



Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza

César Mora^a y Y. Benítez^{a,b}

a) Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada – Unidad Legaria.
Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo,
C. P. 11,500 México, Distrito Federal; cmoral@ipn.mx†

b) Facultad de Estudios Superiores – Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.
Estado de México, México; ybenitez@servidor.unam.mx.

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

Sumario. Se reportan los resultados de nuestra investigación sobre ideas previas del concepto de fuerza en alumnos de ingeniería, realizada mediante el análisis y desarrollo de Inventarios del Concepto de Fuerza (ICF). El aprendizaje de este concepto presenta diversas dificultades que conducen a errores conceptuales en diversas áreas de la física. Realizamos una clasificación del grado de comprensión de los alumnos de acuerdo a una escala del desarrollo histórico del concepto de fuerza. El interés principal estriba en comprender las causas de errores conceptuales en mecánica clásica para el diseño de estrategias didácticas.

Abstract. The results of our investigation are shown about previous ideas of the force concept in engineering students, carried out by means of the analysis and development of Force Concept Inventory (FCI). The learning of this concept presents several difficulties that lead to misconceptions on diverse areas of the physics. We carry out a classification of the grade of the student's understanding according to a scale of the historical development of the concept of force. Our main interest rests in understanding the causes of conceptual errors in classical mechanics for the design of didactic strategies.

Palabras clave. Errores conceptuales sobre fuerza 01.30.Os, Física Educativa 01.40.-d, enseñanza de la mecánica 45.20.D-.

1 Introducción

Diversos autores han mostrado cómo el concepto de fuerza puede contribuir a asimilar los contenidos de la mecánica¹. El estudio de los errores conceptuales va aparejado al de las concepciones alternativas que llevan a cometerlos. Dichas concepciones no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que se hallan integradas en la mente formando esquemas conceptuales, dotados de coherencia interna. Estos esquemas no son vistos como errores o como algo negativo, sino como estructuras cognitivas que interactúan con la información que llega desde el exterior y que juegan un papel esencial en el aprendizaje². Por otro lado, es interesante observar un

posible paralelo entre las ideas históricas y las de los alumnos³, pues ello puede arrojar luz sobre diversos obstáculos epistemológicos en el aprendizaje del concepto de fuerza en la mecánica clásica. Es importante considerar en nuestra investigación las ideas previas del concepto de fuerza en los alumnos mediante pruebas que analicen los Inventarios del Concepto de Fuerza (ICF). En este trabajo pues, presentamos los primeros resultados de nuestra investigación bibliográfica del desarrollo del concepto de fuerza, los diferentes niveles de clasificación epistemológica y, los estudios efectuados acerca de los ICF y su relación con el concepto de movimiento y energía.

2 Desarrollo

2.1 Errores conceptuales, concepciones alternativas y sus causas. La noción de “concepto” (del latín “*concupere*”, lo concebido) se refiere a un constructo mental para la clasificación de objetos individuales del mundo exterior e interior por medio de una abstracción, es un elemento básico del pensamiento, una idea que concibe o forma el entendimiento, es el pensamiento expresado con palabras⁴. Entonces, formar un concepto se refiere a tener una idea abstracta y general que permite pensar la realidad. Los empiristas piensan que el concepto emana de la experiencia y los racionalistas que proviene de la razón. Por otro lado, a las respuestas contradictorias con los conocimientos científicos vigentes, que se suelen dar de manera rápida y segura, se repiten insistentemente y se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos, se les denomina frecuentemente errores conceptuales (EC) y las ideas que llevan a cometerlos concepciones alternativas (CA), responden a la existencia de ideas científicas muy diferentes a las que se quieren enseñar. En la literatura los (EC) se conocen como: conceptos erróneos, nociones ingenuas, nociones pre-científicas, etc.

En nuestro estudio nos referimos a los EC sobre fuerza, sabemos que no es sencillo facilitarle al estudiante la adquisición de esquemas mentales certeros al respecto. No existe estrategia alguna de enseñanza que lo pueda impedir por completo. Es importante señalar que intervienen el método de estudio, el estado de ánimo y las circunstancias. El reto es ayudar al docente de manera directa o indirecta, para que sus estudiantes (y ellos mismos) tengan las herramientas necesarias para construir sus esquemas personales en el plano conceptual y mejoren su competencia cognoscitiva.

Aún cuando se realizan actividades prácticas para ilustrar el concepto de fuerza, muchos estudiantes no llegan a construir esquemas conceptuales y proposicionales correspondientes a lo que se considera aceptable por los científicos. Es probable que la existencia de EC dependa de falta de madurez, déficit de atención, baja inteligencia congénita, circunstancias o de la calidad del programa de enseñanza, los intentos de explicación de la existencia de éstos apuntan básicamente a varias causas, relacionadas entre sí:

a) Los “errores” constituyen ideas espontáneas o pre-concepciones que los alumnos ya tienen como un aprendizaje previo.

b) La transmisión del conocimiento se pone en duda y evita una recepción significativa del mismo; es decir, que realmente el alumno utilice las herramientas de enseñanza-aprendizaje para lograr el aprendizaje significativo.

c) Existe la hipótesis de una perspectiva epistemológica evolutivo-constructivista⁵ donde se habla de favorecer la evolución del concepto de fuerza.

d) En la gran mayoría de los textos de física:

▪ No se incluyen actividades que permitan poner de

manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de la fuerza.

▪ No se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca del concepto.

Para lograr un esquema conceptual correcto, no se puede pedir a los estudiantes que descarten los EC y los sustituyan por la definición admitida, es indispensable reconocer que el aprendizaje mecánico no es eficaz para reestructurar esquemas cognoscitivos preexistentes, la reestructuración conceptual conduce a suprimir los EC y a sustituirlos con conceptos válidos.

Tanto la existencia de los EC como la de las CA que llevan a los alumnos a cometer esos errores, es algo que ya se conocía desde hace mucho tiempo, Bachelard⁶ señalaba “*me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias, más aún que los demás si cabe, no entienden que no se comprenda. No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana*”.

Es prudente señalar que dentro del proceso enseñanza-aprendizaje, el estudiante promedio muestra apatía, sumisión intelectual, resistencia al desarrollo de trabajos y tareas de investigación, dificultades para razonar, su lectura de comprensión sólo funciona en niveles de complejidad muy bajos y tiende a hacer trampa en los exámenes.

2.2 Errores conceptuales sobre fuerza. El concepto de *fuerza* -después del concepto de energía-, es uno de los conocimientos básicos en el estudio de la física clásica. Las fuerzas y las leyes que las describen junto con los principios de conservación del ímpetu y de la energía forman el marco teórico fundamental de la mecánica y sus aplicaciones en otras áreas del conocimiento científico. Sin embargo, indagaciones han mostrado que gran parte de los estudiantes llega al nivel superior con un buen número de EC acerca de la fuerza y de conceptos relacionados con ellas⁷. Un marco interpretativo de las concepciones de fuerza debe ser capaz de responder a preguntas como: ¿de dónde proceden?, ¿por qué unas son más persistentes que otras?, ¿sobre qué factores hay que incidir para favorecer un cambio conceptual?, ¿en qué momento?⁸ Solano y otros^{9,10}, adoptan un paralelismo entre las ideas históricas del concepto de fuerza y las de los estudiantes en donde involucra la Física de la Fuerza Impulsa (FFI)¹¹. Esta visión histórica evolutiva consiste en considerar un “salto” de la física aristotélica (más relacionada con el conocimiento cotidiano) hacia la física Newtoniana (conocimiento científico). En el artículo de Harres¹² se mencionan los niveles de evolución histórica de las ideas sobre fuerza y movimiento y sus características como: aristotélica, medieval inicial, medieval mixta, medieval preinercial e inercial. Se le llaman “*concepciones intermedias*” a todas aque-

llas ideas de los alumnos situadas evolutivamente entre estos dos extremos.

Eckstein y Shemesh¹³ realizaron estudios sobre el contexto de los conocimientos previos o concepciones alternativas de sentido común y contrastaron una convergencia entre el pensamiento de los estudiantes y el pensamiento científico actual¹⁴.

2.3 Examen diagnóstico. El examen diagnóstico sirve para detectar los EC y CA sobre fuerza y las ideas alternativas que llevan a cometerlos. Se requiere del diseño de estrategias para detectar y clasificar EC y CA con que los estudiantes llegan para descubrir los conocimientos o creencias que pueden obstruir o bloquear el aprendizaje, ya que el mayor obstáculo para ello no es la falta de conocimientos previos (preconceptos), sino la existencia de ellos. Para los estudiantes (y profesores) es más difícil “desaprender” un conocimiento incorrecto o incompleto que dominar un conocimiento nuevo, por lo que es importante descubrir, cuales son los preconceptos y EC que más probabilidades tienen de interferir con su aprendizaje. Las estrategias deberán diseñarse para revelar casos específicos de conocimiento incompleto o incorrecto, y actitudes o valores que puedan representar barreras para el aprendizaje. Para derribar los EC es necesario primero identificarlos, para ello se proponen las siguientes estrategias:

- Realización de examen diagnóstico al inicio del curso mediante una lluvia de ideas, un proyecto de investigación, ejercicios de aplicación, entrevistas clínicas, en las que se pide al alumno su opinión respecto de un problema determinado sobre fuerza, se le muestran dibujos que representan situaciones o fenómenos para que los comente, etc. Éste examen permite medir algún tipo de conocimiento, no es de acreditación, sino para identificar los EC.
- Identificar y clasificar los EC de acuerdo a alguna taxonomía.
- Clasificar los errores conceptuales de fuerza por grupos, incidencia, etc.
- Realizar un análisis e interpretación de resultados mediante la aplicación de técnicas estadísticas adecuadas.
- Los resultados del examen diagnóstico hablarán del grado de dificultad de cada reactivo con base en el número de respuestas correctas, resultado que a *posteriori* podría ser discutible y evaluable.
- Corroborar los procedimientos de análisis y retroalimentación mediante contestar las siguientes preguntas: ¿Qué preconceptos o EC tienen los alumnos sobre la fuerza que puedan interferir con el aprendizaje?, ¿en qué porcentaje están presentes?, ¿aproximadamente cuántos de los alumnos del grupo los tienen? y ¿qué tan arraigados se encuentran los EC en ellos?
- Aplicar durante el desarrollo del curso (o al final) la estrategia usada para verificar si algo ha cambiado y de qué forma lo ha hecho.

Un reactivo del examen para ejemplificar es el siguiente: Suponga que un camión de pasajeros choca de frente contra un automóvil compacto. Durante el choque:

- a) El camión aplica al auto una fuerza mayor que la que el auto aplica al camión.
- b) El auto aplica al camión una fuerza mayor que la que el camión aplica al auto.
- c) El camión aplica al auto una fuerza igual a la que el auto aplica al camión.
- d) El camión aplica una fuerza sobre el auto y el auto no aplica ninguna fuerza sobre el camión.
- e) No hay suficiente información como para poder dar una respuesta adecuada.

Este reactivo representa un problema de comprensión de la tercera ley de Newton. La respuesta correcta es el inciso (c). En comparación con el inciso (e) que es una situación típica en que la los alumnos comentan cosas como: “depende de la masa del camión” o “depende de si el auto estaba en movimiento o en reposo”, es donde inciden los EC más frecuentes.

Una vez aplicado el examen de diagnóstico se requiere del uso de las técnicas estadísticas para analizar las respuestas correctas/incorrectas y de ésta forma ayudar a los alumnos a cuestionar su propio conocimiento, sus creencias y sus actitudes, y desarrollar algún control sobre su pensamiento, lo cual representa un avance en el camino del autoaprendizaje. Sin embargo, existen algunas limitantes que no permiten a algunos profesores/alumnos reconocer la existencia de los EC y CA sobre fuerza tales como:

a) *El orgullo personal.* A nadie le gusta que le cuestionen sus EC y, sobre todo cuando estos tienen muchos años de existencia, “desaprenderlos” es un proceso difícil y en ocasiones penoso.

b) *El tiempo.* Los cambios de actitud, en ideas fundamentales y creencias toman lapsos considerables. Para muchos estudiantes, pasar de una visión aristotélica –y a veces mágica– del universo a una visión empírica y/o científica, es un proceso que requiere de más tiempo del que se dispone en un semestre.

c) *Las reformas académicas.* Para los niveles básicos son urgentes y deben poseer un seguimiento de continuidad del método de enseñanza-aprendizaje para verdaderamente lograr un aprendizaje significativo en los niveles superiores utilizando el básico como un puente.

Para que se den las condiciones para corregir los EC y las CA, Kuhn y Lakatos¹⁵ nos dicen que a pesar de que existan las condiciones para un cambio conceptual, hay condiciones que aparentemente comunes en la mayoría de los casos:

a) *Debe existir una insatisfacción con las concepciones existentes.* Es improbable que científicos y alumnos hagan cambios radicales en sus conceptos a menos que perciban que pequeñas mudanzas no funcionan más.

b) *Una nueva concepción debe ser inteligible.* El individuo debe ser capaz de entender el nuevo concepto lo suficiente para explorar sus posibilidades.

c) *Una nueva concepción debe parecer inicialmente plausible.* Cualquier nuevo concepto adoptado debe por lo menos parecer tener la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores.

d) *Una nueva concepción debe sugerir la posibilidad*

de un programa de investigación fructífero. El nuevo concepto debe tener el potencial de ser extendido a otras áreas, de abrir nuevas posibilidades.

2.4 El inventario del concepto de fuerza. El Inventario del Concepto de Fuerza (ICF) es un examen diagnóstico de opción múltiple desarrollado por Halloun, Hestenes, Wells y Swakhammer¹⁶, diseñado para monitorear los conceptos sobre fuerza y movimiento (mecánica newtoniana) de los alumnos, es una herramienta muy poderosa para la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica. Hestenes and Halloun¹⁷, comentan que está “*diseñado para formar un juicio para comprender los conceptos básicos de la física Newtoniana. Puede ser usado con varios propósitos, el principal es para evaluar la efectividad de la instrucción*”. Los resultados de los ICF están tomados de las respuestas de los estudiantes mediante un examen de diagnóstico aplicado al principio y al final de un curso, reflejan las creencias y sentido común de los mismos. Los estudiantes tienden a incrementar el porcentaje de respuestas correctas en el examen final y su ganancia se mide mediante la fórmula:

$$G = \frac{\%Examen\ final - \%Examen\ inicial}{100 - \%Examen\ inicial}$$

3 Discusión

La investigación sobre errores conceptuales y concepciones alternativas sobre fuerza tiene objetivos tales como indagar sobre ¿cómo se realiza la interacción entre el conocimiento previo de la fuerza y el nuevo conocimiento?, ¿por qué persiste el conocimiento previo?, ¿cómo cambiar los EC y las CA sobre fuerza por concepciones aceptadas en el contexto científico?, ¿cómo ocurre el cambio conceptual?, ¿cómo afectan éstos EC y CA la educación?

Los EC y CA afectan la mayoría de los campos científicos, obstaculizando el aprendizaje y la aplicación de los conceptos en la vida profesional y cotidiana. Podemos mencionar las siguientes características de los mismos¹⁸:

- Se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos que los contradicen.
- Se hallan asociados con frecuencia a una determinada interpretación sobre un concepto científico dado (gravedad, fuerza, ímpetu, etc.) diferente a la aceptada por la comunidad científica.
- Son respuestas que se suelen dar rápido y sin dudar, pensando en que son correctas.

Los autores en una perspectiva actual consideran que las ideas de los alumnos tienen implicaciones didácticas importantes, ya que cuando se examinan sus ideas sobre fuerza y movimiento, el sentido común posee una justificación diferente a la aristotélica.

Actualmente existen diversas herramientas (ICF) de evaluación que permiten analizar los EC y sus CA para poder ofrecer una mejor alternativa al proceso de enseñanza – aprendizaje.

4 Conclusiones

En este trabajo se ha recopilado y analizado información acerca de los EC y CA sobre fuerza que llevan a ellos. El problema de los errores conceptuales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, sigue siendo una línea de investigación en didáctica de la física, como lo demuestra la gran cantidad de estudios que se siguen realizando alrededor de estos temas, éstos errores tiene una fuerte implicación educativa, ya que el concepto de fuerza contribuye a asimilar los contenidos de la mecánica y éstos pasan a formar base de los conceptos de la física clásica en general.

El origen de las ideas alternativas sobre fuerza y su persistencia se pueden explicar en parte, si consideramos el papel determinante que tienen las experiencias físicas cotidianas, el lenguaje común y los medios de comunicación, la existencia de errores conceptuales en algunos libros de texto, una enseñanza de las ciencias inadecuada y otros aspectos de tipo metodológico. Para minimizar éstos EC es necesario profundizar la investigación alrededor del conocimiento de los profesores y alumnos y realizar una estructuración adecuada de las actividades de enseñanza. También es importante señalar que los seres humanos; de acuerdo a su formación, varía su conducta y la respuesta a los estímulos proporcionados para la adquisición de conceptos. Para el aprendizaje correcto del concepto de fuerza, la existencia de ideas alternativas afectan el concepto de la misma y se observa la necesidad de analizar, mejorar y plantear un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en un cambio conceptual y metodológico, elaborar propuestas surgidas de la investigación didáctica y en la práctica diaria del aula para evaluar virtudes y limitaciones.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado mediante el proyecto de investigación SIP-20071481 del Instituto Politécnico Nacional, y por la Cátedra de Investigación “Tecnología Informática para la Investigación Educativa y la Enseñanza de la Mecánica” de la FES-Cuautitlán UNAM a cargo de Y. Benítez., C. Mora es becario EDI-IPN, COFAA-IPN y del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.

Referencias

- N. Sanjay. Am. J. Phys. Vol. 72, No. 1, pp. 35 (2004).
- R. Driver. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 4, No. 1, pp. 3. (1986).
- I. Solano, E. Jiménez, E. Marín. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 2, No. 18, pp. 309. (2000).
- Microsoft Corporation. Microsoft Encarta. Diccionario. (2005).
- R. Porlán y J. B. S. Harres. Investigación en la Escuela, Vol. 39, pp. 17-26. (1999).
- G. Bachelard. La formation de l'esprit scientifique. París. Paper. (1938).

7. A. Lara. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad Panamericana. Campus Guadalajara. Tesis. (2006).
8. A. Berranoch. Enseñanza de las ciencias. Vol. 19, No. 1, pp. 123. (2001).
9. I. Solano, E. Jiménez, N. Marín. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 15, No. 3, pp. 309-328. (1997).
10. I. Solano, E. Jiménez, N. Marín. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 18, No. 2, pp. 171-188. (2000).
11. L. Peduzzi, y A. Zylberstajn. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 15, No. 3, pp. 351-359. (1997).
12. J. B. S. Harres. Centro Universitário Univates. Brasil. Enseñanza de las Ciencias. Número extra. VII Congreso. (2005).
13. S. G. Eckstein, y M. Shemesh. Journal of research in science teaching. Vol. 30, No. 1, pp. 45-64. (1993).
14. D. Twigger, *et al.* International Journal of Science Education, Vol. 16, No. 2, pp. 215-229. (1994).
15. M. A. Moreira e I. M. Greca. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. Instituto de Física – UFRGS. Campus do Vale. pp 4. (2006).
16. V. P. Coletta and J. A. Phillips. Am. J. Phys. Vol. 73, No. 12, (2005).
17. I. Halloun and D. Hestenes. Am. J. Phys. Vol. 53. pp. 1056. (1985).
18. A. Carrascosa. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Vol. 2, No. 2, pp. 183. (2005).