

Nombre y apellidos / NIF: Diego Petrucci

Datos profesionales: Profesor Adjunto de Matemática A (Facultad de Ingeniería, U. Nacional de La Plata, Argentina).

Dirección particular: Calle 13 N° 184 Villa Elisa - B1984AYC. Argentina.

Dirección profesional: Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas, UNLP. Calles 1 y 47, La Plata - 1900, Argentina.

Dirección electrónica: diegope@gmail.com

Teléfonos de contacto (particular y profesional): +54 221 440 0354

Nombre y apellidos / NIF: Osvaldo Mario Cappannini

Datos profesionales: Investigador Adjunto (CONICET) y Profesor Titular (Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, U. Nacional de La Plata, Argentina).

Dirección particular: Calle 28 N° 468 La Plata 1900, Argentina.

Dirección profesional: IFLYSIB (CONICET-UNLP), Calle 59 N° 789, La Plata 1900, Argentina y Facultad de Ciencias Exactas (UNLP), Calles 1 y 49, La Plata 1900, Argentina.

Dirección electrónica: omcappa@gmail.com

Teléfonos de contacto (particular y profesional): 0221 604 2914

Propuesta fundamentada de actividades para la enseñanza de la mecánica newtoniana

Resumen

Abordar el movimiento de objetos implica una pugna por distinguir conceptos disciplinares de usos coloquiales. Así, aparecen como obstáculos confundir posición con velocidad, no considerarlas magnitudes vectoriales, etc. Proponemos introducir la mecánica newtoniana partiendo de nociones cinemáticas y de herramientas metodológicas, de modo compatible con el cambio conceptual como integración jerárquica y concibiendo a las teorías como estructuras.

Palabras clave: Nociones alternativas, Mecánica newtoniana, Propuesta para el aula.

Introducción

Es habitual que los estudiantes presenten dificultades para deslindar conceptos cinemáticos disciplinares de su uso coloquial: confunden posición y velocidad o esta con aceleración, no las consideran magnitudes vectoriales o no las refieren a marcos de referencia (MR) o sistemas de coordenadas (SC). Asimismo, el implícito es que el movimiento se refiere al piso o suelo y es absoluto: todo objeto puede estar en sólo dos estados, movimiento o reposo. La imposición de ecuaciones descriptivas de movimientos idealizados con aceleración constante aporta un contexto aún menos favorable para comprender la mecánica newtoniana, que no es intuitiva ni sencilla de aplicar a situaciones cotidianas. Es un marco teórico cuya concepción del espacio y del tiempo cimientan una estructura conceptual sobre el movimiento, surgida de los *Principia Mathematica* y aplicable al mesocosmos. **Planteamos que los movimientos idealizados se estudien posteriores a la presentación de la mecánica, como aplicaciones en un recorrido apoyado inicialmente en las ideas coloquiales, tanto conceptuales como metodológicas sobre el movimiento.** Proponemos la realización de experiencias que aporten a estudiantes de 16 a 18 años representaciones y preguntas sobre el movimiento, que antecedan a una presentación de la mecánica newtoniana que pueda ser comprendida significativamente, que integre la cinemática pero la diferencie funcionalmente de las nociones coloquiales sobre el movimiento y sus causas.

La secuencia propuesta se resume en:

1. Modelización de un objeto de estudio (OE) como partícula. MR y SC a nivel conceptual.
2. Posición como identificación de “lugar”. Vinculación con entorno, MR, SC, OE y su modelo. Desplazamiento como cambio de posición, su carácter vectorial y la distinción con distancia, trayectoria y longitud de trayectoria.
3. Velocidad, partiendo de desplazamiento y aceleración como cambio de velocidad, ambas como magnitudes vectoriales, tratando a los vectores en el plano como duplas ordenadas: $\vec{v} = \langle v_x, v_y \rangle$.
4. “Puente” entre cinemática y dinámica caracterizando a la velocidad como la variable que permite identificar el “estado cinemático” del OE.

5. Experiencias con esferas.
6. Exposición docente del marco teórico de la mecánica newtoniana.
7. Abordaje de problemas relacionando las interacciones con el movimiento de un único OE, empezando por los más conceptuales.
8. Tratamiento de problemas con múltiples objetos.
9. Realización de actividades de aplicación crecientemente cuantitativas.

En este trabajo se describirán las actividades relacionadas con los apartados 4, 5 y 6.

Actividades propuestas

En los tres primeros apartados de la secuencia los estudiantes se han familiarizado con los contenidos conceptuales y metodológicos básicos de la cinemática desde la idea coloquial de “lugar” (ubicación de un objeto en el aula) y sus implícitos metodológicos: el OE (eso macroscópico cuyo “lugar” interesa especificar) y su modelización (Petrucci, 2014), los MR posibles y el entorno como los objetos que lo rodean. Después que las nociones de posición y desplazamiento (cambio de “lugar”) han sido abordadas y referidas a algún objeto del entorno elegido como MR (por ejemplo, el piso o suelo) se puede introducir la idea de SC como una abstracción útil para determinar medidas. Esto permite expresar posición y desplazamiento como magnitudes vectoriales, definir las restantes nociones y discutir velocidad y aceleración como cambios de posición y velocidad en relación al tiempo respectivamente.

4. El “puente”

Propósitos: *Debatir la relatividad del movimiento y el concepto de marco de referencia.*

Momento 1 (10 min): Se proyecta un fragmento de 20 s de la película *Top Secret!* (fig. 1), empezando en el minuto 11, en la escena de la estación, desde que suena el silbato hasta antes que deje de verse el andén. Luego se pide que contesten individualmente: **a)** ¿Se mueve el tren? **b)** ¿en qué te basas para dar tu respuesta?

A continuación, se vuelve a proyectar el fragmento empezando por la misma escena pero ahora prolongando 14 s, hasta después de aparecer el andén móvil. Se vuelve a pedir que contesten individualmente a las mismas preguntas pero este vez se les ofrecen preguntas adicionales para justificar su respuesta: ¿cómo sabemos que un cierto objeto se mueve?, ¿cómo determinamos ese movimiento?

Momento 2 (10 m): En los grupos de estudiantes, cada uno cuenta qué respondió. Debatir hasta llegar a consensos o acordar disensos.

Momento 3 (20 m): Con toda la clase formando una ronda, un representante de cada grupo cuenta las conclusiones del grupo. El docente coordina, sin intervenir.

Momento 4 (10 m): Exposición docente de cierre.

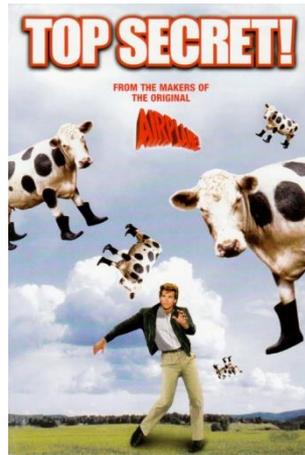


Figura 1. Cartel de la película *Top Secret!*

Durante la ronda (momento 3) se busca afianzar la idea del movimiento relativo a un MR y descartar la existencia de estados absolutos. La solicitud de argumentos para las cuestiones planteadas en los momentos 1 y 2 conduce a ello.

En el momento 4, el docente inicia preguntado acerca de similitudes y diferencias de lo respondido por los grupos apuntando a la relatividad del movimiento y a su caracterización con la velocidad. Resulta importante concluir identificando que el vector velocidad es una variable específica del “estado cinemático” del OE en relación a un MR y SC explicitados (por ejemplo, que reposo implica velocidad nula respecto de algún MR) y que cambio de velocidad implica cambio de estado.

5. Experiencias con esferas

En este apartado se plantean cinco experiencias. Las tres primeras se realizan en grupos de 4 o 5 alumnos mientras que las otras dos se hacen con toda la clase en ronda. Se requiere responder utilizando los conceptos vistos en cinemática, sin usar términos no definidos en ese marco.

Cada grupo debe disponer de cinco esferas (los diámetros no son relevantes, pueden variar de 1 a 20 cm) como las presentadas en la Figura 2:

- 2 esferas de madera (o material más denso que el poliestireno)
- 2 esferas de poliestireno expandido, de distinto color entre sí e igual tamaño que las anteriores
- 1 esfera de poliestireno de mayor diámetro, preferentemente el doble

Experiencia I

Se trabaja sobre una superficie horizontal (piso o mesa). Cada grupo debe elegir un **operador** con buena puntería y un **observador** que irá registrando los resultados. Se toma una esfera de madera, que se llamará **blanco** y se coloca a una distancia de 10 diámetros aproximadamente del operador. El resto del grupo se dispone de modo que pueda observar la experiencia sin cortar la trayectoria (ver Figura 3).

1. Definir cuáles son los objetos de estudio y el marco de referencia.
2. Tirar al blanco con una esfera de poliestireno de igual tamaño.
3. Tirar al blanco con la misma velocidad con una esfera de iguales características pero de madera.

4. Tirar al blanco con la misma velocidad con una esfera de poliestireno más grande. Los estudiantes deben escribir las respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué pasa con el blanco en cada uno de los casos? ¿Qué pasa con los proyectiles en cada uno de los casos?

Experiencia II

1. En las mismas condiciones de experimentación:
 - a. Tirar con poca velocidad y pegarle al blanco con una esfera de poliestireno del mismo tamaño que el blanco.
 - b. Repetir dándole mayor velocidad al proyectil.
 - c. Repetir con velocidad intermedia y errarle al blanco.
2. Repetir el punto 1 usando como proyectil la esfera de poliestireno más grande.
3. Repetir el punto 1 usando como proyectil una esfera igual al blanco.

Los estudiantes deben escribir las respuestas a las siguientes preguntas referidas al blanco: ¿En qué casos se mueve? ¿Se mueve siempre igual? Cuando no se mueve, ¿a qué se debe? ¿Qué pasa en cada caso?

Experiencia III

Repetir la experiencia II cambiando primero los colores de los proyectiles, luego roles de los integrantes del grupo, luego la ubicación del observador, manteniendo las demás condiciones. Los estudiantes deben escribir las respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué diferencias se aprecian al modificar los colores? ¿Y al cambiar de operadores y observadores? ¿Y al cambiar la ubicación del observador?

Experiencia IV

La clase forma una ronda, el docente coordina.

1. Colocar una esfera en reposo en el piso. ¿Qué ocurre? El docente solicita a los alumnos que describan el estado de movimiento de la esfera.
2. Hacer rodar la esfera. Durante su desplazamiento ¿varía la dirección y/o el sentido del movimiento? ¿Por qué en algún momento se detiene?

Experiencia V

Aun en ronda, se solicita un voluntario/a para patear esferas descalzo/a.

1. Colocar una esfera de poliestireno en el piso y patearla violentamente. ¿Qué ocurre?
2. Colocar una esfera de madera en el piso y preguntar si la patearían violentamente.

¿Qué pasa en ambos casos? ¿Es lo mismo? ¿Por qué?

6. Exposición sobre el marco teórico de la mecánica newtoniana

La siguiente propuesta de exposición puede ser desarrollada en una o dos clases después de realizar las experiencias.

El docente inicia su exposición partiendo de las respuestas de los estudiantes (que permiten evaluar la incorporación de contenidos cinemáticos conceptuales y metodológicos) **y afianza aquello que da pie a la presentación teórica** que sigue:

a) En caso en que no se explicitaran, pregunta cuál ha sido el OE considerado en cada caso, su modelización y el MR utilizado.

b) Establece que en todas las experiencias, en ausencia de interacciones (choques) con otros objetos, los OE tienen velocidades aproximadamente constantes. Define que los MR desde los cuáles esto ocurre se denominan inerciales. También enfatiza en que se pueden identificar estados y cambios de estado de cada OE.

c) Luego propone analizar los choques interpretando las interacciones entre objetos a partir de situaciones en las que hay cambios de velocidad (experiencias I y II). Se centra en identificar las variables relevantes identificadas en las experiencias (experiencia III). Establece que una de ellas en estas interacciones es la *masa*, definida genéricamente como la cantidad de materia. La experiencia IV permite retomar la idea de reposo y relacionar los cambios de estado con interacciones del OE con objetos del entorno.

d) **Propone definir una nueva magnitud que identifique el estado dinámico de un OE, cuyos cambios de estado se asocien a interacciones del OE con otros objetos del entorno.** Define la cantidad de movimiento (\mathbf{p}), como la magnitud vectorial resultante del producto entre la masa y la velocidad de un OE. La \mathbf{p} de un OE aislado se mantiene constante cuando el MR es inercial: se dice que el OE está, además, en equilibrio. Define que la \mathbf{p} de dos OE es la suma de la \mathbf{p} de cada uno estableciendo que la \mathbf{p} de dos OE se mantiene constante cuando sólo interactúan entre ellos. La comprensión de estas cuestiones sienta las bases para presentar las tres leyes de la mecánica newtoniana.

e) Luego expone las leyes: 1. Desde un MR inercial, un OE aislado mantiene su \mathbf{p} constante. 2. Cuando dos OE interactúan cada uno realiza una acción sobre el otro. Centrándose en un OE, el conjunto de acciones de otros objetos sobre él puede modificar su estado de movimiento. A la acción se la denomina Fuerza y el cambio de estado de movimiento del OE es el producto de la masa por la aceleración (si la masa es constante): $\vec{R} = m \cdot \vec{a}$, donde \vec{R} es la suma vectorial del conjunto de fuerzas. 3. Las fuerzas, al ser producto de interacciones, aparecen de a pares, es decir cada fuerza es ejercida por un OE sobre otro OE. Estos pares de fuerzas son iguales y opuestos.

f) Discute la modelización de distintas fuerzas junto con discusión acerca de diferentes SC y descomposición de las mismas.

Discusión

Desde el punto de vista de psicología del aprendizaje, **la propuesta es coherente con una visión del cambio conceptual como integración jerárquica** (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Una estructura conceptual integra las concepciones cotidianas y las científicas, aunque estas últimas “explican” a las primeras, tarea que el docente debe ir realizando en las clases posteriores, al aplicar las concepciones newtonianas. Para propiciar la construcción de los esquemas cognitivos científicos que funcionen separadamente de los esquemas cotidianos es esencial no utilizar términos con significado cotidiano durante el desarrollo de las actividades.

Desde el punto de vista epistemológico, **la propuesta es compatible con la visión de la mecánica clásica como un marco teórico, es decir las teorías como estructuras** (Chalmers, 1988), compatible con visiones como la de Kuhn, Lakatos, Toulmin. En este sentido comprender el universo newtoniano implica un cambio conceptual, metodológico y ontológico.

Si pretendemos que los estudiantes aprecien a la Física, es preciso enfocar la enseñanza en los conceptos centrales del tema (velocidad, aceleración, relatividad del movimiento, fuerzas como representación de interacciones, conservación de la cantidad de movimiento y equilibrio) y en lo metodológico: OE, modelo de partícula, entorno, MR y SC.

Referencias

Chalmers, A. F. (1988): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Buenos Aires. Siglo XXI.

Petrucci, D. (2014): "Herramientas metodológicas para aprender ciencias naturales". *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 5(2), pp. 1-37.

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998): *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid. Morata.