

La enseñanza de la mecánica en la escuela media: la evolución histórica de los textos (1840-2000)

Pablo Adrián Núñez¹ - Jorge N. Cornejo²

¹Instituto San José. Pcia. Bs. As. Argentina
pablo_nuniez2000@yahoo.com.ar

²Gabinete de Desarrollo de Metodologías de la Enseñanza - Facultad de Ingeniería (U.B.A.).
Buenos Aires - Argentina
jcornej@fi.uba.ar

En el presente trabajo se realiza un análisis acerca de la enseñanza de la mecánica en la escuela media argentina, en el período 1840-2000. El estudio se centró en los textos de física más característicos que se utilizaron en la enseñanza secundaria de nuestro país, a lo largo de las distintas épocas. Se advierte cómo los planteos, desarrollos y modalidades didácticas utilizadas para la enseñanza de la cinemática y la dinámica, fueron, fundamentalmente en las primeras etapas del Sistema Educativo Argentino, muy diferentes a los empleados en la actualidad. Puede detectarse una cierta correlación entre las modificaciones observables en los textos y los cambios que la mecánica experimentó durante los siglos XIX y XX. El análisis de textos permite concebir la estructura actual de la mecánica como el resultado de un largo proceso de construcción histórica.

Palabras clave: cinemática, dinámica, mecánica, historia de la ciencia, análisis de textos.

In the present work we made an analysis about the teaching of the Mechanics at the Argentinean high school, in the period 1840-2000. The study was centered in the most characteristic texts of Physics that were used at the secondary education throughout the different times. The development and didactic modalities used for the teaching of Kinetics and the Dynamics were, fundamentally in the first stages of the Argentinean educational system, very different from the one used at present time. A certain correlation can be detected among the observable modifications in the texts and the changes that the Mechanics experienced during the XIX and XX centuries. The analysis of the texts allows us to conceive the current structure of Mechanics as the result of a long process of historical construction.

Keywords: Kinematics, Dynamics, Mechanics, History of the Science, analysis of texts.

Introducción

En el presente trabajo se efectúa un análisis histórico acerca de la enseñanza de la mecánica en la escuela media argentina, centrado en los capítulos correspondientes a cinemática y dinámica. El estudio ha sido orientado por la búsqueda de respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se expusieron, en cada una de las distintas épocas pero especialmente en los comienzos del Sistema Educativo Argentino, los temas de cinemática y de dinámica?

- ¿Los planteos y desarrollos eran similares a los actuales o presentaban diferencias notables?

- ¿Las diferencias, si las hubo, fueron debidas a las transformaciones de la ciencia en sí, a los cambios en la didáctica de las ciencias o a otras causas?

El análisis se realizó básicamente a partir de los libros de texto utilizados para la enseñanza y el aprendizaje de la física en la escuela media argentina. En tal sentido, hemos considerado que los libros de texto, además de

cumplir con su función específica, son documentos históricos, donde se reflejan la ciencia y la didáctica de cada época, junto a las vivencias experimentadas por cada autor en su particular contexto socio-histórico (Cornejo, 2005; Cornejo y López Arriazu, 2005; Gvirtz y otros, 2000). En términos similares se expresa Holbrow (1999) en su estudio acerca de la historia de los textos de física de nivel universitario en los Estados Unidos, cuando afirma: *“Beyond its teaching purpose, a textbook of introductory physics is also a historical document. It contains the physics and the pedagogy of its authors and their times, and reflects the era in which it was written”*.

El estudio de los manuales para la enseñanza de determinadas disciplinas en las escuelas primarias y secundarias es un campo fecundo desde el que se están efectuando importantes aportes a la historia del currículum escolar. Junto a los planes de estudio, los programas, informes de inspección y cuadernos escolares, entre otras fuentes, los manuales escolares constituyen un objeto de especial interés para los estudiosos de la historia de las disciplinas escolares (Guereña y otros, 2005).

En el caso particular de los textos secundarios, la historia de las disciplinas escolares ha permitido además observar en una forma original la relación entre la sociedad y la escuela. Es evidente que el desarrollo científico y económico, la evolución de las costumbres, las opciones políticas, etc, impusieron a los sistemas escolares respuestas en cuanto al cuadro de las disciplinas del currículum (Gvirtz y otros, 2000). Sin embargo, cuando se habla de disciplinas escolares nos situamos ante un objeto de estudio más complejo, en el que no sólo debe pensarse en el impacto de la sociedad sobre la escuela, sino también en diversas formas mediante las cuales los saberes escolares influyeron sobre el propio desarrollo científico y sobre la sociedad en general (Guereña y otros, 2005).

La transposición didáctica de la ciencia académica al ámbito escolar, incluye variados aspectos tales como la selección social de los contenidos científicos que se enseñan en la escuela, el grado de actualización presentado por los mismos, la renovación metodológica y

las innovaciones en la didáctica, así como las formas ideológicas y la relación del poder con los contenidos escolares.

El material fue obtenido de las siguientes fuentes:

- Biblioteca Pública de Morón “Domingo Faustino Sarmiento”.
- Biblioteca Pública de Haedo “Rosario Vera Peñaloza”.
- Biblioteca del Profesorado de El Palomar I.S.F.D. N° 34 Prof. Médici.
- Biblioteca del Colegio “Bertrand Russell”.
- Biblioteca del Gabinete de Desarrollo de Metodologías de la Enseñanza (GDME), Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Biblioteca Nacional.
- Biblioteca Nacional de Maestros.
- Bibliotecas particulares.

Además de libros para la enseñanza secundaria, se ha completado la muestra, con propósito comparativo, revisando algunos textos utilizados en la educación universitaria. El estudio será mucho más detallado en lo concerniente a los textos antiguos, por ser los menos conocidos y los que ofrecen mayor riqueza a los efectos del análisis histórico.

En el apartado siguiente se analizan los libros de texto correspondientes al siglo XIX, algunos de ellos anteriores a la fecha “fundacional” del Sistema Educativo Argentino, el año 1884. A continuación describiremos los libros característicos del período 1900-1930, y luego los textos publicados a partir de 1930, hasta 1960. Finalmente hacemos referencia a las obras editadas desde 1960 hasta la actualidad. En VI presentamos las conclusiones de este estudio. Finalmente, en el “Apéndice” se expone el listado con las obras consultadas, ordenadas cronológicamente.

La mecánica en los textos del siglo XIX

En los libros de texto correspondientes al siglo XIX que hemos podido consultar, la cinemática y la dinámica no aparecen como capítulos separados, sino englobadas en un

capítulo general de mecánica. En el mismo se exponen los conceptos de movimiento y los principios que lo rigen, utilizando denominaciones diferentes a las habitualmente empleadas en la actualidad. Cabe aclarar que esto no es una mera característica de los libros de texto para la enseñanza media, sino que refleja el estado de la mecánica en la época bajo estudio, en la que todavía no estaban definitivamente consolidados tanto el vocabulario como los sistemas de unidades, alcanzando ambos su desarrollo definitivo recién en las primeras décadas del siglo XX (Mach, 1949, primera edición 1883).

Listamos a continuación las características más relevantes de estos libros:

- no se presenta explícitamente un sistema de unidades en el texto, ya sea en el capítulo de mecánica o en los capítulos previos;
- los cuerpos se denominan *graves*;
- en los capítulos iniciales o introductorios se hacen referencia a *las propiedades de la materia* donde aparecen conceptos tales como: *cohesión, adhesión, dureza, tenacidad, indestructibilidad, inercia, divisibilidad, porosidad, compresibilidad, expansibilidad, movilidad, atracción, fragilidad, maleabilidad, ductilidad, extensión y figura*;
- en particular, se resaltan como propiedades de los “graves” la *inercia* y la *pesantez*;
- no aparece definido explícitamente el concepto de *masa*;
- se utiliza el concepto de *espacio* como la distancia o longitud recorrida por un móvil;
- no se emplean explícitamente los conceptos de *sistemas* o *marcos de referencia* ni similares;
- la expresión matemática del “espacio”, para el movimiento rectilíneo uniforme, se escribe como: $e = v \cdot T$, siendo e el “espacio”, v la velocidad y T el tiempo (Despretz, 1843), o con fórmulas similares, pero obviando en cualquier caso las condiciones iniciales;
- algo similar ocurre con el movimiento rectilíneo uniformemente variado, para el que las ecuaciones de “espacio” y veloci-

dad se expresan como:

$$e = a \frac{T^2}{2}; v = aT$$

siendo a la aceleración

- no se representan gráficamente la posición, la velocidad o la aceleración como funciones del tiempo y, en general, no se recurre a la representación gráfica de expresiones funcionales;
- en el movimiento variado se aclara que existen los *acelerados* y los *retardados*, causados por las “*fuerzas aceleratrices*” o “*retardatrices*” respectivamente. Poisson (1845) confunde reiteradamente aceleración y velocidad, llegando a calificar a g (la aceleración de la gravedad) como “*una velocidad*”. La confusión alcanza su grado máximo en el párrafo que sigue: “*El peso de un cuerpo grave que cae por el vacío es su fuerza motriz, y la pesantez su fuerza aceleratriz. Para abreviar se llama por lo general pesantez o gravedad a la velocidad g que mide a esta fuerza*” (pág. 163);
- se indica que el signo (positivo o negativo) de la aceleración, en las ecuaciones de “espacio” y de velocidad depende del tipo de fuerza, “*aceleratriz*” o “*retardatriz*”;
- no aparecen los Principios de Newton expresados como tales. Ortiz (1887) incluye tres *leyes del movimiento*, si bien éstas difieren (en el caso de la segunda ley, en forma notable) de la manera en que los Principios de Newton se presentan en la actualidad:
 - “...*Primera ley del movimiento:*
Un cuerpo en reposo permanece en reposo, un cuerpo una vez en movimiento se mueve en línea recta con celeridad uniforme, a menos que alguna fuerza externa venga a obrar sobre él...” (pág. 38)
 - “...*Segunda ley del movimiento:*
Una fuerza dada produce siempre el mismo efecto, ya sea que el cuerpo sobre que actúa esté en acción o en reposo; y no importa si esta fuerza sola u otras operen en él al mismo tiempo...” (pág. 43)
 - “...*Tercera ley del movimiento:*

Acción: es la fuerza que un cuerpo ejerce sobre otro sometido a su operación.

Reacción: es la fuerza contraria que el cuerpo operado o recipiente ejerce a su vez sobre el operante.

La reacción es siempre igual a la acción y contraria en dirección...^{1,2} (pág. 44)

Es interesante indicar también la forma en que Lozano (1889) refiere las que denomina “*Leyes fundamentales*”, que, según el autor, “*son el fundamento de la Mecánica racional*”.

“...*Ley de inercia o de Kepler:*

Si deja de actuar la fuerza que obliga al móvil a describir una curva determinada, en virtud de la inercia continuará caminando indefinidamente, según la tangente a la curva en aquel punto y con velocidad constante, que es la misma que llevaba el cuerpo al cesar la fuerza...”

“..*Ley de la independencia de los movimientos o de Galileo:*

Los movimientos particulares de un cuerpo se producen con independencia o como si no existiera el movimiento común a dicho cuerpo y al punto de referencia...”

“...*Ley de reacción o de Newton:*

Siempre que un movimiento se produce o tiende a producirse, se produce asimismo, o pugna por efectuarse, otro igual y directamente opuesto...”

Todos los párrafos citados se encuentran en la página 24 del mencionado texto. Puede advertirse el esfuerzo del autor por adjudicar cada una de las leyes a uno de los sabios fundadores de la mecánica clásica: Kepler, Galileo, Newton. Además, comparando los dos conjuntos de leyes, notamos que el Principio de Masa, en realidad, ni siquiera es mencionado.

Existen todavía otras formas de presentar las leyes de Newton. Por ejemplo, Bahía (1897) las designa: Principio de Inercia, Principio del Movimiento Relativo y Principio de la Igualdad de la Acción y de la Reacción. La formulación que este autor realiza acerca del “Principio del Movimiento Relativo” es

algo confusa, pero parece contener un principio de clasificación de los sistemas de referencia en inerciales y no-inerciales.

- al definir el concepto de *fuerza*, Ortiz (1887) refiere:

“...*Cuando vemos un cuerpo moverse, pararse o cambiar de moción, concluimos que lo hace en virtud de una agencia externa, puesto que no puede obrar por sí mismo. Esta causa capaz de producir o modificar el movimiento, la llamamos fuerza. Por el contrario, aquella otra fuerza que se opone a producir un cierto efecto, se llama resistencia...*” (pág. 27)³

Como ejemplo para este último caso el autor plantea que “... *por ejemplo la inercia de la flecha es la resistencia...*” (pág. 27); de ambos párrafos surge con claridad una cierta confusión entre las nociones de fuerza e inercia.

- se definen los conceptos de *fuerza centrífuga* y de *fuerza centrípeta*, en una forma que actualmente calificaríamos como confusa, si no errónea. En particular, Ortiz (1887) dice que:

“...*la fuerza que tiende a hacer salir un cuerpo del centro sobre el que gira, se llama fuerza centrífuga...*” “... *La fuerza contraria que atrae un cuerpo hacia el centro sobre que gira, se llama fuerza centrípeta...*” (pág. 39)

“...*Ley de la fuerza centrífuga:*

La fuerza centrífuga de un cuerpo giratorio crece en la proporción del cuadrado de su velocidad...” (pág. 41)

- se utiliza el concepto de *impulsión instantánea* para indicar una fuerza aplicada durante un corto intervalo de tiempo

- tanto Despretz (1843) como Ortiz (1887) definen el concepto de *fuerza viva*. Sin embargo, no la asimilan a la energía cinética, como todavía era habitual en la época (Mach, 1949). En particular, Ortiz (1887) define:

“...*Fuerza viva (vis viva) o fuerza del golpe de un móvil, es el impacto de un cuerpo cuando hiere a otro en reposo. Si este es penetrable la fuerza viva se estima*

por la profundidad a que penetra una sustancia...” (pág. 32)

- Abundan las descripciones y dibujos de aparatos mecánicos, realizadas hasta con cierto toque artístico. De hecho, el texto de Ganot (1872) ha sido calificado por Holbrow (1999) como una “*enciclopedia de aparatos olvidados*”.

En general, podemos advertir una notable limitación en el empleo de la matemática para describir los movimientos. Ortiz (1887) justifica explícitamente este hecho en la presentación de su obra, diciendo que para poner la física al alcance de los alumnos que tienen dificultades con la matemática debemos prescindir lo más que se pueda de ella. Es justo señalar que el autor es Doctor en Filosofía y Letras de la Universidad de Chile, y por lo tanto tal vez la matemática le resulte lejana. No obstante, Despretz (1843) también simplifica los planteos matemáticos pese a ser profesor de Física en el Colegio Enrique IV y en la Escuela Politécnica de Francia⁴.

El lenguaje empleado en los textos se halla muy próximo a la “cosa” sensible, mientras que los modelos más abstractos permanecen en segundo plano, coincidentemente con lo expresado por Holbrow (1999) acerca de los libros de física de nivel universitario empleados en los Estados Unidos para la misma época.

Los libros de texto en el período 1900-1930

En esta época se observa una gran producción de textos elaborados por autores nacionales, que se incrementa hacia el período comprendido entre 1910 y 1920. Aportan varias novedades en la presentación de los temas, siendo sus características generales las siguientes:

- los capítulos de cinemática y dinámica se diferencian. La cinemática se define como “*la descripción del movimiento de los cuerpos sin importar la causa*”, mientras que la dinámica suele caracterizarse como “*el estudio del movimiento de los cuerpos en relación con las fuerzas que los producen*”.

- continúan las dificultades al no existir un sistema homogéneo de unidades. No obstante se presenta cierto orden al comenzar a emplearse el sistema cgs. Por ejemplo, H.E.C. (1921) trabaja con un “*sistema técnico*” en el que la masa se mide en gramos y la fuerza en dinas, pero no diferencia con claridad las unidades fundamentales y las derivadas.
- todavía no se introduce el concepto de sistema de referencia
- en cinemática se clasifican los movimientos en forma similar a la actual y se establecen las ecuaciones horarias para los más sencillos
- en general, no hay representaciones funcionales respecto del tiempo de las magnitudes posición, velocidad y aceleración para los textos de las primeras dos décadas. Recién en el texto de Martín (1929) comienzan a representarse gráficamente dichas funciones
- el concepto de aceleración no siempre aparece claramente identificado o definido
- en dinámica, la principal innovación es el carácter claramente vectorial adjudicado al concepto de fuerza
- aparece el dinamómetro como instrumento para medir fuerzas
- en general los textos exponen los Principios de la dinámica en la siguiente forma, que tomamos de Herrero Ducloux y Aguirre (1905):
 - “...Principio de inercia:
La velocidad de un móvil queda invariable en un medio fijo si el medio no ejerce sobre éste ninguna fuerza...” (pág. 47)
 - “...Principio de acción y reacción:
Cuando un cuerpo ejerce sobre otro una acción que puede ser medida por una fuerza, debe admitirse que el segundo ejerce también sobre el primero una acción (reacción) de igual valor que aquella, de la misma dirección, pero cuyo sentido es opuesto...” (pág. 47)
 - “...Principio de la independencia de las fuerzas:
El efecto de una fuerza sobre un punto material, es independiente de la acción

que sobre el mismo ejercen otras fuerzas simultáneas...” (pág. 48)

se introduce el concepto de masa:

“... Como consecuencia de la independencia de los efectos de las fuerzas, la dinámica establece que si una fuerza constante actúa sobre un móvil, imprime a éste un movimiento uniformemente variado; por otra parte, si el mismo móvil se somete sucesivamente a la acción de diversas fuerzas de intensidades F, F', F'' ,..., las aceleraciones J, J', J'' ..., de los movimientos uniformemente variados resultantes, serán proporcionales a estas intensidades; es decir, que se verificará la relación:

$$\frac{F}{J} = \frac{F'}{J'} = \frac{F''}{J''} = \dots \text{constante}$$

La relación constante F/J entre la fuerza y la aceleración que ella introduce en el movimiento de un punto material sometido a su acción, se llama masa de este punto y se representa por m :

$$\frac{F}{J} = m$$

(Herrero Ducloux (1905) , pág. 48 y 49)

- continúan las definiciones de fuerza centrífuga como “reactiva” de la fuerza centrípeta.
- aparece el concepto de trabajo mecánico, expresado matemáticamente como: $T=Fl$, con T el trabajo, F la fuerza y l el desplazamiento. H.E.C. (1921) definen el trabajo como “la acción de una fuerza que mueve su punto de aplicación en su propia dirección” (pág. 33) con lo que explícitamente excluyen la posibilidad de fuerzas cuya dirección sea distinta al desplazamiento. Si bien el sistema de unidades más utilizado es el c.g.s., para el trabajo la unidad elegida es el kilográmetro. Esto no debe sorprendernos: Mach (1949) afirma que, en la época en cuestión, Poncelet había definido y extendido el uso del kilográmetro como unidad de trabajo.
- se vincula el trabajo con las “fuerzas vivas”: $T=1/2(mv'^2-mv^2)$, donde, para

algunos autores, la fuerza viva es mv^2 , mientras que otros la definen como $1/2mv^2$.

- se define el concepto de energía cinética como la semisuma de todas las fuerzas vivas que un cuerpo posee en un instante dado, matemáticamente expresada como $1/2mv^2$.
- se enuncia el Principio de Conservación de la Energía.
- se menciona la idea que las energías cinética y potencial de un cuerpo pueden transformarse una en otra, permaneciendo la energía mecánica total constante
- se plantean problemas de resolución que requieren mayor herramienta matemática que la planteada en los textos del período anterior.

En síntesis, aquí puede notarse que, junto a la diferenciación de la cinemática y la dinámica, aparece el primer intento por homogeneizar y dar coherencia a las unidades de las magnitudes físicas planteando el sistema cgs; se incorporan gráficos explicativos a la par del texto; el vocabulario se incrementa y se aleja de la descripción meramente sensible; se incluye la resolución de problemas-ejemplo mediante ecuaciones, y se plantean otros como actividad de ejercitación. Están aún ausentes las representaciones funcionales en ejes cartesianos, aunque en el texto de Martín (1929) aparecen como novedad frente al resto de los observados en la investigación.

El problema planteado por la falta de unidades homogéneas es muy importante, y puede observarse su presencia prácticamente hasta la finalización del período estudiado. Inclusive, para magnitudes cuya deducción de unidades no debería presentar mayor dificultad, por ejemplo las de la aceleración, se advierten errores groseros. Martín (1929), al resolver un problema, se refiere a la aceleración como: “ $a=5m$ ”, donde m identifica el “metro” y luego aclara: “aceleración de 5 metros por segundo” (pág. 91), con lo que el error se duplica. Recordemos que el autor no era un académico del área específica sino Doctor en Filosofía y Letras. Esta situación se repite en varios casos, y así podemos hallar

como autores de textos de física varios Doctores en Filosofía y Doctores en Medicina.

Los textos a partir de 1930

A partir de 1930 en los textos aparecen cambios en el desarrollo de las unidades de cinemática y dinámica, que han de fijar el perfil de estos temas y que hasta hoy se conservan en su gran mayoría.

Entre estos cambios se destacan:

- se advierte una mayor claridad en los capítulos iniciales, donde se describen las magnitudes físicas y sus unidades de medición correspondientes. Se emplean los sistemas *cgs* y técnico.
- aparece el concepto de sistema de referencia, pero no se efectúa una distinción explícita entre sistemas inerciales y no-inerciales.
- se alcanza un empleo más claro y pleno de la matemática, destacándose la utilización explícita del concepto de *función* para relacionar las magnitudes físicas del movimiento, así como la representación gráfica de dichas funciones.
- se trabaja con el Principio de Superposición de Movimientos en lugar del Principio de Independencia de Fuerzas.
- se presentan los clásicos Principios de Newton: Principio de Inercia, Principio de Masa y Principio de Acción y Reacción.
- se mencionan los conceptos de impulso y cantidad de movimiento, estudiándose los diversos tipos de choque.
- en el capítulo sobre movimiento circular se continúa con el concepto de fuerza centrífuga y se la presenta como la reactiva de la fuerza centrípeta.
- en la unidad temática de trabajo y energía se conserva aún el concepto de fuerzas vivas y se emplea el término para el Teorema de las Fuerzas Vivas. Se denomina fuerza viva a $1/2mv^2$. Comienza a utilizarse el joule como unidad de energía.

Estos cambios pueden haberse debido a que aparecen autores que son ingenieros, para los que resulta familiar el empleo de la matemática

como herramienta fundamental en las descripciones, utilizando un vocabulario más técnico, modelizando situaciones ideales y haciendo hincapié en el manejo correcto de las unidades de medición.

Sin embargo, estos progresos no fueron uniformes. En algunos casos, los textos conservaron las características enumeradas en el punto anterior. Este es el caso, por ejemplo, del *Curso elemental de Física* (Perez Avendaño, 1931, la primera edición es de 1914). El autor, médico de la Universidad de Buenos Aires y profesor de Física en el Colegio Nacional Domingo Faustino Sarmiento y en la escuela Normal de Profesoras, en el prefacio declara que:

"... La Física encerrada en estas páginas es enteramente experimental y excluida de matemáticas, no porque pretenda negar a éstas la claridad radiante que llevan al espíritu, sino por la deficiente preparación de los alumnos, a los que en la gran mayoría de los casos, ecuaciones y razonamientos aún de álgebra muy elemental, duplican y dificultan su tarea, sin ventaja alguna para comprender, retener y generalizar conocimientos fundamentales..." (prefacio, s/n)

En este texto hay numerosos errores, entre los que señalamos los tres más sobresalientes:

- a) *"...Trayectoria, que es la línea continua, recta o curva que determina los puntos materiales del móvil al ocupar sucesivamente distintas posiciones en el espacio. Será rectilínea la trayectoria cuando la fuerza que impulsa al móvil es de dirección constante. Será curvilínea en caso contrario, con determinación de la variedad de curvas conocidas..."* (pág. 60)

De acuerdo con esta afirmación, podría inferirse que un cuerpo que se mueve en línea recta necesita siempre de una fuerza colineal que lo esté empujando, en contra de lo afirmado por el Principio de Inercia.

- b) En la página 91 se presenta un esquema, para ilustrar el Principio de Interacción, en el que las dos fuerzas integrantes del par aparecen aplicadas en el mismo cuerpo. Este tipo de error, curiosamente, se

- observa con frecuencia en la idea intuitiva que los alumnos adoptan al querer interpretar el tercer Principio de Newton
- c) Se define el concepto de *fuerza viva*: “...Se llama *fuerza viva*, la fuerza o fuerzas que obran sobre un cuerpo en movimiento. Es ni más ni menos, que la energía cinética de un móvil y está representado por el producto de la masa del móvil por el cuadrado de la velocidad: $Fviva = m \cdot v^2$...” (pág. 103)⁵

El empleo del concepto de fuerza viva a un cuerpo en movimiento refuerza aún más la idea de que no existe movimiento sin la presencia permanente de una fuerza que actúe sobre el cuerpo.

Por otra parte, si bien se han pulido conceptos y mejorado las descripciones, a partir de la mayor formalización matemática, continúan presentándose fuerzas ficticias, propias de sistemas no inerciales, en esquemas efectuados en sistemas inerciales (no definidos explícitamente) tales como la fuerza centrífuga. Esto ocurre aún en textos relativamente tardíos como el Curso de Física editado por la editorial Politécnica de Bs. As. (Martín, 1949) y aún en el Tratado de Física del autor alemán W. H. Wesphal (1951) para nivel superior. Sin embargo, debe reconocerse que este último presenta a la fuerza de Coriolis como una pseudofuerza, es decir una fuerza característica de un sistema no inercial.

Los textos desde 1960 a la actualidad

La aparición del SI (Sistema Internacional de Unidades) se verá rápidamente reflejada en los textos de física, ampliándose los capítulos iniciales de los libros para indicar el sistema de unidades que habrá de utilizarse a lo largo del texto. El SI homogeneizó el tipo de unidades empleados en todos los libros nacionales, excepto aquellos de origen estadounidense, que tardarán algunos años en adaptarse al Sistema Internacional.

Al parecer, el tema que requirió mayor tiempo hasta alcanzar un desarrollo pleno en

los textos de nivel medio fue el de sistemas inerciales y no inerciales⁶. De hecho, continúa apareciendo la noción de la fuerza centrífuga como una fuerza de interacción, que incluso llega a presentarse como reactiva de la fuerza centrípeta; en algunos aplicada al mismo cuerpo y en otros desde centro de rotación hacia afuera. Por ejemplo, en el texto de física para 3° año de C. R. Miguel (1975), leemos que:

“...Fuerza centrífuga. Reacción sobre el vínculo. De acuerdo con el principio de reacción, a la fuerza centrípeta se opone otra de igual intensidad y sentido contrario, que es la fuerza centrífuga...” (pág. 26)

Comparemos esto con lo expresado en “Evolución de los conceptos de Física” (Arons, 1970), una obra para el nivel superior, escrita originalmente en Estados Unidos:

“...Fuerza centrípeta...” “...Cuando el movimiento circular es visto desde el sistema inercial, esta terminología describe completamente el fenómeno: una fuerza neta, la resultante quizá de varias fuerzas individuales, actúa para impartir aceleración hacia el centro. Esta fuerza neta es llamada fuerza centrípeta. Ninguna otra fuerza actúa sobre la partícula. En particular, cualquier uso del término ‘fuerza centrífuga’ es totalmente inapropiado cuando el movimiento circular es descrito con relación a un sistema inercial.

El término ‘fuerza centrífuga’ tiene significado, sin embargo, siempre y cuando describamos el movimiento desde un sistema de referencia enteramente diferente. Supongamos que nos imaginamos estar localizados sobre una gran placa de vidrio que está girando con relación a la Tierra; trazamos un sistema de ejes sobre la placa y tomamos a éste como nuestro sistema de referencia. Si, colocados en el mundo de la placa de vidrio, ahora llevamos a cabo unos cuantos experimentos con bloques sin fricción, descubrimos rápidamente que las leyes de Newton ya no son válidas en la misma forma como en el sistema inercial...” (pág. 264 y 265)

Incluso en una obra relativamente reciente, como el texto para 4° año de C. R. Miguel (1991) se dice que:

“...Fuerza centrípeta es la que tiene dirección y sentido hacia el centro de rotación...”

Aceleración centrípeta es la resultante de la existencia de la fuerza centrípeta...La fuerza centrífuga que es de igual intensidad que la centrípeta pero de sentido contrario..." (pág. 149)

Si bien en esta cita no pueden detectarse errores groseros en forma explícita, nótese que no aclara sobre quién están aplicadas las fuerzas y que, además, podría interpretarse nuevamente que ambas forman un par de interacción. Asimismo, en otras obras detectamos una confusión entre las nociones de *sistema de referencia* y *sistema de coordenadas*. Por ejemplo, en H. Miguel (2000, pág. 34) leemos que: "*Para describir un movimiento necesitamos aclarar desde dónde lo estamos mirando. Todo movimiento es relativo a un sistema de referencia*", pero luego se aclara que: "*Para fijar un sistema de referencia usaremos ejes de coordenadas perpendiculares para cada dirección, y cada punto quedará ubicado por las componentes de cada eje*", con lo que, en realidad, se está caracterizando el sistema de coordenadas. La confusión se refuerza cuando en la pág. 35 se dice que: "*El sistema de referencia del vagón sirve para ubicar los objetos, darles su posición*", cuando en realidad el sistema de referencia (inercial o no inercial) establece la forma en que se describirá físicamente el problema, y el sistema de coordenadas fija las coordenadas espaciales de cada punto, dentro del sistema de referencia previamente elegido. Aristegui y otros (2000) definen *sistema inercial* como aquél en el que se verifica el Principio de Inercia, pero no efectúan referencia alguna a la existencia y propiedades de los sistemas no-inerciales.

Existen, por supuesto, excepciones (Castiglioni y otros, 1981; Hewitt, 1998, Tricárico y Bazo, 1998), en las que ya se aclara el concepto de sistema inercial y se entiende la fuerza centrífuga a partir de un sistema en rotación, en el que no se verifican los Principios de Newton.

Existen, además, otras dificultades. Por ejemplo, el hecho de subordinar el signo de la aceleración al hecho de que el movimiento sea acelerado o retardado, teniendo por lo tanto que desdoblar el problema de tiro vertical, tal como se aprecia en Fernández Serventi (1984).

De todos modos, en general, los textos han adoptado el lenguaje científico y el esquema conceptual que la mecánica utiliza en la actualidad.

Conclusiones

De acuerdo con el estudio realizado, y teniendo en mente las preguntas que nos formulamos en la Introducción, podemos presentar las siguientes conclusiones provisionales:

- a) El análisis de libros de texto de distintas épocas se revela como una herramienta útil e interesante tanto a los efectos de indagar la forma en que determinados temas fueron presentados en la escuela media a lo largo de las épocas, como para buscar paralelismos entre tal forma de presentación y la evolución de las disciplinas científicas.
- b) A lo largo de la evolución del Sistema Educativo Argentino, la forma en que se presentaban los temas incluidos en el capítulo de mecánica se fue modificando substancialmente. En tal sentido, la referencia de Mach (1949) acerca del esfuerzo requerido para articular la mecánica como un sistema coherente se ve claramente reflejada en los textos. En otras palabras, la estructura actual de la mecánica se revela como el resultado de un largo proceso de construcción histórica.
- c) Los planteos y desarrollos, especialmente en las primeras épocas, eran muy distintos a los actuales. Para reconocerlo, basta comparar las diversas formas de presentación de las Leyes de Newton, y la relativamente tardía aparición del Principio de Masa.
- d) Es difícil establecer la razón de estos cambios y diferencias. Volviendo a Mach (1949) encontramos algún paralelismo entre la sucesión de tales cambios y la evolución de la mecánica como disciplina científica. Por el contrario, siguiendo a Holbrow (1999) podríamos atribuir tales cambios a razones de índole fundamentalmente didáctica. Quizás se trate de una compleja mezcla de factores, estrechamente vinculados entre sí.

Notas

- ¹ Hemos modificado ligeramente la ortografía del texto, para adaptarla al idioma español que se emplea en la actualidad.
- ² Nótese la confusión entre dirección y sentido, y la diferenciación entre un cuerpo “operante” y uno “recipiente”, por lo que se distingue la “acción” de la “reacción”, en lugar de referirse a un “par de interacción”.
- ³ Esta distinción entre “fuerza” y “resistencia” se ha prolongado, hasta cierto punto, en algunos textos de la actualidad. Aristegui y otros (2000), al describir el funcionamiento de una palanca, continúan hablando de la “fuerza potente” y la “fuerza resistente”, como si hubiese alguna diferencia esencial entre ambas.
- ⁴ Sus intereses se orientaban específicamente al área experimental, en el tema de las leyes de los gases. De hecho, en su obra dedica un muy extenso capítulo al trabajo de Gay-Lussac, que aún se encontraba vivo en aquella época.
- ⁵ Donde hallamos un eco de la clasificación adoptada por Leibniz: *fuerza viva* (que actúa sobre un cuerpo en movimiento) y *fuerza muerta* (sobre un cuerpo en reposo).
- ⁶ Todo lo relacionado con el tema de la inercia presenta algunas confusiones. Es típica, por ejemplo, la clasificación de Vidal (1964) que distingue entre la “inercia de los cuerpos en reposo” y la “inercia en movimiento”, sin justificar en absoluto tal distinción. Repasando los párrafos citados a propósito de los textos más antiguos, veremos como estas “dos formas de inercia” aparecen repetidamente.

Apéndice

CUADRO COMPLETO DE LOS TEXTOS ESTUDIADOS

(se indican con un asterisco los textos correspondientes al nivel universitario)

Nro.	Fecha	Origen y editorial	Autor(es)	Título
1	1843	París: Rosa	Despretz, M	Tratado Elemental de Física
2	1845	Madrid: Imprenta Nacional	Poisson, S. D.	Tratado de Mecánica
3	1872	París: Ch. Bouret	Ganot, Adolphe	Tratado Elemental de Física Experimental y Aplicada
4	1887	S. de Chile: D. Appleton	Ortiz, Pedro P.	Principios Elementales de Física Experimental y Aplicada
5	1897	Buenos Aires: Estrada	Bahía, Manuel B.	Tratado de Física General
6	1889	Barcelona: Jaime Jepús	Lozano y Ponce de León, E.	Nociones de Mecánica
7	1905	Buenos Aires: Estrada	Herrero Ducloux, E. con prólogo de Eduardo Aguirre.	Tratado Elemental de Física
8	1909	La Plata: J. Sesé	Olivé, Emilio R.	Elementos Usuales de las Ciencias Físico-Químicas
9	1912	Buenos Aires: Estrada	Ricaldoni, Tebaldo	Apuntes de Física. Curso primero
10	1914	Buenos Aires: Las Ciencias	Lanari, Alfredo.	Apuntes del Curso de Física
11	1921	Buenos Aires: Cabaut y Cía.	H. E. C.	Apuntes de Física
12	1924	París: Librería de la Viuda de Ch. Bouret	Ganot-Maneuvrier	Tratado Elemental de Física
13	1927	Buenos Aires: Cabaut y Cía	H. E. C.	Ciencias Físicas y Naturales
14	1929	Buenos Aires: Estrada	Loyarte, Ramón G. Loedel Palumbo, E.	Tratado Elemental de Física - Tomo I
15	1929	Buenos Aires: Verdum.	Martín, H.	Curso de Física
16	1931	Buenos Aires: Librería G. Santos	Pérez Avendaño, P.	Curso Elemental de Física
17	1933	Madrid: Talleres Lusy	Rey Pastor, Julio	Curso Cíclico de Matemáticas
18	1939	Buenos Aires: Kapelusz	Fesquet, Alberto E.	Ciencias Físico-Químicas y Naturales
19	1941	Buenos Aires: Imprenta Garrot	Isnardi, Teófilo y Collo, José B.	Física - 1° Curso
20	1946	Buenos Aires: Nigar	Fernández, J. Galloni, E.	Física Elemental. Tomo I
21	1947	Buenos Aires: Espasa Calpe	Lemon, H - Ference, M.	Física Experimental Analítica. Tomo III
22	1949	México: Atlante.	Frank, Nathaniel H.	Introducción a Electricidad y Óptica
23	1949	Buenos Aires: Politécnica	Martin, G.	Curso de Física

24*	1951	Madrid: Labor.	Westphal, Wilhelm	Tratado de Física
25	1952	Buenos Aires: Ministerio de Marina	Isnardi, Teófilo y Collo, José B.	Física. 3er. Curso
26	1954	Buenos Aires: Cesarini Hnos.	Frumento, A. J.	Elementos de Física y Química
27	1958	Barcelona: Aguilar	Sears, Francis W.	Fundamentos de Física. Tomo II
28	1959	Buenos Aires: Kapelusz	Maiztegui, A.	Física Elemental
29*	1961	México: CECSA	Halliday y Resnick	Física 1
30*	1963	Buenos Aires: Eudeba	Roededer, Juan G.	Mecánica elemental
31	1964	Buenos Aires: Stella	Vidal, J.	Elementos de Física y Química
32*	1967	México: CECSA.	Halliday y Resnick	Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Tomo 1
33	1969	Buenos Aires: Stella	Rivero, Francisco R.	Curso de Física
34	1970	Buenos Aires: Nigar	Fernández, J.S. y Galloni, Ernesto	Física Elemental. Tomo II
35	1970	Buenos Aires: Troquel	Miguel, C. R.	Elementos de Física y Química
36*	1970	México: Trillas	Arons, A. B.	Evolución de los Conceptos de la Física
37	1972	Buenos Aires: Crespillo	Martín, G.	Curso de Física
38*	1972	Barcelona: Aguilar	Sears, Francis W y Zemansky, Mark W.	Física
39	1973	Buenos Aires: Troquel	Miguel, C. R.	Curso de Física - Óptica, electricidad y magnetismo
40	1975	Buenos Aires: Troquel	Miguel, C. R.	Física
41	1980	Buenos Aires: Kapelusz	Maiztegui, A. P, y Sábató, Jorge	Elementos de Física y Química
42	1981	Buenos Aires: Troquel	Castiglioni, Roberto Perazzo, Oscar Rela, Alejandro	Física 1
43	1984	Buenos Aires: Stella	Mautino José María	Física 4. Aula taller
44	1986	Buenos Aires: Kapelusz	Maiztegui, A.P. y Boido, Guillermo	Física Elemental
45	1989	Buenos Aires: Troquel	Castiglioni, Roberto Perazzo, Oscar Rela, Alejandro	Física 2
46	1991	Buenos Aires: El Ateneo	Miguel, C. R.	Física IV. Curso de Física
47	1994	Buenos Aires: Losada	Fernández Serventi	Física 1. Problemas de Física
48	1995	Buenos Aires: Plus Ultra	Depau, Tonelli, Cavalchino.	Elementos de Física y Química
49*	1997	México: CECSA.	Halliday, D. Resnick, R. Krane, K. S.	Física. Volumen 1
50	1998	Buenos Aires: Santillana.	Bachrach-Bilenca Bosak-Fernández Morales-Schipani Tadei	Ciencias Naturales
51	1998	Buenos Aires: A. W. Longman	Hewitt, Paul	Física conceptual
52	1998	Buenos Aires: A-Z Editora	Tricárico, H. R. y Bazo, R. H.	Física 4
53*	1999	Barcelona: Reverté.	Tipler, Paul A.	Física. Volumen 1
54	1999	Buenos Aires: Santillana	Aristegui - Baredes Dasso - Delmonte Fernández - Sobico Silva	Física I
55	1999	Buenos Aires: Estrada	Rubinstein, J. y Tignanelli, H.	Física I – La energía en los fenómenos físicos
56	2000	Buenos Aires: A-Z Editora	Codner, D. G. Drewes, A.	Física y Química
57	2000	Buenos Aires: CCC Educando	Miguel, H.	El Universo de la Física
58	2000	Buenos Aires: Santillana	Aristegui – Baredes Fernández – Silva Sobico	Física II

Referencias

- Aristegui, R.A., Baredes, C.F., Fernández, D.P., Silva, A.M. y Sobico, C.I.. (2000). *Física II*. Buenos Aires: Santillana.
- Arons, A. B. (1970). *Evolución de los conceptos de la Física*. México: Trillas.
- Bahía, M. (1897). *Tratado de Física General*. Buenos Aires: Estrada.
- Castiglioni, R. E.; Perazzo, O. A. y Rela, A. (1981). *Física 1*. Buenos Aires: Troquel.
- Cornejo, J. (2005). El libro de texto de Ciencias Naturales como documento histórico, incluido en *Congreso de promoción de la Lectura y el Libro*, Buenos Aires: Fundación El Libro, OEI y Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, pp. 219-223.
- Cornejo, J. y López Arriazu, F. (2005). El libro de texto como documento histórico, incluido en *Anuario 2004 de la Sociedad Argentina de Historia de la Educación*, Buenos Aires: SAHE, pp. 171-185.
- Despretz, M. (1843). *Tratado Elemental de Física*. París: Rosa.
- Fernández Serventi, Héctor. (1984). *Física 1. Problemas de Física*. Buenos Aires: Losada.
- Ganot, A. (1872). *Tratado Elemental de Física Experimental y Aplicada*. París: Librería de Charles Bouret.
- Guereña, J. L., Ossenbach, G. y del Pozo, M. (2005). Manuales escolares en España, Portugal y América Latina: líneas actuales de investigación, incluido en *Manuales escolares en España, Portugal y América Latina (siglos XIX y XX)*, Madrid: UNED, compilación dirigida por los autores mencionados, pp. 17-45.
- Gvirtz, S., Aisenstein, A., Brafman, C., Cornejo, J. Lóez Arriazu, F., Rajschmir, C. y Valerani, A. (2000). *El color de lo incoloro: miradas para pensar la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Novedades Educativas.
- H.E.C., (Hermanos de las Escuelas Cristianas) (1921). *Apuntes de Física*. Buenos Aires: Cabaut y Cía.
- Herrero Ducloux, E. (1905). *Tratado Elemental de Física*. Con prólogo de Eduardo Aguirre, Buenos Aires: Estrada.
- Hewitt, Paul. (1998). *Física conceptual*. Buenos Aires: A.W. Longman.
- Holbrow, Ch. H. (1999). Archaeology of a bookstack: some major introductory physics texts of the last 150 years. *Physics Today*, marzo 1999, pp. 50-56.
- Lozano, E. (1889). *Nociones de Mecánica*. Barcelona: Jaime Jepús.
- Mach, E. (1949). *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*. Buenos Aires: Espasa Calpe, traducción de José Babini de la VII edición alemana. La primera edición en alemán es del año 1883, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung: historisch-kritisch dargestellt*, Leipzig: F.A. Brockhaus.
- Martín, H. (1929). *Curso de Física*. Buenos Aires: Verdum.
- Martín, G. (1949). *Curso de Física*. Buenos Aires: Editorial Politécnica.
- Miguel, C. R. (1975). *Elementos de Física y Química*. Buenos Aires: Troquel.
- Miguel, C. R. (1991). *Física IV - Curso de Física*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Miguel, H. (2000). *El Universo de la Física*. Buenos Aires: CCC Educando.
- Olivé, E. R. (1909). *Elementos usuales de las ciencias físico - químicas*. La Plata: J. Sessé.
- Ortiz, P. P. (1887). *Principios elementales de Física experimental y aplicada*. Santiago de Chile: D. Appleton.
- Pérez Avendaño, P. (1931). *Curso elemental de Física*. Buenos Aires: Librería G. Santos.
- Poisson, S. D. (1845). *Tratado de Mecánica*. Madrid: Imprenta Nacional.
- Tricárico, H. R. y Bazo, R. H. (1998). *Física 4*. Buenos Aires: A-Z Editora.
- Vidal, J. (1964). *Elementos de Física y Química*. Buenos Aires: Stella.
- Wesphal, W. H. (1951). *Tratado de Física*. Madrid: Labor.