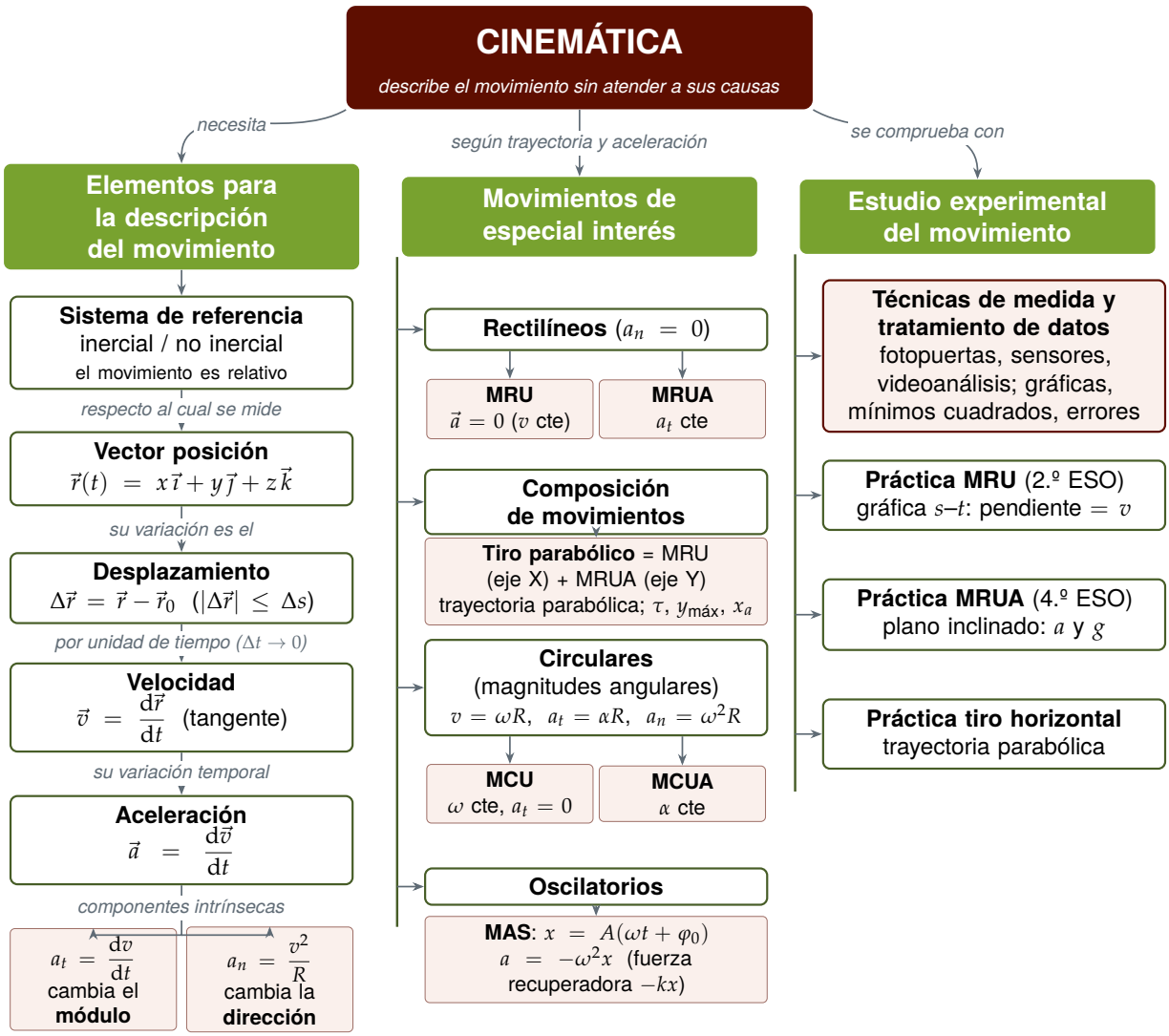
RESUMEN PARA EL EXAMEN

Tema 4. Cinemática

Elementos para la descripción del movimiento. Movimientos de especial interés. Métodos para el estudio experimental del movimiento.

Versión condensada del tema completo: recoge el núcleo que se desarrolla por escrito. Las demostraciones completas, los ejemplos y las ampliaciones están en el tema desarrollado.

Esquema del tema



Hilo conductor didáctico: el parque de atracciones

montaña rusa (sistema de referencia, MRU) · torre de caída libre (MRUA) · caseta de dardos (tiro parabólico) · noria (MCU y MCUA) · barco pirata (MAS)

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

1 Introducción

«*Profe, si el móvil ya me dice a qué velocidad voy en bici, ¿para qué tengo que aprenderme esto?*». Esta pregunta resume el reto de la enseñanza científica: conseguir que el alumnado encuentre sentido a lo que aprende. La física está en todo lo que le rodea, y el movimiento es su fenómeno más cercano. Por eso, en este tema, usaremos como hilo conductor un parque de atracciones.

La **cinemática** describe el movimiento sin atender a sus causas, considerando los cuerpos como partículas (puntos materiales). En mecánica clásica, el movimiento se describe en un espacio de tres dimensiones y un tiempo absoluto.

En el marco de la LOMLOE, el Real Decreto 217/2022 organiza los saberes básicos de Física y Química de la ESO en cinco bloques (Las destrezas científicas básicas, La materia, La energía, La interacción y El cambio). La cinemática se sitúa en el bloque D, La interacción, y en Bachillerato (Real Decreto 243/2022) tiene un bloque propio en la Física y Química de 1.º. (*Conviene citar también el decreto de la comunidad autónoma.*)

2 Elementos para la descripción del movimiento

El **movimiento** es el cambio de posición de un cuerpo a lo largo del tiempo respecto a un sistema de referencia.

Sistema de referencia

Conjunto formado por un observador, un origen, unos ejes coordenados y un reloj, que permite asignar a cada suceso una posición y un instante. El movimiento es **relativo**: depende del sistema de referencia elegido. Los sistemas **inerciales** están en reposo o se mueven con MRU; en ellos se cumplen las leyes de Newton. Los **no inerciales** están acelerados.

Vector posición y vector desplazamiento

$$\vec{r}(t) = x(t)\,\vec{\imath} + y(t)\,\vec{\jmath} + z(t)\,\vec{k} \qquad \Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$$

Las funciones $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ son las ecuaciones paramétricas; eliminando t se obtiene la ecuación de la trayectoria. El desplazamiento no depende de la trayectoria y, en general, $|\Delta\vec{r}| \leq \Delta s$ (distancia recorrida).

Velocidad

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \qquad \vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}$$

La velocidad media tiene la dirección del desplazamiento y solo compara las posiciones inicial y final (no debe confundirse con la rapidez media, $\Delta s/\Delta t$). Al hacer $\Delta t \to 0$ la cuerda tiende a la tangente, así que **la velocidad instantánea es tangente a la trayectoria**: $\vec{v} = v\,\vec{u}_t$, con $v = \mathrm{d}s/\mathrm{d}t$.

Aceleración

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \qquad \vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

Como la velocidad es un vector, cambia si cambia su módulo o su dirección: un coche que toma una curva a velocidad constante está acelerado.

Componentes intrínsecas. Derivando $\vec{v} = v\,\vec{u}_t$ como un producto, $\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{u}_t + v\frac{\mathrm{d}\vec{u}_t}{\mathrm{d}t}$. Como $\vec{u}_t$ es unitario, su derivada es perpendicular a él (dirección de $\vec{u}_n$); y como gira un ángulo $\mathrm{d}\varphi = \mathrm{d}s/R$, su módulo es $\mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t = v/R$. Por tanto:

$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_t + \frac{v^2}{R}\,\vec{u}_n \qquad a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \qquad a_n = \frac{v^2}{R} \qquad |\vec{a}| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

La aceleración **tangencial** cambia el módulo de la velocidad; la **normal**, su dirección (R es el radio de curvatura). Si $a_t = 0$ el movimiento es uniforme; si $a_n = 0$, rectilíneo.

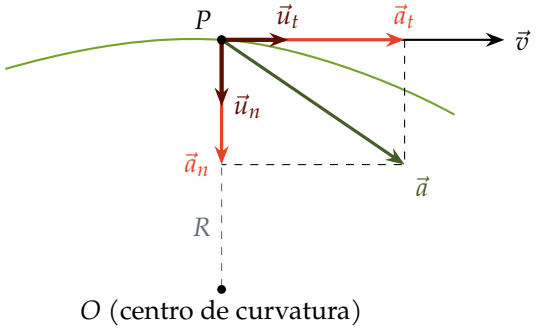


Figura 1: Componentes intrínsecas de la aceleración.

Las condiciones iniciales ($\vec{r}_0$, $\vec{v}_0$) son necesarias para conocer el movimiento: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \int \vec{a}\,\mathrm{d}t$ y $\vec{r} = \vec{r}_0 + \int \vec{v}\,\mathrm{d}t$.

3 Movimientos de especial interés

Son los que aparecen una y otra vez en la naturaleza y la técnica y sirven de base para estudiar los demás. Se clasifican con las componentes intrínsecas ($a_n = 0$: rectilíneo; $a_t = 0$: uniforme): MRU ($\vec{a} = 0$), MRUA ($a_n = 0$, a_t cte), parabólico ($\vec{a} = \vec{g}$ cte), MCU ($a_t = 0$, a_n cte), MCUA (a_t cte) y MAS ($a = -\omega^2 x$).

4 Movimientos rectilíneos

En ellos $a_n = 0$ y puede hacerse un tratamiento escalar sobre la recta de la trayectoria.

Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Trayectoria rectilínea y velocidad constante ($\vec{a} = 0$). Integrando $\mathrm{d}s = v\,\mathrm{d}t$:

$$s = s_0 + v\,(t - t_0)$$

La gráfica s–t es una recta de pendiente v; el área bajo la gráfica v–t es el desplazamiento. *Ejemplo: la subida lenta de la montaña rusa.*

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

Trayectoria rectilínea y aceleración constante ($a_t = \text{cte}$, $a_n = 0$). De $\mathrm{d}v = a\,\mathrm{d}t$ se obtiene $v = v_0 + at$; sustituyendo en $\mathrm{d}s = v\,\mathrm{d}t$ e integrando, $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$; y eliminando $t = (v - v_0)/a$ entre ambas, $v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0)$:

$$v = v_0 + a\,t \qquad s = s_0 + v_0\,t + \tfrac{1}{2}\,a\,t^2 \qquad v^2 = v_0^2 + 2a\,(s - s_0)$$

El movimiento es acelerado si a y v tienen el mismo signo, y retardado si tienen signos opuestos. En la **caída libre**, despreciando el aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración (Galileo); con el positivo hacia arriba, $a = -g \approx -9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$. *Ejemplo: la torre de caída libre.*

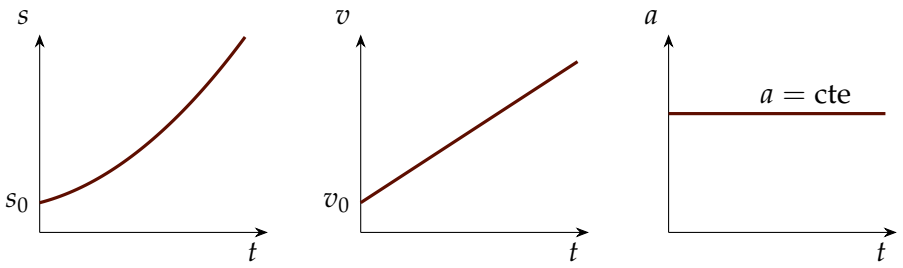


Figura 2: Gráficas posición–tiempo (parábola), velocidad–tiempo (recta de pendiente a) y aceleración–tiempo del MRUA.

5 Composición de movimientos. Tiro parabólico

Despreciando el rozamiento del aire, el movimiento de un proyectil es la composición de un **MRU horizontal** (no actúa ninguna fuerza horizontal: la velocidad horizontal se conserva por inercia) y un **MRUA vertical** con $a = -g$. Según el **principio de independencia** (Galileo), cada uno ocurre como si el otro no existiera, y $\vec{r}$, $\vec{v}$ y $\vec{a}$ resultantes son la suma vectorial de los componentes (dos MRU perpendiculares, como la barca que cruza un río, dan un MRU con $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$). Con el origen en el punto de lanzamiento y velocidad inicial v_0 formando un ángulo α con la horizontal:

$$x = v_0 \cos\alpha \cdot t \qquad y = v_0\,\mathrm{sen}\,\alpha \cdot t - \tfrac{1}{2}\,g\,t^2 \qquad v_x = v_0 \cos\alpha \qquad v_y = v_0\,\mathrm{sen}\,\alpha - g\,t$$

Eliminando el tiempo se obtiene la **ecuación de la trayectoria**, una parábola:

$$y = x\ \mathrm{tg}\,\alpha - \frac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha}\,x^2$$

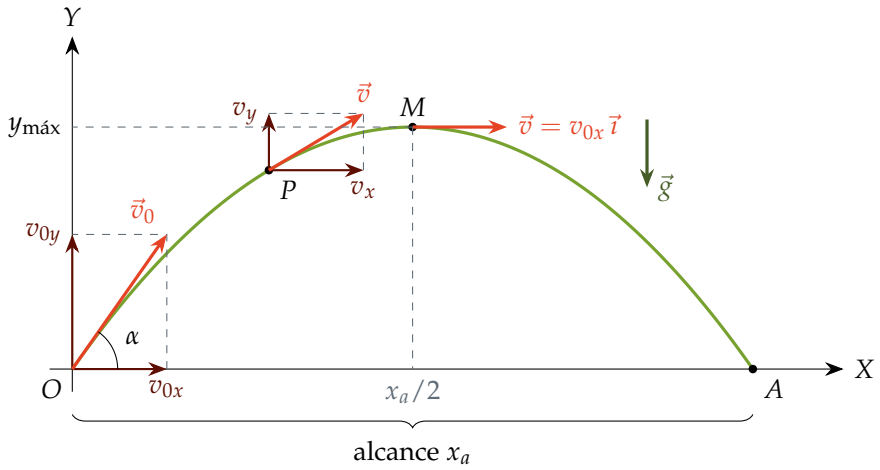


Figura 3: Tiro oblicuo o parabólico desde el suelo.

Parámetros característicos (lanzamiento desde el suelo), que se obtienen imponiendo la condición indicada entre paréntesis:

- **Tiempo de vuelo** $(y = 0)$: $\tau = \dfrac{2v_0\,\mathrm{sen}\,\alpha}{g}$.
- **Altura máxima** $(v_y = 0, \text{en } t = \tau/2)$: $y_{máx} = \dfrac{v_0^2\,\mathrm{sen}^2\,\alpha}{2g}$.
- **Alcance** $(t = \tau)$: $x_a = \dfrac{v_0^2\,\mathrm{sen}\,2\alpha}{g}$. Es máximo para $\alpha = 45°$ $(x_{máx} = v_0^2/g)$, y los ángulos complementarios dan el mismo alcance.

En el **tiro horizontal** desde una altura h: $t_{caída} = \sqrt{2h/g}$ y $x_a = v_0\sqrt{2h/g}$. *Ejemplo: los dardos de la caseta de la feria.*

6 Movimientos circulares

La trayectoria es una circunferencia de radio R. Se describe con **magnitudes angulares**, iguales para todos los puntos de un cuerpo que gira (todas las cestas de la noria giran el mismo ángulo):

$$S = \varphi\,R \qquad \omega = \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\ (\mathrm{rad/s}) \qquad \alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\ (\mathrm{rad/s^2})$$

Derivando $S = \varphi R$ con R constante se obtienen las relaciones entre magnitudes lineales y angulares:

$$v = \omega\,R \qquad a_t = \alpha\,R \qquad a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

Movimiento circular uniforme (MCU)

ω constante ($\alpha = 0$, $a_t = 0$). La velocidad no es constante (cambia su dirección): existe una aceleración normal constante, $a_n = \omega^2 R$, dirigida al centro. Es periódico:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega\, t \qquad T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad f = \frac{1}{T} \qquad \omega = 2\pi f$$

Ejemplo: la noria girando a ritmo constante.

Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA)

α constante. Las ecuaciones son análogas a las del MRUA:

$$\omega = \omega_0 + \alpha\, t \qquad \varphi = \varphi_0 + \omega_0\, t + \tfrac{1}{2}\,\alpha\, t^2 \qquad \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\,(\varphi - \varphi_0)$$

Existen $a_t = \alpha R$ (constante) y $a_n = \omega^2 R$ (variable). *Ejemplo: la noria al arrancar o al frenar.*

7 Movimiento armónico simple (MAS)

Movimiento periódico y oscilatorio producido por una fuerza recuperadora proporcional al desplazamiento respecto al equilibrio (ley de Hooke). Aplicando la segunda ley de Newton:

$$F = -k\,x \quad\Longrightarrow\quad \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \omega^2 x = 0, \qquad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

cuya solución es:

$$x = A\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi_0) \qquad v = A\omega\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad a = -A\omega^2\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$$

Magnitudes: elongación x, amplitud A, periodo $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{m/k}$ (independiente de la amplitud), frecuencia $f = 1/T$, pulsación $\omega = 2\pi f$ y fase inicial φ_0. La velocidad es máxima en el centro ($v_{\text{máx}} = A\omega$) y nula en los extremos; la aceleración es nula en el centro y máxima en los extremos ($a_{\text{máx}} = A\omega^2$). También se cumple $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$. La proyección de un MCU sobre un diámetro es un MAS.

Ejemplo: el barco pirata oscila como un péndulo, que solo es un MAS para pequeñas oscilaciones ($\mathrm{sen}\,\theta \approx \theta$): $\omega = \sqrt{g/L}$, $T = 2\pi\sqrt{L/g}$.

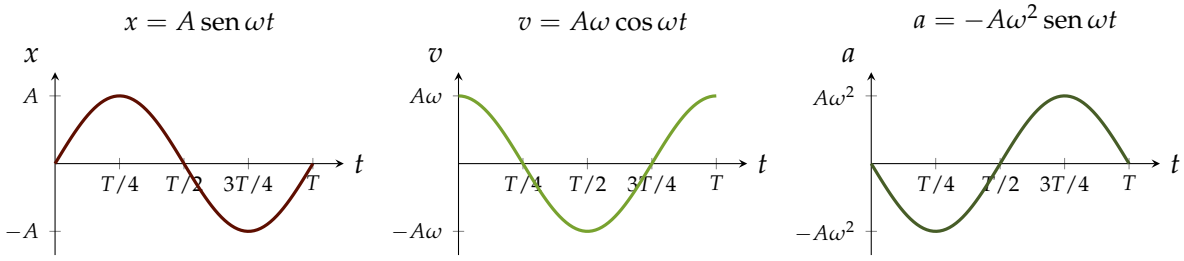


Figura 4: Elongación, velocidad y aceleración frente al tiempo en un MAS ($\varphi_0 = 0$). La velocidad está adelantada $\pi/2$ respecto de la elongación y la aceleración está en oposición de fase con ella.

8 Métodos para el estudio experimental del movimiento

Se trata de obtener una tabla de posiciones y tiempos. **Técnicas de medida**: cronómetro (limitado por el tiempo de reacción, 0,1–0,2 s: se repiten las medidas), fotopuertas ($v \approx d/\Delta t$, precisión de ms), registros a intervalos iguales (cinta de marcas cada 0,02 s, estroboscopia: en el MRUA la diferencia entre separaciones consecutivas es $a\,(\Delta t)^2$), sensores de ultrasonidos ($d = v_{\text{sonido}}\,t/2$), videoanálisis (*Tracker*) y sensores del móvil (*phyphox*). **Tratamiento de datos**: gráficas temporales (pendiente de s–t = v; pendiente de v–t = a; área bajo v–t = desplazamiento), linealización (s frente a t^2 en el MRUA desde el reposo; T^2 frente a L en el péndulo) y ajuste por mínimos cuadrados, y análisis de errores (absoluto y relativo; aleatorios, que se reducen repitiendo, y sistemáticos, que hay que identificar).

Práctica 1: MRU (2.º ESO)

Un cochecito arrastrado a velocidad constante por un motor recorre un carril graduado. Se cronometra (cinco veces) el tiempo en recorrer distintas distancias. Se calcula $v = \Delta s/\bar{t}$ para cada distancia (debe ser constante) y se representa s frente a t: se obtiene una recta cuya pendiente es la velocidad, ajustada por mínimos cuadrados con una hoja de cálculo.

Práctica 2: MRUA (4.º ESO)

Una bola se suelta desde el reposo por un carril inclinado un ángulo α ($\operatorname{tg}\alpha = h/b$) y se miden los tiempos en recorrer distintas distancias. Como $v_0 = 0$: $a = 2s/t^2$ y $v = 2s/t$. La pendiente de la recta v–t da la aceleración. Sin rozamiento y en deslizamiento, $a = g\,\mathrm{sen}\,\alpha$; si la bola rueda (esfera maciza), $a = \frac{5}{7}g\,\mathrm{sen}\,\alpha$, lo que hay que tener en cuenta al calcular g y al discutir las fuentes de error.

Práctica 3: tiro horizontal

La bola sale del extremo de un carril y su impacto se registra, con papel carbón, sobre un papel milimetrado vertical que se separa de 2 en 2 cm. Con el eje Y hacia abajo, $y = x\,\operatorname{tg}\alpha + \dfrac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}\,x^2$ (con $\alpha = 0$ si el final del carril es horizontal). Ajustando los puntos a una parábola se comprueba el modelo y, conocida g, se obtiene la velocidad de salida v_0 (para medir g hace falta medir v_0 de forma independiente, con fotopuerta o videoanálisis).

Ideas previas que conviene trabajar

Confundir desplazamiento y distancia recorrida; pensar que aceleración negativa significa frenar; creer que en el punto más alto de un lanzamiento la aceleración es nula (es $-g$); creer que con rapidez constante no hay aceleración; leer la gráfica s–t como si fuera la trayectoria.

9 Conclusión y valoración personal

En este tema hemos definido los elementos necesarios para describir un movimiento (sistema de referencia, posición, desplazamiento, velocidad y aceleración, con sus componentes intrínsecas) y los hemos aplicado a los movimientos de especial interés: rectilíneos, parabólico, circulares y armónico simple. Por último, hemos visto los métodos para su estudio experimental (técnicas de medida, gráficas, ajustes y errores) y tres prácticas que los aplican.

Desde mi experiencia, la cinemática es el primer lugar donde el alumnado descubre que las matemáticas sirven para describir la realidad: una derivada deja de ser abstracta cuando representa la velocidad de un vagón. Considero que la mayor dificultad no está en las fórmulas, sino en las ideas previas, y que detectarlas con preguntas de predicción es más valioso que acumular problemas. Además, hoy disponemos de recursos como los sensores del móvil o el videoanálisis, que permiten medir movimientos reales y desarrollan la competencia digital. En definitiva, enseñar cinemática es enseñar a mirar: que el alumno termine el tema viendo vectores donde antes solo veía una montaña rusa.