleno en los desarrollos y explicaciones asociadas con nuestra labor docente, muchas veces olvidamos hacer énfasis en la estructura del lenguaje matemático, que la Física usa como vehículo de expresión universal.

La experiencia en docencia universitaria nos ha demostrado que el poner de relieve en cada parte de un cierto desarrollo, cuáles son los Principios, Modelos, Definiciones, etc... de una cierta teoría, proporciona el nexo de unión y las piezas de encaje que a veces necesitan los estudiantes para integrar todos los «eslabones» en una única «cadena» lógica de las teorías físicas y se ponen de relieve con facilidad sus limitaciones y sus logros. Este enfoque, puede ser adoptado en cualquiera de los campos de nuestra ciencia, pero uno de los que con más agrado acogen nuestros alumnos se refiere, precisamente, al tópico quizá más estudiado: las leyes de Newton de la Dinámica.

En la mayor parte de los textos cuyo nivel se adecúa al primer nivel universitario, las leyes de Newton se presentan de la forma habitual, bien conocida por todos los que alguna vez estudian Física, y que recogemos para poder comparar con el punto de vista que sugerimos después:

- 1.ª ley: «Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, si sobre él no actúa una fuerza externa (o la suma de todas las fuerzas externas es una fuerza nula)». (*Ley de Inercia*).
- 2.ª ley: «El cambio en la velocidad de un cuerpo, es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre él (siendo su masa inercial el factor de proporcionalidad)».
- 3.ª ley: «Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro cuerpo B, éste ejerce otra fuerza sobre el A de idéntico valor, pero de sentido opuesto». (*Acción y Reacción*).

Sin entrar en el hecho de que en muchas ocasiones, a partir de aquí y en adelante, se «olvida» recordar que estas leyes sólo son válidas en sistemas de referencia inerciales, las variaciones que suelen encontrarse sobre este esquema, proceden de la formulación en términos de la cantidad de movimiento $\vec{p} = m\vec{v}$ en vez de en términos de la velocidad del cuerpo, o de la formulación matemática en vez de «verbals», pero rara vez se revelan algunos de los puntos clave de esta formulación, como por ejemplo:

— ¿Cuál es la definición de «fuerza» que ya aparece en la primera

ley?. La respuesta no puede proceder de la segunda ley, puesto que en esta presentación, ésta se basa en la primera ley. Además, en las redacciones similares a la expuesta, parece estar implícito que el término «fuerza» es conocido, quizá por ser familiar en el lenguaje coloquial, pero ello es también fuente de muchos problemas didácticos⁽¹⁾ que se derivan de la clásica asociación fuerza-cause del movimiento, procedente de la experiencia sensorial en un medio con fuerzas disipativas.

— ¿Son las tres leyes independientes entre sí, o están relacionadas unas con otras? y en este último caso, ¿Cuál es el nexo de unión entre ellas?

— ¿Qué quiere decir «Ley» en este contexto? ¿son aserciones sobre el comportamiento de los cuerpos que proceden de la experiencia, por inducción, o sea pueden deducir de otras aserciones anteriores?

La presentación alternativa que hemos ensayado con cierto éxito en nuestras clases no es nueva, pero a pesar de que, a nuestro juicio, ayuda a clarificar conceptualmente las preguntas anteriores, no está aún muy extendida. La idea consiste básicamente, en empezar «por el Principio», es decir, asumiendo que en toda teoría existen axiomas indemostrables (pero no ininteligibles o ilógicos), que forman el esqueleto de las mismas, y a los que se llega a través de procesos habitualmente inductivos y de «creación genial» de algunos científicos⁽²⁾.

En este caso, el Principio aludido es el de conservación de la cantidad de movimiento, \vec{p} , (\vec{p} debe haber sido introducido previamente) y que en cursos superiores si llegara el caso, puede ser relacionado con la simetría translacional de un proceso físico⁽³⁾.

1. *Principio de conservación de la cantidad de movimiento*. «En ausencia de interacción, la cantidad de movimiento o impulso lineal $\vec{p} = m\vec{v}$ de un sistema físico, permanece constante». (Implícito: en un sistema de referencia inercial).

Obsérvese que se emplea al término «interacción» y no «fuerzas», ya que el concepto de interacción es anterior y común a toda teoría física, y puede y debe ser entendido antes de acometer el desarrollo posterior. De este modo, podemos ahora traducir operativamente este concepto, en el contexto de la Dinámica clásica:

-
- (1) VIENNOT, L. (1979): *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. (Hermann, Paris).
— (1979): *European Journal of Science Education*, 1(2), 205.
— (1983): *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*, Cornell University (Ithaca), 239-244.
 - (2) KUHN, T. S. (1962): *The structure of scientific revolutions*. Chicago University Press.
 - (3) GOLDSTEIN, H. (1987): *Mecánica Clásica*. Segunda edición. Editorial Reverte.

2. *Definición.* «Cuando un agente exterior interactúa con un sistema físico, se define la Fuerza que actúa sobre el mismo como la variación con el tiempo de su cantidad de movimiento».

$$\vec{F} = d\vec{p}/dt$$

En este punto, la ley de inercia puede ser formulada como un Teorema que surge de los puntos anteriores:

3. *Teorema.* «Cuando sobre un cuerpo cuya masa permanece constante, no se ejerce ninguna fuerza externa, o bien la suma de todas las fuerzas externas es nula, el cuerpo permanece en su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme» (implícito: «en el sistema de referencia inercial previamente elegido»).

Demostración: Partiendo de $\vec{F} = (d\vec{p}/dt)$, si $\vec{F} = \vec{0}$ (hipótesis), entonces: $\vec{p} = \text{constante}$. Si además $m = \text{constante}$ (hipótesis), se deduce que $\vec{v} = \text{constante}$, tanto en módulo como en dirección, lo que constituye la tesis del teorema.

Sin embargo, cuando la masa no permanece constante en el experimento, la conclusión no es trivial. Imaginamos un cuerpo sólido de masa inicial m que ha sido calentado a una cierta temperatura T y que es abandonado en el espacio, en condiciones tales que la fuerza exterior neta que actúa sobre él es cero. A medida que este cuerpo radia energía, su energía interna disminuye y por tanto, su masa también, en una cantidad que puede ser apreciable si m es suficientemente pequeña. En tal situación: $(d\vec{p}/dt) = \vec{0}$ implica $(d\vec{v}(t)/dt) = -(\vec{v}(t)/m(t)) \cdot (dm(t)/dt)$, es decir, la velocidad del objeto aumenta con el tiempo.

Evidentemente, la manera de analizar el proceso es considerar el sistema físico como la suma del cuerpo «frio» y de la radiación, y aplicar el principio de conservación de \vec{p} . No hay contradicciones, pero el problema suele representar un conflicto para los estudiantes poco expertos.

Por último, la ley de acción y reacción puede reformularse a partir de todo lo anterior y del principio de superposición, que permite entender el impulso total de un sistema físico como la suma de los momentos de las partes de ese sistema. Si consideramos un sistema formado por dos cuerpos que interactúan entre sí, podemos demostrar el siguiente corolario del teorema anterior:

4. *Corolario.* «Si sobre un sistema formado por dos cuerpos que interactúan entre sí, no actúa ninguna fuerza externa neta, la fuerza que un cuerpo ejerce sobre el otro es de igual módulo pero de sentido opuesto, a la que el segundo cuerpo ejerce sobre el primero». (Implícito en un sistema de referencia inercial).

La demostración es de sobra conocida, y en este caso la Ley de Acción y Reacción surge como consecuencia de los Principios, definiciones y teoremas anteriores. Sin embargo, y esto es algo que se olvida frecuentemente, en el caso de considerar más de dos cuerpos en interacción con el exterior, las afirmaciones de la tercera ley de Newton ya no son directamente «demostrables» o deducibles de consideraciones teóricas previas por un proceso lógico-matemático, y por tanto, en general debe considerarse como Principio de Acción y Reacción.

Creemos que esta alternativa para la presentación de las famosas tres leyes de Newton, puede ayudar al entendimiento de la coherencia profunda y la estructura conceptual interna, de una Teoría que el genio newtoniano creó hace más de tres siglos, dando con ello paso al surgimiento de la Ciencia Física como tal.

