



¿Qué y cómo enseñar sobre el movimiento?

Jordi Solbes

Universidad de Valencia

Este artículo muestra la importancia en la enseñanza de la cinemática del qué se enseña y cuándo, desde la ESO al bachillerato. Así mismo, se presentan también las dificultades que tiene el alumnado para comprender los conceptos propios de esta materia. Para superarlas, se proponen experimentos de fácil realización y actividades CTS (Ciencia-Técnica-Sociedad) basadas en la ciencia forense aplicada a los accidentes de tráfico.

PALABRAS CLAVE

- CINEMÁTICA
- FÍSICA
- EXPERIMENTACIÓN
- PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
- CTS

EL ESTUDIO DEL MOVIMIENTO EN ESO Y BACHILLERATO

La importancia del estudio del movimiento está muy asumida por el profesorado de física y química. En primer lugar, la cinemática es el primer tema en su formación en física, y esto no es así por razones históricas (la estática y la óptica se remontan a los griegos), sino porque los conceptos involucrados (espacio, tiempo, velocidad, aceleración) son básicos para el estudio de la mecánica y de otras partes de la física. En segundo lugar, porque los libros de física y química que utilizan para enseñarla también la ubican al principio de la parte de la física y por la reiteración con que se enseña.

En las últimas leyes educativas, incluida la LOMCE (Ley Orgánica 8/2013), la cinemática se enseña en tres cursos: 2.º y 4.º de ESO y 1.º de bachillerato. Los contenidos que aparecen en la LOMCE son:

- 2.º ESO: Velocidad media, velocidad instantánea y aceleración.
- 4.º ESO: El movimiento. Movimiento rectilíneo uniforme (MRU), rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) y circular uniforme (MCU).
- 1.º de bachillerato: Sistemas de referencia inerciales. Principio de relatividad de Galileo. Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA). Composición de los movimientos rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente acelerado. Descripción del movimiento armónico simple (MAS).

Los contenidos así expresados son muy poco específicos y nadie podría decir que son excesivos. Sin embargo, la concreción es mayor en los criterios de evaluación y ya resulta excesiva en los estándares de aprendizaje evaluables; esta concreción muestra que los contenidos son demasiados y muy

conceptuales. En 2.º de ESO, antes que abordar el estudio de la cinemática, por las dificultades que tiene el alumnado y que mostraremos a continuación, sería preferible recuperar el tema acerca de la luz y el sonido suprimido por la LOMCE, porque se realiza con facilidad con experiencias cotidianas (Lozano y Solbes, 2014), por su gran importancia en la vida (contaminación acústica, aplicaciones de espejos, la visión, lentes correctoras, etc.) y porque luego se necesita en bachillerato y no se ha impartido nada en la ESO.

Por otra parte, en la LOMCE parece olvidarse que todo movimiento es relativo a un sistema de referencia SR, y estos aparecen explícitamente por primera vez en 1.º de bachillerato. En este curso, así mismo, aparece por primera vez el MAS, aunque debería volver a la física de 2.º de bachillerato al inicio del tema de las ondas (la propia LOMCE, en el bloque 4 [Ondas] de dicha materia, en el criterio 1, dice: «Asociar el movimiento ondulatorio con el MAS»).

En esa formulación de contenidos apenas se incluyen contenidos procedimentales; solo se mencionan en un criterio de 4.º de ESO: «Elaborar e interpretar gráficas que relacionen las variables del movimiento partiendo de experiencias de laboratorio o de aplicaciones virtuales interactivas y relacionar los resultados obtenidos con las ecuaciones matemáticas que vinculan estas variables». No aparecen contenidos sobre Ciencia-Técnica-Sociedad (CTS) o de contextualización. Esta formulación



Se dice que no se puede enseñar cinemática sin vectores o derivadas, pero se enseña sin apenas experimentación



de contenidos, junto a una tradición largamente consolidada, contribuye a una enseñanza muy formalizada de la cinemática (ecuaciones en 2.º de ESO, vectores en 4.º y estos y derivadas en 1.º de bachillerato), que parece en muchos casos más un tema de matemáticas aplicadas que de física.

En resumen, se dice que no se puede enseñar cinemática sin vectores o derivadas y, sin embargo, se enseña sin apenas experimentación. Con el agravante de que en nuestro país en 1.º de bachillerato las derivadas se enseñan a final de curso, por lo que una cinemática con derivadas solo sería accesible en 2.º de bachillerato, cuando los alumnos conocen esta técnica. Además, no podemos olvidar que Galileo explicó el MRUA y la composición de movimientos sin derivadas, que idearon Newton y Leibniz a finales del siglo XVII, y sin vectores, que introdujo Gibbs a finales del XIX. Sin embargo, la clásica experiencia del plano inclinado es realizada por muy pocos estudiantes (Solbes y Tarín, 2007).

DIFICULTADES DE APRENDIZAJE

Por ello, y pese a la reiteración con que es enseñada, el alumnado tiene importantes dificultades en la comprensión del tema del movimiento, por lo que fue uno de los primeros en ser investigados en los años ochenta, cuando se iniciaba la didáctica de las ciencias (McDermott y Rosenquist, 1986).

Entre las múltiples dificultades ya investigadas, que no son ideas previas sino fruto de la escolarización, encontramos (Hierrezuelo y Montero, 1989):

- Confundir términos como no distinguir entre posición, trayectoria, desplazamiento y espacio recorrido.
- Con respecto a la velocidad: requiere que el alumnado pueda controlar simultáneamente el efecto de dos variables (de ahí las dificultades

de algunos alumnos en 2.º de ESO); es confundida con la posición; su carácter vectorial les plantea dificultades añadidas; y utilizan la expresión $v=e/t$ en el MRUA.

- Con respecto a la aceleración: se confunde con la velocidad porque no distinguen entre v e Δv , o solo consideran el Δv pero no el Δt ; confunden los signos en la aceleración, considerándola positiva cuando el objeto baja y negativa cuando sube, olvidando el carácter vectorial de la v y la a y el papel de los SR en cada movimiento (cuando dejamos caer un objeto, cuando lo lanzamos hacia arriba, etc.).
- Otras dificultades se encuentran relacionadas con la composición de movimientos, la confusión entre ecuación de movimiento y trayectoria y, sobre todo, lo complicado que les resulta aplicar conceptos teóricos a situaciones prácticas.

Una mención particular merece las dificultades del alumnado en la interpretación de gráficas $e(t)$, $v(t)$ y $a(t)$. En este sentido, encontramos los siguientes errores:

- Confundir la forma de la gráfica con la trayectoria del móvil.
- Realizar una lectura automática de la gráfica, buscando en el eje de abscisas el valor del tiempo dado en el enunciado y leyendo directamente el valor de la ordenada, independientemente de la magnitud representada en dicho eje.
- Confundir la magnitud con su incremento (calculan la velocidad dividiendo posición/tiempo, en lugar de sus incrementos $\Delta x/\Delta t$ y en la aceleración dividen velocidad/tiempo en vez de $\Delta v/\Delta t$).
- Interpretar la gráfica directamente: si es una recta horizontal, buscan respuestas en que aparezca la expresión «se mantiene constante», o si ven una recta con pendiente positiva buscan «aumenta uniformemente», sin tener

en cuenta la magnitud que aparece en el eje de ordenadas (Beichner, 1994).

Estas dificultades tienen un papel central en el análisis e interpretación de resultados de cualquier experimento científico, pero, dada la escasa presencia de los mismos en la enseñanza de la física y química en nuestro país, tal vez sea la interpretación de gráficas de cinemática la única actividad de este tipo que realizan en secundaria y, por tanto, sería muy conveniente superar las dificultades en la misma.

PROPUESTAS DIDÁCTICAS

Por supuesto, cualquier propuesta que quiera cambiar la enseñanza de la cinemática y contribuir a superar las dificultades mencionadas tendría que realizarse de un modo más físico (y menos formalista), que incluya no solo contenidos conceptuales sino los experimentales o las relaciones CTS, que escasean en la enseñanza. Un criterio de mínimos para este país sería no adelantarse al nivel de conocimientos matemáticos que tienen los estudiantes y no enseñar la cinemática en 1.º de bachillerato con derivadas.

Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Empezaremos sugiriendo actividades experimentales. Mientras permanezca vigente la ley actual hay que realizar experiencias de MRU.

Así, una bola de acero, cuya velocidad se controla con un pequeño plano inclinado, hace un recorrido de más de 1,5 m por un carril de aluminio sin apenas rozamiento. No son necesarios bancos de aire; basta con un carril de carpintería metálica. El espacio recorrido se mide con el cronómetro del móvil (con la condición de que sea el alumno que

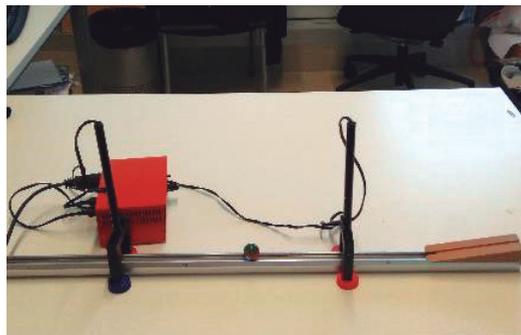


Imagen 1. MRU en carril de aluminio con fotopuertas

suelta la bola el que cronometre debido al tiempo de reacción: condición tr) o, mejor aún, con cronómetros de fotopuertas (imagen 1). Si se dispone de sensores de movimiento, se puede hacer que los alumnos y alumnas se muevan con distintos MRU ante ellos generando gráficas $e-t$, $v-t$ y $a-t$ en el ordenador, lo que les permite superar la confusión entre gráfica $e-t$ y trayectoria, entre ecuación de movimiento y movimiento (Orero, Solves y Esteve, 2018), como se mostrará con detalle en un artículo de este mismo monográfico.

También hay muchas aplicaciones informáticas en Internet sobre estos temas, que se pueden usar para complementar los experimentos, no para sustituirlos, ya que solo estos nos muestran «los obstáculos de la realidad» (Solbes y Tarín, 2007).

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

En 4.º de ESO los experimentos se centran en el MRUA. Como la caída libre es muy rápida, Galileo no podía hacer medidas y lo sustituyó por la caída por un plano inclinado (imagen 2). Muchos piensan que medía el tiempo con una clepsidra, pero si con un cronómetro digital actual hay error,

imaginemos el que puede producirse con aquel instrumento. Lo que realmente hizo Galileo fue poner campanillas a distancias entre ellas de, por ejemplo, 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 m, de manera que el tiempo que tardaba la bola en recorrer dichas distancias era el mismo y las campanillas sonaban con un ritmo uniforme. De esta forma, para un ángulo dado, en 1t s recorrerá: 0,1 m, en 2t: 0,4 m, en 3t: 0,9 m, y en 4t: 1,6 m, obteniendo así la ley de que el espacio e es proporcional al t^2 , una ley que no se obtiene de una demostración matemática sino de un experimento.

Esta experiencia favorece reflexionar sobre el papel de la tecnología, en concreto de los instrumentos de medida, en el desarrollo de la ciencia e, incluso, en la enseñanza de la misma. La figura de Galileo nos permite, además, contextualizar la ciencia en su historia, viendo los obstáculos científicos e ideológicos que se opusieron a sus investigaciones, lo que a su vez permite preguntar (o pedir que busquen información) sobre otros científicos que hayan tenido problemas con el poder establecido a causa de su investigación (Solbes, 2013).

También se pueden utilizar sus textos originales (en especial de los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*), para realizar actividades sobre el papel de los SR, la relatividad del movimiento, etc., ya que resultan de utilidad por su estilo divulgativo, por estar escritos como un diálogo entre tres personajes y por su calidad literaria, aún leíbles en la actualidad, lo que no sucede con la mayoría de los textos científicos históricos.

■

Galileo nos permite contextualizar la ciencia en su historia, viendo los obstáculos de sus investigaciones



Imagen 2. Reconstrucción del plano inclinado usado por Galileo. Museo Galileo (Florencia): <https://www.museogalileo.it/it/>

Para mostrar la experiencia original basta con hacer pequeñas ranuras en el carril de aluminio (véase imagen 1) a las distancias mencionadas.

El experimento del plano inclinado se puede hacer cuantitativamente con cronómetro (con condición tr), con cronómetro de fotopuertas (imagen 3) o con sensor de movimiento (imagen 4).

Estos instrumentos –el sensor de movimiento y el cronómetro de fotopuertas (con más dificultad)– nos permiten también tomar medidas de la caída libre.

El peritaje forense de los accidentes de tráfico nos ofrece muchas actividades CTS para todos los cursos



Podemos determinar el tiempo de reacción (t_r) dejando caer una regla entre los dedos de un compañero (Lozano y Solbes, 2014). Se calcula dicho tiempo a partir de la distancia que recorre la regla hasta que la persona cierra los dedos y la detiene (imagen 5). Esta actividad nos permite a su vez realizar otras de contextualización en educación vial, ya que cuando el conductor ve un obstáculo no frena instantáneamente, lo que permite justificar el límite de velocidades. En t_r influyen factores como las sustancias que haya tomado el conductor (alcohol, drogas, algunos medicamentos, etc.), por eso en los accidentes se realizan pruebas de alcoholemia, etc.; también influye la fatiga del conduc-

tor, su somnolencia, entre otras. Puede obtenerse un dato real para los problemas numéricos de frenada incluyendo el tiempo de reacción.

Movimiento armónico simple (MAS)

En 1.º de bachillerato, si se enseña el MAS, tenemos los clásicos experimentos de las oscilaciones del péndulo simple o de un muelle. Cuando este último se suspende de un sensor de fuerzas y se usa simultáneamente el sensor de movimientos, se obtiene la función sinusoidal del MAS y se aprecia cómo la tensión o la fuerza elástica varían a la par que la posición.

Sería preferible profundizar en este curso en los experimentos de caída por un plano inclinado, no limitándonos a decir que el espacio e es proporcional al t^2 , sino determinando con precisión la aceleración y viendo que las discrepancias obtenidas con $a=gsin\theta$ no son debidas al rozamiento o a errores experimentales, como dicen



Imagen 3. MRUA con fotopuertas



Imagen 4. MRUA con sensor de movimiento



Imagen 5. Experiencia para determinar el t de reacción



Imagen 6. Caída libre de un móvil: ingravidez



algunos libros, sino que se ajusta mejor a $a=(5/7)g\sin\theta$, que se obtiene al considerar la rotación de la bola (Solbes y Tarín, 2007). Esto se pone aún más de manifiesto si se dejan rodar bolas, cilindros macizos y huecos (Solbes y Tarín, 2008). [Si se guardan estos datos de la caída libre y del plano inclinado en un Excel, luego se pueden utilizar para estudiar la conservación de la energía](#) (Solbes y Tarín, 2007), con lo cual vemos que se trata de experimentos muy fructíferos.

Así mismo, los teléfonos móviles tienen aplicaciones, como Physics Toolbox, con múltiples sensores (que funcionarán dependiendo de los que tenga el móvil). Por ejemplo, con el sensor de F_g se puede estimar el tiempo de caída libre y la ingravidez aparente: la F vertical se hace 0 cuando el móvil cae sobre una superficie blanda (véase imagen 6), o cuando se deja caer una botella perforada llena de agua (en caída no salen chorros), o con un muelle que al soltarlo se contrae (Lozano y Solbes, 2014). Estas aplicaciones también tienen giroscopios, sensores que miden la velocidad de rotación de un móvil que se coloque en una «sophisticada centrifugadora» de ensalada, lo que permite estudiar el movimiento circular.

En cuanto a actividades CTS, antes ya hemos mencionado la medida y uso del tiempo de reacción, y otras como la estimación de velocidades en la vida cotidiana, o de tipo tecnológico como instrumentos de medida del movimiento (odómetros o cuentakilómetros, tacómetro de velocidades, o el GPS, que permite conocer la posición de un cuerpo sobre la superficie terrestre, así como su desplazamiento, la trayectoria y la velocidad). El peritaje forense de los accidentes de tráfico nos ofrece muchas actividades CTS para todos los cursos (Bolívar, Torres y Solbes, 2017). Así, se les puede plantear: «¿qué medidas tendrías que

tomar sobre el terreno para analizar el accidente?». Se trata de medir el espacio de frenada (a partir de las huellas de frenada de los neumáticos), las deformaciones de los coches, determinar la masa del automóvil (aparece en Internet), comprobar el estado del suelo, de los frenos y las ruedas, o si el conductor esta bebido o drogado.

O también, «¿a partir de qué determinas la velocidad que llevaba el coche antes de la colisión?». La velocidad que llevaba el vehículo antes de la colisión es $v_o^2=2ae=2F_r e/m$ (sin contar el tr) o, lo que es lo mismo, el espacio e de frenada (que se mide por las huellas de los neumáticos), $e= v_o^2 m/2F_r$, depende de la velocidad al cuadrado (el factor con mayor influencia) y de la masa del vehículo, e inversamente de la fuerza F_r de frenada (en la que se incluyen la F_r de los frenos, la F_r de rozamiento contra el suelo, etc.). O: «¿qué consecuencias sociales y económicas tienen los accidentes de tráfico?». Encontrarán datos del elevado coste personal, social y económico en Internet. Cuando se enseña el MCU o el MCUA se puede plantear qué hacer para tomar una curva de manera segura, lo que nos lleva a analizar las variables implicadas: velocidad, peralte y rozamiento.

CONCLUSIONES

Mejorar la enseñanza del movimiento en la ESO y el bachillerato pasa por tener en cuenta las dificultades del alumnado, evitando que parezca más un tema de matemáticas que de física; y, para ello, es necesario incluir múltiples experimentos como los aquí presentados y actividades CTS, que pueden basarse en la ciencia forense, contenidos todos ellos que la LOMCE ha ignorado por sistema. ◀

Nota

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo forma parte del proyecto EDU2015-69701-P financiado por Mineco y Feder.

Referencias bibliográficas

- BEICHNER, R. (1994): «Testing student interpretation of kinematics graphs». *American Journal of Physics*, núm. 62, pp. 750-762.
- BOLÍVAR, A.; TORRES, N.; SOLBES, J. (2017): «Propuesta de contextualizar la enseñanza de la física usando los accidentes de tráfico». *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 561-566.
- HIERREZUELO, J.; MONTERO, A. (1989): *La ciencia de los alumnos*. Barcelona. Laia, MEC.
- LOZANO, O.R.; SOLBES, J. (2014): *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona. Graó.
- McDERMOTT, L.; ROSENQUIST, M. (1986): «A conceptual approach to teaching kinematics». *American Journal of Physics*, núm. 55, pp. 407-415.
- ORERO, M.^a; SOLBES, J.; ESTEVE, A.R. (2018): «Uso del movimiento corporal y sensores de movimiento para mejorar la interpretación de gráficas en cinemática». IV Simposio Internacional de Enseñanza de las Ciencias SIEC.
- SOLBES, J. (2013): «Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, núm. 10(1), pp. 1-10.
- SOLBES, J.; TARÍN, J. (2007): «¿Qué hacemos si no coincide la teoría y el experimento? (o los obstáculos de la realidad)». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 52, pp. 97-107.
- (2008): «Which Reaches the Bottom First?». *The Physics Teacher*, núm. 46, pp. 550-551.

Dirección de contacto

Jordi Solbes

Universidad de Valencia

jordi.Solbes@uv.es

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en abril de 2018 y aceptado en octubre de 2018 para su publicación.

9 ideas clave. La relación entre familia y escuela

Rosa M. Guitart (coord), M. Àngel Alabart, Jordi Garreta, Mònica Macià, Antoni Tort

Propuesta de reflexiones y acciones sobre la relación entre centro educativo y familias con la intención de tender puentes, para compartir, sumar, respetarse, colaborar e ir de la mano. Muestra a las familias como miembros de la comunidad escolar, presentando miradas sobre ellas que deben evolucionar de estorbo a potencialidad, de incomodidad a complicidad, de confrontación a colaboración, de enemigos a personas que tienen objetivos en común, de igualdad a diversidad, de participación pasiva (recibir) a participación activa (proponer, dar y ejecutar), de relacionarse con ella por normativas legislativas a hacerlo por necesidad educativa y convencimiento pedagógico, de trabajar escuela y familia a trabajar escuela con y en familia.

22,50 €

Ebook: 18,40 €

9 ideas clave
La relación
entre familia y escuela

Rosa M. Guitart (coord.),
M. Àngel Alabart, Jordi Garreta,
Mònica Macià, Antoni Tort



28 GRAÓ



Hurtado, 29. 08022 Barcelona

info@irif.eu

www.grao.com

934 080 464