

LA FÍSICA DE LA FUERZA IMPRESA COMO REFERENTE PARA LA EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS

HARRES, J. B. S.

Centro Universitário Univates, Brasil.

Palabras clave: Ideas de los alumnos; Evolución conceptual; Auto-evaluación.

INTRODUCCIÓN

Para superar el hecho de que muchas propuestas para evolución de las ideas de los alumnos fracasan por considerar el conocimiento científico como un conocimiento jerárquicamente superior a cualquier otro, especialmente al conocimiento cotidiano (Porlán y Rivero, 1998), en este trabajo se parte de la hipótesis de que una perspectiva epistemológica evolutivo-constructivista (Porlán y Harres, 1999) puede favorecer dicho proceso.

En el caso de las ideas de los estudiantes sobre fuerza y movimiento, Solano y otros (1997 y 2000), en su amplia revisión de investigaciones, constatan que la mayoría de las investigaciones es *marcadamente descriptiva y realiza la búsqueda de información exclusivamente determinada por el propio contenido objeto de investigación* (p.246). Las ideas de los alumnos son analizadas solamente con relación al conocimiento científico vigente, es decir, si son, respecto a él, “ciertas” o “falsas”.

Concretamente, se adopta un paralelismo entre las ideas históricas y las de los estudiantes en una perspectiva, rara en trabajos de investigación (Solano y otros, 1997 y 2000) en que el “salto” de la física aristotélica a la física newtoniana no es “cuántico” y si que involucra fuertemente la Física de la Fuerza Impresa – FFI (Peduzzi y Zylberstajn, 1997). El contexto de esta investigación es una asignatura de introducción a la mecánica para futuros maestros de matemáticas, física y química estructurada para desarrollar la responsabilidad por el propio aprendizaje y el desarrollo de la capacidad de *aprender a aprender*. Concretamente, se trabaja para la aceptación de las leyes de Newton como la concepción más avanzada para interpretar las situaciones cotidianas, pero nadie es suspendido si al final presenta, por ejemplo, la visión aristotélica sobre fuerza y movimiento. La tarea del profesor en ese contexto no es de juez del conocimiento de los alumnos. Durante las clases se espera que los alumnos expongan, analicen y hagan un acompañamiento de sus propias ideas sin sentirse presionados por tener que presentar “la” respuesta que el profesor espera.

Otra estrategia es partir siempre de una reflexión individual sobre los conceptos implicados y después contrastar las ideas explicitadas en pequeño y gran grupo en actividades como experimentos, lecturas de libros, análisis de episodios de la historia de la ciencia y búsqueda de otras fuentes de conocimiento.

Así, en el primer día de clase se solicita a los alumnos que respondan al cuestionario mostrado en el recuadro 1.

Atividade 1 – Nuestras ideas iniciales sobre fuerza y movimiento:

- Lo que piensas tu quando se dice que un cuerpo está en movimiento?
- Lo que es necesario para poner un cuerpo en movimiento?
- Lo que es necesario para mantener un cuerpo en movimiento?
- Estando en movimiento, los cuerpos, en general, tenden a parar o a mantenerse en movimiento?
- Cómo tu explicas el echo de que una pelota de futbol lanzada mantiene su movimiento a pesar de no haber mas contacto con el pie del jugador?

RECUADRO 1

La primera actividad sobre fuerza y movimiento

Después, cada alumno discute con sus compañeros de grupo las ideas presentadas intentando llegar a un consenso. Esto debe hacerse sin intentar imponer una idea única al grupo y también sin eliminar ideas divergentes. Posteriormente, las ideas de los grupos son comparadas con las de toda clase.

La síntesis de las respuestas del curso aquí analizado muestra que sólo dos grupos defendieron que los cuerpos, una vez en movimiento, tienden a mantenerse en movimiento (letra d) y que una cosa mantiene el movimiento después del lanzamiento debido a un: “impulso”, “fuerza atribuida”, “fuerza del lanzamiento”, “fuerza aplicada con una cierta intensidad”, “fuerza inicial”, “energía” y “fuerza imprimada” (letra e). No queda claro, en estas manifestaciones, si la acción indicada ocurre solamente antes del lanzamiento o si continúa después de él.

Después de esa actividad, se realiza la lectura del artículo de Peduzzi (1996) y la discusión sobre la polémica teoría de la “antiperístasis” de Aristóteles. Después, cada uno hace una auto evaluación de en qué grado sus ideas estan o no de acuerdo con esa primera idea de fuerza y movimiento. La actividad siguiente está mostrada en el Recuadro 2.

Atividad 2 – Evolución de la noción de fuerza: Una persona lanza con gran velocidad una pelota en una superficie horizontal con mucho rozamiento, según muestra la figura abajo. Los puntos A, B e C indican el recorrido de la pelota después de haber sido lanzada. En el punto C la pelota está finalmente parada.



- Identifique o dibuje la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la pelota en cada una de los tres puntos según la interpretación de Aristóteles.
- Identifique o dibuje nuevamente la(s) fuerza(s) según su interpretación.

RECUADRO 2

Situación propuesta para evolución de la noción de fuerza.

Las respuestas de la letra (a) sirven como parámetro de hasta que punto los estudiantes han comprendido la concepción aristotélica, lo que indirectamente puede indicar su capacidad de proponer alternativas. Las respuestas mostraron que la gran mayoría (80% aproximadamente) parece haber comprendido la concepción aristotélica para este caso.

Las respuestas de la letra (b) fueron analizadas según una perspectiva epistemológica evolutiva del conocimiento científico (Toulmin, 1977) y una concepción constructivista de la aprendizaje (Porlán, 1993), contrastándose el desarrollo histórico de la dinámica con una posible evolución de las ideas de los alumnos. Así, la escala mostrada en la Tabala 1 y discutida en Harres (2002) sirve de acompañamiento para la auto

evaluación de los alumnos a lo largo de toda la asignatura. En la Tabla 1 se presenta también la frecuencia inicial de sujetos a lo largo de la escala.

TABLA 1
Niveles de evolución de las ideas sobre fuerza y movimiento y frecuencias iniciales de sujetos

<i>Nivel</i>	<i>Concepción</i>	<i>Característica</i>	<i>Frecuencia Inicial</i>
1	Aristotélica	El reposo es el estado natural de los cuerpos. La fuerza del aire ("antiperistasis") mantiene el movimiento por algún tiempo después del lanzamiento. La gravedad y el rozamiento hacen que los cuerpos finalmente paren.	1
2	Medieval Inicial	La fuerza impresa, que mantiene el movimiento, disminuye naturalmente.	4
3	Medieval Mixta	La fuerza impresa es disminuye por la acción del rozamiento.	9
4	Medieval Pré-Inercial	La fuerza impresa y el rozamiento actúan.	16
5	Inercial	Los cuerpos no necesitan de fuerza para mantenerse en movimiento. Ellos paran porque una fuerza contraria actúa.	6

En el grupo de treinta y seis alumnos aquí analizado, solamente siete no expresan ideas FFI. Uno presenta una explicación próxima a la aristotélica (Nivel 1), *debido a la gravedad [el cuerpo] va perdiendo su intensidad* (sujeto 23) y seis expresan una concepción claramente newtoniana (Nivel 5), como por ejemplo, *el cuerpo para sólo debido al rozamiento* (sujeto 24) o *el cuerpo para debido al rozamiento* (sujeto 53).

En el Nivel 2 de la escala, Medieval Inicial, el estudiante se refiere sólo a factores internos al cuerpo en la explicación de su parada: *el cuerpo recibe una fuerza de impulso (almacenada) que le hace andar un cierto tiempo* (sujeto 35). En el nivel siguiente, Medieval Mixta, aparece una evolución importante por la inclusión del rozamiento en las explicaciones. Se admite que el rozamiento entre la superficie y la pelota ejerce algún papel sobre el hecho de que el cuerpo acabe parando, pero el rozamiento es considerado variable o ejerciendo algún efecto sobre la fuerza de impulso: *la fuerza del rozamiento aumenta y se iguala a la fuerza a favor, parando* (sujeto 34).

En el nivel Medieval Pré-Inercial (Nivel 4), los sujetos asignan un papel mayor al rozamiento en la extinción del movimiento. Hay una utilización implícita de elementos de la mecánica newtoniana y no son presentadas implicaciones entre el rozamiento y la fuerza impresa: *la fuerza de rozamiento es contraria al impulso haciendo parar* (sujeto 3); *la fuerza a favor y contra dejan de existir en C, donde hay sólo gravedad* (sujeto 32); *ha sido aplicada una fuerza y debido al rozamiento el cuerpo paró* (sujeto 30).

ESTRATEGIAS PARA LA EVOLUCIÓN CONCEPTUAL

Conocida la situación inicial de las ideas de los alumnos, se realiza una serie de actividades buscando a la evolución conceptual: construcción de un disco- flotador como una situación de rozamiento (casi) cero; análisis de movimientos rápidos en superficies lisas a través de fotografías estroboscópicas; otras actividades prácticas como tirar un cuaderno con una ballesta en dos situaciones: cuaderno sobre el pupitre y cuaderno apoyado en lápiz para verificar la diferencia de la fuerza necesaria para mantenerlo en movimiento; lecturas de textos - síntesis sobre la historia del concepto de fuerza y investigaciones en libros didácticos, revistas, internet y otras fuentes. Durante estas actividades, la discusión se conduce siempre

hacia la cuestión más importante, esto es, si los cuerpos tienen la tendencia de mantenerse en movimiento o de pararse.

Didácticamente se intenta seguir el curso histórico de las discusiones. Después de la lectura de las ideas de Aristóteles, como la mayor parte de los alumnos presentan ideas que se identifican mucho con la FFI, se analizan las diversas propuestas elaboradas durante la Edad Media. Tal como en este período, la confusión entre conceptos es grande. Las palabras velocidad, fuerza energía, impulso, movimiento y aceleración se utilizan indistintamente para “algo que sigue con el cuerpo”. Tal como en el desarrollo histórico, la evolución desde la mecánica medieval va a requerir un lenguaje preciso que distinga estos conceptos y incluya el concepto de *variación*, ya que la fuerza se relaciona con la variación de velocidad.

Además, por detrás de la aceptación del principio de inercia parece haber dos obstáculos: concebir un mundo no estático y no creer en la existencia del vacío. También Aristóteles, anticipando implícitamente el Principio de Inercia, defendía que el vacío no podría existir pues “de lo contrario ¿dónde pararían los cuerpos una vez en movimiento?” Para él, todo movimiento siempre encontraría cierta resistencia (Neves, 1999). Estos dos temas, la rotación de la Tierra y la existencia del vacío, son bastante discutidos en clase pues los futuros maestros sienten mucha inseguridad en relación con ellos.

EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS

En la evaluación mostrada en la Tabla 2 la frecuencia final si refiere a las ideas presentadas después del estudio de la *física de la fuerza impresa* y antes de la física inercial de Galileu y Newton, comparándola con la situación inicial.

TABLA 2
Transiciones y frecuencias de las ideas iniciales y finales

Concepción	Frecuencia inicial	Transiciones específicas	Frecuencia final
Aristotélica	1	→	0
Medieval Inicial	4	→ 1	1
Medieval Mixta	9	→ 1 → 1 → 3	5
Medieval Pré- Inercial	16	→ 2 → 5 → 8	15
Inercial	6	→ 1 → 1 → 7 → 6	15

La evolución conceptual muestra un incremento en el nivel final deseable coherente con la idea inercial. También se nota que, con excepción de una, todas las transiciones ocurren hacia a ideas más avanzadas sobre fuerza y movimiento.

Los extractos de auto evaluación que se presentan a continuación son ejemplos de cómo los alumnos registran sus reflexiones en los materiales individuales recogidos después de las actividades:

Después de debatir con los compañeros (...) vi que la pelota no para en las posiciones A,B o C, o sea, que la velocidad será siempre constante, cuando no haya rozamiento ($a=0$). Pero yo no acepto la idea. (...) Para mí para en el final, o sea, no andará para siempre (Sujeto 2).

La opinión mía no cambió en nada (...) la tendencia es seguir andando (...) hasta encontrar un obstáculo para parar (...) porque la fuerza que fue lanzada junto con la pelota hace que ande sin parar. Sólo dejaré de pensar así si me prueban lo contrario (Sujeto 36).

Cuando respondí esta pregunta, creía que la fuerza iba con la pelota y que mantenía el movimiento, por eso creía que el rozamiento resistía a la fuerza haciéndola cesar y consecuentemente parar a la pelota. Hoy, no creo que la fuerza vaya con la pelota, pero sí que “sólo” pone a la pelota en movimiento (Sujeto 15).

CONSIDERACIONES FINALES

En general, las explicaciones iniciales para la mayor parte de los estudiantes en el caso de un cuerpo que se mueve después de ser lanzado son muy semejantes a aquellas sintetizadas por la Física de la Fuerza Impresa – FFI. En este sentido, la escala de las ideas sobre fuerza y movimiento se mostró fructífera para caracterizar la evolución del conocimiento de los estudiantes (futuros profesores). La postura didáctica constructivista y epistemológicamente no absolutista (en términos de los contenidos, la metodología y la evaluación), también se mostró útil para ampliar la visión sobre el problema del aprendizaje de los conceptos científicos. Como sugieren Solano y otros (1997) para minimizar el permanente fracaso registrado en el aprendizaje sobre fuerza y movimiento es necesario trabajar no sólo en el ámbito de la investigación del conocimiento de los estudiantes sino también en el de la estructuración de las actividades de enseñanza. El problema es más grave aún en el ámbito de la formación de profesores pues, como este trabajo confirma, los futuros profesores inician su formación en el mismo nivel de evolución que sus futuros alumnos.

REFERENCIAS

- HARRES, J.B.S. (2002). *Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento*. Burgos: I Encuentro Iberoamericano sobre Investigación en Educación en Ciencias.
- NEVES, M.C.D. (1999). *Memórias do invisível. Uma reflexão sobre a história no ensino de física e a ética da ciência*. Maringá: Editora L.C.V.
- PEDUZZI, L. (1996). A física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 13(1), pp. 48-63.
- PEDUZZI, L e ZYLBERSTAJN, A. (1997). La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 15(3), pp. 351-359.
- PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y escuela*. Sevilla: Díada.
- PORLÁN, R. y HARRES, J.B.S. (1999). La epistemología evolucionista de Stephen Toulmin y la enseñanza de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, Vol. 39, pp. 17-26.
- PORLÁN, R. y RIVERO, A. (1998). *El conocimiento de los profesores. El caso del área de ciencias*. Sevilla: Díada.
- SOLANO, I.; JIMÉNEZ, E.; MARÍN, N. (1997). Estudio de la progresión en la delimitación de las “ideas” del alumno sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 15(3), pp. 309-328.
- SOLANO, I.; JIMÉNEZ, E.; MARÍN, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno sabe” sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 18(2), pp. 171-188.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. Vol. 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.