

# Ejercicios Resueltos Física y Química 1 de Bachillerato 2026 / 2027

46 ejercicios con la solución explicada paso a paso, y la teoría de los 14 temas que trae esta selección.

## Lo que vas a practicar

**La descripción vectorial del movimiento** · Vector de posición, desplazamiento, velocidad media y ecuación de la trayectoria (ejercicios 1, 2, 3)

**La composición de movimientos** · Tiro horizontal y tiro parabólico, con los dos ejes tratados por separado (ejercicios 4, 5, 6)

**El movimiento circular** · Velocidad angular, periodo y frecuencia, y las aceleraciones normal y tangencial (ejercicios 7, 8, 9)

**Las leyes de Newton: tensiones y sistemas de dos cuerpos** · Aceleración de un conjunto, tensiones, poleas y la fuerza que marca una báscula (ejercicios 10, 11, 12, 13)

**El rozamiento y el plano inclinado** · Fuerza normal, coeficiente de rozamiento y descomposición del peso en una rampa (ejercicios 14, 15, 16)

**La cantidad de movimiento y los choques** · Impulso, variación de la cantidad de movimiento y su conservación (ejercicios 17, 18, 19)

**El trabajo, el teorema de las fuerzas vivas y la energía mecánica** · Trabajo con ángulo, variación de energía cinética y balance con rozamiento (ejercicios 20, 21, 22, 23)

**La formulación y la nomenclatura inorgánica** · Oxoácidos, oxosales y el número de oxidación de un elemento en un compuesto (ejercicios 24, 25, 26, 27)

**El mol, la composición centesimal y la fórmula empírica** · De los gramos a los moles y a las partículas, y de los porcentajes a la fórmula (ejercicios 28, 29, 30)

**Las leyes de los gases y la ecuación de estado** · La ecuación de estado, los cambios de presión, volumen y temperatura, y la masa molar de un gas (ejercicios 31, 32, 33)

**Las disoluciones y la concentración** · Concentración molar, tanto por ciento en masa con densidad y diluciones (ejercicios 34, 35, 36)

**La estequiometría: reactivo limitante, riqueza y rendimiento** · Qué reactivo se acaba antes, cuánto producto sale y cuánto se obtiene de verdad (ejercicios 37, 38, 39, 40)

**La termoquímica: entalpía de reacción y calorimetría** · Calor medido en el agua, entalpía por mol y su enlace con la estequiometría (ejercicios 41, 42, 43)

**La formulación orgánica y los grupos funcionales** · Cadenas de carbono, grupos funcionales y la

**Material propio de solucionario.es.** Los enunciados y las soluciones están escritos por nosotros. La versión al día, con más ejercicios y de todos los cursos, está siempre en:

[solucionario.es](https://solucionario.es)

**Qué entra en esta selección y qué no.** En 1º de Bachillerato la Física y la Química siguen siendo **una sola asignatura** —se separan en 2º—, y esta página cubre las dos mitades por igual: **23 ejercicios de Física** (movimiento con vectores y ecuación de la trayectoria, composición de movimientos, movimiento circular, leyes de Newton con tensiones y poleas, rozamiento y plano inclinado, cantidad de movimiento y choques, y trabajo y energía) y **23 de Química** (formulación inorgánica, el mol y la fórmula empírica, gases, disoluciones, estequiometría con reactivo limitante y rendimiento, termoquímica y formulación orgánica). El reparto a la mitad es una decisión nuestra y no una medida: las diez fichas de este curso que hay en la web no separan las dos partes, así que no hay forma de saber cuál se consulta más. La Física va primero porque es de lo que hablan casi todos los materiales que hoy ocupan esta página. **Se da por sabido lo de 4º de ESO:** el movimiento por una recta, las tres leyes de Newton, el trabajo y la energía mecánica, el sistema periódico y el enlace, la formulación de compuestos de dos elementos, el mol y el ajuste de ecuaciones. **Queda fuera a propósito**, y no todo por el mismo motivo. Por el **medio**, porque estas páginas se leen como texto y aquí no hay dibujos: los esquemas de fuerzas, los montajes de laboratorio, las representaciones de curvas y las estructuras de puntos y rayas del enlace. Por eso las rampas, las poleas y los montajes se describen con palabras y ángulos, y los datos que se leerían en una representación vienen como lista dentro del enunciado. Por **curso**, porque pertenecen a 2º de Bachillerato: los campos, las ondas, la óptica, la física moderna, el equilibrio, la cinética, el estudio cuantitativo de ácidos y bases, las reacciones de oxidación y reducción y la isomería. Y por **espacio**, aunque caben de sobra en este curso: las mezclas de gases y sus presiones parciales, la solubilidad, las leyes ponderales y la energía de los enlaces. **Sobre las constantes:** cada ejercicio trae todos sus datos dentro, incluidas las masas atómicas, la constante de los gases, el número de Avogadro, el valor de  $g$  y los senos y cosenos que hagan falta, de modo que se puede resolver con un cuaderno y una calculadora. Esto sirve para localizar lo que flojea; no sustituye al libro, ni al laboratorio, ni a las clases.

## La descripción vectorial del movimiento

### Lo que hay que saber

**Vector de posición:** en el plano se escribe  $r = x \cdot i + y \cdot j$ , con  $x$  e  $y$  en metros e  $i$  y  $j$  los vectores unitarios de los dos ejes. Cada uno de los dos ejes se trata por separado, y esa es la idea que sostiene todo el bloque de cinemática de este curso.

**Desplazamiento:**  $\Delta r = r(\text{final}) - r(\text{inicial})$ , y su **módulo** se obtiene con el teorema de Pitágoras,  $|\Delta r| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ , en metros. ▲ El módulo del desplazamiento y el camino recorrido coinciden solo cuando el móvil va en línea recta y sin darse la vuelta; en cualquier otro caso el camino es mayor.

**Velocidad media:**  $v(\text{media}) = \Delta r \div \Delta t$ , en m/s. Es un vector con las mismas componentes que el desplazamiento divididas entre el intervalo. No dice nada de lo que pasó dentro de ese intervalo.

**La ecuación de la trayectoria** se obtiene **eliminando el tiempo** entre  $x(t)$  e  $y(t)$ : se despeja  $t$  de una y se sustituye en la otra, y queda una relación entre  $y$  y  $x$  sola. Describe el dibujo que recorre el móvil, pero **pierde el cuándo**: dos móviles con la misma trayectoria pueden ir a ritmos distintos.

**Ángulos con los ejes:** un vector de componentes  $a$  y  $b$  forma con el eje de las  $x$  un ángulo  $\alpha$  tal que  $\text{tg } \alpha = b \div a$ . Su módulo vale  $\sqrt{a^2 + b^2}$ . Conviene fijar y decir el criterio de ejes antes de empezar, porque el signo de cada componente depende de él.

1

Una partícula recorre el plano y su vector de posición, con las distancias en metros y el tiempo en segundos, vale  $r = (2 + 3 \cdot t) \cdot i + (5 \cdot t - 0,5 \cdot t^2) \cdot j$ . Halla: (a) su posición en el instante inicial y a los 2 s; (b) el vector desplazamiento entre esos dos instantes y su módulo; (c) la velocidad media en ese intervalo y su módulo.

### Solución

(a) Se sustituye el tiempo en las dos componentes por separado, que es la idea que sostiene todo el tema. En el instante inicial,  $t = 0$  s:  $x = 2 + 3 \times 0 = 2$  m e  $y = 5 \times 0 - 0,5 \times 0 = 0$  m, o sea el punto (2, 0) m.

A los 2 s:  $x = 2$  m +  $(3 \text{ m/s}) \times (2 \text{ s})$ , es decir  $2$  m +  $6$  m = **8 m**. Y para la otra componente,  $y = (5 \text{ m/s}) \times (2 \text{ s}) - 0,5 \times (1 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s})^2 = 10 \text{ m} - 2 \text{ m} = 8$  m. El punto es (8, 8) m.

(b) El desplazamiento es la resta de los dos vectores de posición, componente a componente:  $\Delta x = 8 \text{ m} - 2 \text{ m} = 6 \text{ m}$  y  $\Delta y = 8 \text{ m} - 0 \text{ m} = 8 \text{ m}$ , es decir  **$\Delta r = 6 \cdot i + 8 \cdot j$  m**.

Su módulo se saca con el teorema de Pitágoras:  $|\Delta r| = \sqrt{(6 \text{ m})^2 + (8 \text{ m})^2} = \sqrt{36 \text{ m}^2 + 64 \text{ m}^2} = \sqrt{100 \text{ m}^2} = 10$  m. La unidad cuadra: la raíz de metros cuadrados son metros.

(c) La velocidad media es ese desplazamiento dividido entre el intervalo, que dura 2 s:  $v_x = (6 \text{ m}) \div (2 \text{ s}) = 3 \text{ m/s}$  y  $v_y = (8 \text{ m}) \div (2 \text{ s}) = 4 \text{ m/s}$ , o sea  **$3 \cdot i + 4 \cdot j$  m/s**.

Su módulo es  $\sqrt{(3 \text{ m/s})^2 + (4 \text{ m/s})^2} = \sqrt{25 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 5$  m/s. ▲ Otra manera de comprobarlo: el módulo del desplazamiento dividido entre el tiempo,  $(10 \text{ m}) \div (2 \text{ s}) = 5 \text{ m/s}$ . Aquí coinciden porque los dos se calculan con el mismo desplazamiento, no porque el camino recorrido sea de 10 m: el camino real es algo mayor, porque la trayectoria se curva.

2

Un móvil se mueve en el plano de manera que sus coordenadas, en metros, valen  $x = 4 \cdot t$  e  $y = 3 \cdot t + 2$ , con el tiempo en segundos. Halla: (a) la ecuación de su trayectoria, eliminando el tiempo; (b) qué clase de trayectoria describe; (c) el módulo de su velocidad y el punto en que se encuentra a los 5 s.

### Solución

(a) Eliminar el tiempo es despejarlo de una de las dos coordenadas y meterlo en la otra. De la primera,  $t = x \div (4 \text{ m/s})$ . Al sustituir queda  $y = (3 \text{ m/s}) \times x \div (4 \text{ m/s}) + 2 \text{ m}$ , es decir  **$y = 0,75 \cdot x + 2$**  con las dos longitudes en metros.

Las unidades cuadran: el cociente  $(3 \text{ m/s}) \div (4 \text{ m/s})$  vale 0,75 y no tiene unidad. Así, el primer término está en metros como el segundo.

(b) Es una **recta**: la relación entre  $y$  y  $x$  es de primer grado. Su inclinación vale 0,75. Corta al eje vertical en el punto  $(0, 2) \text{ m}$ , que es donde estaba el móvil al empezar a contar el tiempo.

(c) Las dos componentes de la velocidad son constantes:  $v_x = 4 \text{ m/s}$  y  $v_y = 3 \text{ m/s}$ , porque cada coordenada avanza esa cantidad por cada segundo. El módulo vale  $\sqrt{((4 \text{ m/s})^2 + (3 \text{ m/s})^2)} = \sqrt{(16 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 9 \text{ m}^2/\text{s}^2)} = \mathbf{5 \text{ m/s}}$ .

A los 5 s:  $x = (4 \text{ m/s}) \times (5 \text{ s}) = \mathbf{20 \text{ m}}$  e  $y = (3 \text{ m/s}) \times (5 \text{ s}) + 2 \text{ m} = \mathbf{17 \text{ m}}$ . Y se puede comprobar con la ecuación de la trayectoria:  $0,75 \times 20 + 2 = 15 + 2 = 17$ . Coincide, y eso confirma que el despeje estaba bien hecho.

▲ Lo que la ecuación de la trayectoria **no** dice es cuándo pasa el móvil por cada sitio. Otro móvil que recorriera esa misma recta al doble de ritmo tendría exactamente la misma ecuación de trayectoria. De ella sola no se puede sacar ninguna velocidad.

3

Un barco sale del puerto, navega 600 m hacia el norte y a continuación 800 m hacia el este. Halla: (a) el camino que ha recorrido; (b) el módulo de su vector desplazamiento; (c) el ángulo que ese desplazamiento forma con la dirección norte. Dato: el ángulo cuya tangente vale  $4/3$  mide  $53,13^\circ$ .

### Solución

(a) El camino recorrido es la suma de los dos tramos, porque el barco los ha navegado uno detrás de otro:  $600 \text{ m} + 800 \text{ m} = \mathbf{1.400 \text{ m}}$ . Es una longitud sin dirección, y por eso se suma sin más.

(b) El desplazamiento es el vector que va del punto de salida al de llegada, y sus componentes son los dos tramos: 800 m hacia el este y 600 m hacia el norte. Como las dos direcciones son perpendiculares, el módulo sale con el teorema de Pitágoras.

$|\Delta r| = \sqrt{(800 \text{ m})^2 + (600 \text{ m})^2} = \sqrt{(640.000 \text{ m}^2 + 360.000 \text{ m}^2)} = \sqrt{(1.000.000 \text{ m}^2)} = \mathbf{1.000 \text{ m}}$ . Es **menor** que el camino recorrido, y tiene que serlo siempre que el trayecto no sea una recta.

(c) El ángulo con la dirección norte se obtiene de la tangente, que es el cateto del este entre el del norte:  $\text{tg } \alpha = (800 \text{ m}) \div (600 \text{ m}) = 4/3 = 1,3333$ , un número sin unidad porque es un cociente de longitudes.

Con el dato del enunciado,  **$\alpha = 53,13^\circ$**  contado desde el norte hacia el este. Dicho de otro modo, el barco ha acabado a un kilómetro del puerto, en esa dirección.

▲ La diferencia entre 1.400 m y 1.000 m es justo lo que separa el **camino** del **desplazamiento**. Si el barco volviera al puerto, el camino pasaría de 1.400 m a 2.400 m y el desplazamiento valdría cero.

## La composición de movimientos

### Lo que hay que saber

**Principio de independencia:** los movimientos según los dos ejes ocurren a la vez y no se estorban. El tiro se resuelve tratando el eje horizontal como un movimiento uniforme y el vertical como uno uniformemente acelerado. El **tiempo es la única magnitud que comparten**.

**Tiro horizontal**, con el origen en el punto de lanzamiento y el eje vertical positivo hacia arriba:  $x = v_0 \cdot t$  para la horizontal,  $y = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$  para la vertical. La componente horizontal de la velocidad **no cambia** y la vertical vale  $v_y = -g \cdot t$ .

**Tiro parabólico** con velocidad inicial  $v_0$  y ángulo  $\alpha$  sobre la horizontal: las componentes de partida son  $v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$  y  $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$ , en m/s. A partir de ahí es otra vez un uniforme en horizontal y un uniformemente acelerado en vertical.

▲ **En el punto más alto la velocidad no es cero:** lo que se anula es la componente vertical, y la horizontal sigue valiendo  $v_0 \cdot \cos \alpha$ . Ese instante se localiza imponiendo  $v_y = 0$ , de donde  $t(\text{subida}) = v_{0y} \div g$ .

**Altura máxima y alcance:** la altura se obtiene sustituyendo el tiempo de subida en la ecuación vertical. El alcance, multiplicando la componente horizontal por el tiempo total de vuelo. Con el suelo a la misma altura de salida, ese tiempo total es el doble del de subida.

4

Desde lo alto de un acantilado de 78,4 m se lanza una piedra en dirección horizontal con una velocidad de 15 m/s. Se desprecia el rozamiento del aire. Dato: la intensidad de la gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>. Halla: (a) el tiempo que tarda en llegar al agua; (b) la distancia horizontal a la que cae, medida desde el pie del acantilado; (c) las dos componentes de su velocidad al llegar al agua y el módulo de esa velocidad.

### Solución

(a) El tiempo lo decide solo el eje vertical, donde el movimiento es uniformemente acelerado y parte con velocidad vertical nula: la altura recorrida vale  $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ .

Se despeja:  $t^2 = 2 \times (78,4 \text{ m}) \div (9,8 \text{ m/s}^2) = (156,8 \text{ m}) \div (9,8 \text{ m/s}^2)$ , que da 16 s<sup>2</sup>. La raíz es **t = 4 s**. Las unidades encajan: metros divididos entre metros por segundo al cuadrado dejan segundos al cuadrado.

(b) En el eje horizontal no actúa ninguna fuerza apreciable, así que ese movimiento es uniforme durante los mismos 4 s:  $d = (15 \text{ m/s}) \times (4 \text{ s}) = \mathbf{60 \text{ m}}$ .

(c) La componente horizontal sigue siendo la de salida, **15 m/s**, porque nada la ha cambiado. La vertical ha ido creciendo:  $v_y = g \cdot t$ , o sea 9,8 m/s<sup>2</sup> por 4 s, que dan **39,2 m/s** hacia abajo.

El módulo de la velocidad de llegada se compone con las dos:  $v = \sqrt{(15 \text{ m/s})^2 + (39,2 \text{ m/s})^2} = \sqrt{(225 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 1.536,64 \text{ m}^2/\text{s}^2)} = \sqrt{(1.761,64 \text{ m}^2/\text{s}^2)} = \mathbf{41,97 \text{ m/s}}$ .

▲ Para saber si el resultado es razonable no sirve mirar si el número chirría, porque 42 m/s es una velocidad perfectamente creíble. Lo que sí sirve es esta relación: la velocidad de llegada tiene que ser **mayor** que cada componente por separado. Y **menor** que el total de las dos sumadas, 54,2 m/s. Y 41,97 m/s cae dentro de ese intervalo.

5

Se lanza un balón desde el suelo con una velocidad de 25 m/s formando un ángulo  $\alpha$  con la horizontal. De ese ángulo se sabe que  $\sin \alpha = 0,8$  y  $\cos \alpha = 0,6$ . Se desprecia el rozamiento del aire. Dato: la intensidad de la gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>. Halla: (a) las dos componentes de la velocidad inicial; (b) el tiempo que tarda en llegar al punto más alto y la altura máxima que alcanza; (c) el tiempo total de vuelo y la distancia horizontal recorrida hasta caer al suelo.

### Solución

(a) Las componentes salen de multiplicar el módulo por el coseno y por el seno del ángulo:  $v_{0x} = (25 \text{ m/s}) \times 0,6 = \mathbf{15 \text{ m/s}}$  y  $v_{0y} = (25 \text{ m/s}) \times 0,8 = \mathbf{20 \text{ m/s}}$ .

Comprobación rápida de que las dos componentes son coherentes con el módulo dado:  $\sqrt{((15 \text{ m/s})^2 + (20 \text{ m/s})^2)} = \sqrt{(625 \text{ m}^2/\text{s}^2)} = 25 \text{ m/s}$ , que es la velocidad de partida.

(b) En el punto más alto la componente vertical se anula, así que  $0 = v_{0y} - g \cdot t$ , de donde  $t = (20 \text{ m/s}) \div (9,8 \text{ m/s}^2)$ , que da **2,04 s**.

La altura se obtiene del eje vertical con ese tiempo, o más corto, con la relación que no lleva tiempo:  $h = v_{0y}^2 \div (2 \cdot g) = (400 \text{ m}^2/\text{s}^2) \div (19,6 \text{ m/s}^2) = \mathbf{20,41 \text{ m}}$ .

(c) Como sale y cae al mismo nivel, el vuelo dura el doble que la subida:  $t(\text{total}) = 2 \times 2,04 \text{ s} = \mathbf{4,08 \text{ s}}$ . Y el eje horizontal sigue siendo uniforme todo ese rato:  $d = (15 \text{ m/s}) \times (4,0816 \text{ s}) = \mathbf{61,22 \text{ m}}$ .

▲ En el punto más alto la velocidad **no** es nula: lo que vale cero es la componente vertical, y la horizontal sigue siendo de 15 m/s. Si fuera nula del todo, el balón caería en vertical desde ahí y el alcance sería la mitad del que sale.

6

Desde una ventana situada a 19,6 m del suelo se sueltan dos pelotas a la vez: una se deja caer sin darle ninguna velocidad y la otra se lanza en dirección horizontal con 15 m/s. Se desprecia el rozamiento del aire. Dato: la intensidad de la gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>. Halla: (a) el tiempo que tarda cada una en llegar al suelo; (b) la distancia horizontal a la que cae la segunda; (c) la razón de que lleguen o no lleguen a la vez.

#### Solución

(a) El tiempo de caída depende únicamente del eje vertical, y en ese eje las dos pelotas empiezan igual: con velocidad vertical nula y con la misma aceleración.

Para las dos, la altura cumple  $19,6 \text{ m} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ , de donde  $t^2 = (39,2 \text{ m}) \div (9,8 \text{ m/s}^2)$ , que da 4 s<sup>2</sup> y  $t = \mathbf{2 \text{ s}}$ . Sale el mismo valor para la que se suelta y para la que se lanza.

(b) La segunda avanza en horizontal con movimiento uniforme durante esos 2 s:  $d = (15 \text{ m/s}) \times (2 \text{ s}) = \mathbf{30 \text{ m}}$ . La primera cae al pie de la ventana, a 0 m.

(c) **Llegan a la vez**, y el motivo es el principio de independencia: la velocidad horizontal no interviene en el eje vertical, que es el único que decide cuándo se llega al suelo. Empujar hacia un lado no hace caer ni antes ni después.

Una forma de verlo con números: si se repitiera el lanzamiento con 30 m/s, el tiempo seguiría saliendo de la misma ecuación vertical: otra vez 2 s. Lo único que cambiaría sería el alcance, que pasaría a 60 m.

▲ Lo que sí cambiaría el resultado es la altura. Desde el doble de altura, 39,2 m, el tiempo no se duplica: sale  $t = \sqrt{(78,4 \div 9,8)} = \sqrt{8 \text{ s}^2} = 2,83 \text{ s}$ , porque la altura va con el cuadrado del tiempo.

## El movimiento circular

### Lo que hay que saber

**Magnitudes angulares:** el ángulo  $\varphi$  se mide en **radianes**. Los cocientes  $\omega = \Delta\varphi \div \Delta t$ , en **rad/s**, y  $\alpha = \Delta\omega \div \Delta t$ , en **rad/s<sup>2</sup>**, dan la velocidad y la aceleración angulares **medias** del intervalo, y coinciden con las instantáneas solo cuando no cambian dentro de él. Una vuelta completa son  $2 \cdot \pi$  radianes.

**Periodo y frecuencia:**  $T$  mide lo que dura una vuelta y se expresa en segundos;  $f = 1 \div T$  cuenta las vueltas de cada segundo, en **hercios**. Ese enlace con la velocidad angular,  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \div T$ , vale mientras el giro es uniforme: si  $\omega$  va cambiando, cada vuelta dura algo distinto y el periodo deja de ser un número.

**El puente con lo lineal:** para un punto situado a una distancia  $R$  del eje de giro,  $v = \omega \cdot R$  en m/s y la aceleración tangencial es  $a_t = \alpha \cdot R$  en m/s<sup>2</sup>. ▲ Antes de multiplicar hay que tener  $\omega$  en rad/s: las vueltas por minuto no valen en estas expresiones.

▲ **Con rapidez constante la aceleración no es cero.** La dirección de la velocidad cambia en cada instante, y ese cambio es la **aceleración normal**  $a_n = v^2 \div R = \omega^2 \cdot R$ , que apunta **hacia el centro** de la circunferencia, no hacia fuera.

**Las dos aceleraciones son perpendiculares**, así que el módulo de la aceleración total es  $\sqrt{a_t^2 + a_n^2}$ . La tangencial cambia lo deprisa que se va y la normal cambia hacia dónde se va; si la rapidez no varía, la tangencial es nula y solo queda la normal.

7

Un disco gira de forma uniforme a razón de 300 vueltas por minuto. Se considera un punto de su superficie situado a 0,20 m del eje de giro. Halla: (a) la frecuencia en hercios; (b) el periodo; (c) la velocidad angular en rad/s; (d) la velocidad de ese punto en m/s.

### Solución

(a) La frecuencia es el número de vueltas por segundo, así que hay que pasar los minutos a segundos:  $f = (300 \text{ vueltas}) \div (60 \text{ s}) = \mathbf{5 \text{ Hz}}$ , es decir cinco vueltas cada segundo.

(b) El periodo mide lo que dura una vuelta, y es el inverso de la frecuencia:  $T = 1 \div (5 \text{ Hz}) = \mathbf{0,2 \text{ s}}$ . Se comprueba al revés: en 1 s caben cinco intervalos de 0,2 s, que son las cinco vueltas.

(c) Cada vuelta son  $2 \cdot \pi$  radianes, así que la velocidad angular vale  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \times \pi \times (5 \text{ Hz}) = \mathbf{31,42 \text{ rad/s}}$ . El hercio es un inverso de segundo, y por eso el resultado queda en radianes por segundo.

(d) La velocidad de un punto es el producto de la velocidad angular por su distancia al eje:  $v = \omega \cdot R = (31,42 \text{ rad/s}) \times (0,20 \text{ m}) = \mathbf{6,28 \text{ m/s}}$ .

▲ Antes de multiplicar hay que tener la velocidad angular en rad/s. Usar las 300 vueltas por minuto tal cual daría 60 m/s, un valor casi diez veces mayor y con una unidad que parece correcta: el fallo no lo delatan los metros por segundo. Lo que lo evita es hacer la conversión a rad/s en su paso, y no esperar a que el resultado parezca raro.

8

Un coche toma una curva de 50 m de radio. Al entrar lleva 10 m/s y cinco segundos después lleva 20 m/s, habiendo aumentado su rapidez de manera uniforme. Halla: (a) la aceleración tangencial; (b) la aceleración normal al entrar y al salir de la curva; (c) el módulo de la aceleración total en el instante en que lleva 20 m/s.

### Solución

(a) La aceleración tangencial mide cómo cambia la rapidez:  $a_t = (20 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}) \div (5 \text{ s}) = (10 \text{ m/s}) \div (5 \text{ s}) = \mathbf{2 \text{ m/s}^2}$ . Es constante porque el aumento es uniforme.

(b) La aceleración normal depende de la rapidez de cada instante y del radio. Al entrar:  $a_n = (10 \text{ m/s})^2 \div (50 \text{ m}) = (100 \text{ m}^2/\text{s}^2) \div (50 \text{ m}) = \mathbf{2 \text{ m/s}^2}$ .

Al salir, con 20 m/s:  $a_n = (400 \text{ m}^2/\text{s}^2) \div (50 \text{ m}) = \mathbf{8 \text{ m/s}^2}$ . Se ha multiplicado por cuatro al duplicarse la

rapidez, porque entra elevada al cuadrado.

(c) Las dos aceleraciones son perpendiculares entre sí, así que el módulo de la total se compone como los catetos de un triángulo rectángulo:  $a = \sqrt{(2 \text{ m/s}^2)^2 + (8 \text{ m/s}^2)^2} = \sqrt{68 \text{ m}^2/\text{s}^4} = \mathbf{8,25 \text{ m/s}^2}$ .

El resultado queda muy cerca de la normal sola. Eso es lo esperado cuando una de las dos componentes es cuatro veces mayor que la otra: en una curva tomada deprisa, casi toda la aceleración sirve para girar, no para cambiar de rapidez.

▲ La aceleración normal apunta **hacia el centro** de la curva. La sensación de ir empujado hacia fuera es la del pasajero, que tiende a seguir recto mientras el coche gira; sobre el coche no hay ninguna fuerza dirigida hacia fuera.

9

Una rueda de 0,40 m de radio arranca desde el reposo. Su velocidad angular crece de manera uniforme hasta 20 rad/s en 4 s. Halla: (a) la aceleración angular; (b) el ángulo girado en ese tiempo y el número de vueltas que corresponde; (c) la velocidad y la aceleración tangencial de un punto del borde a los 4 s.

#### Solución

(a) La aceleración angular es el cambio de velocidad angular por unidad de tiempo:  $\alpha = (20 \text{ rad/s} - 0 \text{ rad/s}) \div (4 \text{ s}) = \mathbf{5 \text{ rad/s}^2}$ .

(b) Partiendo del reposo, el ángulo girado es  $\varphi = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2 = \frac{1}{2} \times (5 \text{ rad/s}^2) \times (4 \text{ s})^2 = \frac{1}{2} \times (5 \text{ rad/s}^2) \times (16 \text{ s}^2) = \mathbf{40 \text{ rad}}$ .

Para pasar ese ángulo a vueltas se divide entre los radianes de una vuelta:  $(40 \text{ rad}) \div (2 \cdot \pi \text{ rad}) = \mathbf{6,37 \text{ vueltas}}$ . El radián desaparece, como tiene que ser, porque el número de vueltas no lleva unidad.

(c) La velocidad de un punto del borde a los 4 s vale  $v = \omega \cdot R = (20 \text{ rad/s}) \times (0,40 \text{ m}) = \mathbf{8 \text{ m/s}}$ , y su aceleración tangencial,  $a_t = \alpha \cdot R = (5 \text{ rad/s}^2) \times (0,40 \text{ m}) = \mathbf{2 \text{ m/s}^2}$ .

Una comprobación que no repite ningún paso anterior: partiendo del reposo con esa aceleración tangencial constante, en 4 s la rapidez tendría que ser  $(2 \text{ m/s}^2) \times (4 \text{ s}) = 8 \text{ m/s}$ . Coincide con lo obtenido por el camino angular.

## Las leyes de Newton: tensiones y sistemas de dos cuerpos

### Lo que hay que saber

**Segunda ley aplicada eje a eje:** se elige un sentido positivo, se escribe la suma de fuerzas de cada eje y se iguala a  $m \cdot a$  en ese eje. En el eje en el que el cuerpo no se mueve, la suma de fuerzas es cero. Esa ecuación es la que da la **fuerza normal**.

**Tensión:** la fuerza que transmite una cuerda, en newtons. Con una cuerda de masa despreciable la tensión es la misma en los dos extremos. Y tira **hacia la cuerda** de cada uno de los cuerpos que une. ▲ No vale suponer que la tensión es igual a la fuerza que mueve el conjunto: solo arrastra a la parte que cuelga de ella.

**Dos cuerpos unidos:** el sistema entero se acelera igual. Conviene escribir primero la ecuación del conjunto, donde la fuerza exterior dividida entre la masa total da la aceleración; y después la de uno solo de los cuerpos, para obtener la tensión. Las dos tienen que ser compatibles, y comprobarlo es lo que respalda el resultado.

**Cuerpos colgados de una polea:** se toma como positivo el sentido en el que se prevé que va a moverse el sistema. Entonces el que baja lleva el peso a favor y el que sube lo lleva en contra. La aceleración sale de dividir la diferencia de pesos entre la masa total.

**Fuerza aparente en un ascensor:** lo que marca una báscula es la fuerza que hace el suelo,  $N = m \cdot (g + a)$  si acelera hacia arriba y  $N = m \cdot (g - a)$  si lo hace hacia abajo. ■ El **peso del cuerpo no cambia** por subir en un ascensor: lo que cambia es esa fuerza del suelo.

10

Dos bloques apoyados en una mesa horizontal están unidos por una cuerda: el primero tiene una masa de 2 kg y el segundo, de 4 kg. Se tira del primero con una fuerza horizontal de 12 N y el conjunto desliza sin rozamiento apreciable. Halla: (a) la aceleración del conjunto; (b) la tensión de la cuerda; (c) por qué esa tensión no coincide con la fuerza aplicada.

#### Solución

(a) La fuerza exterior mueve a los dos bloques a la vez, y los dos llevan la misma aceleración porque la cuerda no se estira. Aplicando la segunda ley al conjunto:  $a = F \div (m_1 + m_2) = (12 \text{ N}) \div (2 \text{ kg} + 4 \text{ kg}) = (12 \text{ N}) \div (6 \text{ kg}) = 2 \text{ m/s}^2$ .

La unidad encaja: un newton equivale a un kilogramo multiplicado por un metro y dividido entre un segundo al cuadrado. Así, los newtons partidos por kilogramos dejan  $\text{m/s}^2$ .

(b) La única fuerza horizontal que actúa sobre el segundo bloque es la tensión, así que basta con escribir su ecuación:  $T = m_2 \cdot a = (4 \text{ kg}) \times (2 \text{ m/s}^2) = 8 \text{ N}$ .

Comprobación con el otro bloque: sobre el primero actúan la fuerza aplicada hacia delante y la tensión hacia atrás. Su ecuación queda  $12 \text{ N} - 8 \text{ N} = 4 \text{ N}$ , que efectivamente vale  $(2 \text{ kg}) \times (2 \text{ m/s}^2)$ . Las dos ecuaciones son compatibles, y ese acuerdo es lo que respalda el valor de la tensión.

(c) La tensión vale 8 N y no 12 N porque la cuerda solo tiene que arrastrar al segundo bloque. De los 12 N aplicados, 4 N se emplean en acelerar al primero y los 8 N restantes son los que viajan por la cuerda.

▲ De ahí sale un resultado útil: si los dos bloques se intercambiaran de sitio, con la fuerza aplicada al de 4 kg, la aceleración seguiría siendo de  $2 \text{ m/s}^2$ . Lo que cambiaría es la tensión, que pasaría a ser  $(2 \text{ kg}) \times (2 \text{ m/s}^2) = 4 \text{ N}$ . La tensión no la fija solo la masa que arrastra la cuerda: también la fuerza aplicada, porque sale de multiplicar esa fuerza por la masa arrastrada y de dividir entre la masa total.

11

De los dos extremos de una cuerda que pasa por una polea sujeta al techo cuelgan dos cuerpos: uno de 6 kg y otro de 4 kg. La cuerda es inextensible y de masa despreciable, y la polea es ideal: sin rozamiento y con una inercia tan pequeña que no cuenta. Solo con eso la tensión es la misma en los dos extremos. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la aceleración con que se mueve el sistema; (b) la tensión de la cuerda; (c) la comprobación de esa tensión con el otro cuerpo.

#### Solución

(a) Se toma como positivo el sentido en el que va a moverse el sistema: el cuerpo de 6 kg baja y el de 4 kg sube. Los pesos valen 58,8 N y 39,2 N, resultado de multiplicar cada masa por  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Para el conjunto, la fuerza que lo mueve es la diferencia de los dos pesos. Y la masa que se pone en movimiento es la de los dos juntos:  $a = (58,8 \text{ N} - 39,2 \text{ N}) \div (6 \text{ kg} + 4 \text{ kg}) = (19,6 \text{ N}) \div (10 \text{ kg}) = 1,96 \text{ m/s}^2$ .

(b) Ahora se aísla el cuerpo que sube, el de 4 kg: sobre él actúan la tensión hacia arriba y su peso hacia abajo, y el resultado es una aceleración hacia arriba. Queda  $T - 39,2 \text{ N} = (4 \text{ kg}) \times (1,96 \text{ m/s}^2) = 7,84 \text{ N}$ .

De ahí,  $T = 39,2 \text{ N} + 7,84 \text{ N} = 47,04 \text{ N}$ . Es mayor que el peso del cuerpo que sube, y tiene que serlo: si fuera igual, ese cuerpo no subiría con aceleración.

(c) Con el cuerpo que baja, el de 6 kg, la ecuación es  $58,8 \text{ N} - T = (6 \text{ kg}) \times (1,96 \text{ m/s}^2) = 11,76 \text{ N}$ . De ahí,  $T = 58,8 \text{ N} - 11,76 \text{ N} = 47,04 \text{ N}$ . Sale el mismo valor, y ese acuerdo es lo que valida los dos pasos anteriores.

▲ La tensión no vale 58,8 N ni 39,2 N, sino un valor intermedio entre los dos pesos. Un resultado fuera de ese intervalo sería imposible por mucho que las unidades cuadraran. Esa es la revisión que conviene hacer antes de dar el ejercicio por terminado.

Una persona de 60 kg se sube a una báscula dentro de un ascensor. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla lo que marca la báscula, expresado como fuerza en newtons, en estos tres casos: (a) el ascensor sube acelerando a  $1,2 \text{ m/s}^2$ ; (b) el ascensor baja acelerando hacia abajo a  $1,2 \text{ m/s}^2$ ; (c) el ascensor se mueve con velocidad constante.

### Solución

Lo primero es separar dos cosas que se confunden: el **peso** de la persona vale  $P = m \cdot g$ , es decir 60 kg por  $9,8 \text{ m/s}^2$ , que son 588 N, y no cambia en ningún momento. Lo que marca la báscula es la **fuerza que hace el suelo** sobre ella, y es esa la que se pide.

(a) Con la aceleración hacia arriba, la fuerza del suelo tiene que superar al peso:  $N - P = m \cdot a$ , y la aceleración que se suma al valor de la gravedad deja  $9,8 \text{ m/s}^2$  más  $1,2 \text{ m/s}^2$ , o sea  $11 \text{ m/s}^2$ . De ahí,  $N = (60 \text{ kg}) \times (11 \text{ m/s}^2) = \mathbf{660 \text{ N}}$ .

(b) Con la aceleración hacia abajo, ocurre lo contrario:  $P - N = m \cdot a$ , y ahora lo que se resta deja  $9,8 \text{ m/s}^2$  menos  $1,2 \text{ m/s}^2$ , o sea  $8,6 \text{ m/s}^2$ . De ahí,  $N = (60 \text{ kg}) \times (8,6 \text{ m/s}^2) = \mathbf{516 \text{ N}}$ .

(c) Con velocidad constante la aceleración es nula, la suma de fuerzas vale cero y entonces  $N = P = \mathbf{588 \text{ N}}$ . Ocurre igual si sube y si baja, porque lo que decide no es el sentido del movimiento sino el de la aceleración.

Los tres resultados encajan entre sí: 588 N queda justo en medio de 660 N y 516 N. Y las dos diferencias valen lo mismo:  $(60 \text{ kg}) \times (1,2 \text{ m/s}^2) = 72 \text{ N}$ . Esa simetría es una pista que avisa: si las dos diferencias no salieran iguales habría algo mal, aunque no diga qué. Puede ser un signo cambiado, y puede ser una de las dos restas hecha con el valor equivocado.

▲ Conviene no decir que la persona pesa más al subir: su peso sigue siendo de 588 N, porque ni su masa ni el planeta han cambiado. Lo que cambia es la fuerza que ejerce el suelo, que es lo que uno nota en los pies y lo que mide el aparato.

Una lámpara de 20 kg cuelga del techo sujeta por dos cuerdas iguales. Cada una forma un ángulo de  $30^\circ$  con la vertical. Datos:  $\cos 30^\circ = 0,866$  y la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la tensión de cada cuerda; (b) qué le ocurre a esa tensión si se separan más las cuerdas, de modo que el ángulo con la vertical aumente.

### Solución

(a) La lámpara está quieta, así que la suma de fuerzas es cero. En el eje vertical actúan hacia abajo su peso,  $P = m \cdot g = 196 \text{ N}$ , que sale de multiplicar 20 kg por  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Las componentes verticales de las dos tensiones tiran hacia arriba.

La componente vertical de cada tensión vale  $T \cdot \cos 30^\circ$ , porque el ángulo está medido con la vertical. Como las dos cuerdas son iguales, el equilibrio queda  $2 \times T \times 0,866 = 196 \text{ N}$ .

Se despeja:  $T = (196 \text{ N}) \div 1,732 = \mathbf{113,16 \text{ N}}$  en cada cuerda.

Conviene fijarse en que la suma de las dos tensiones, 226,32 N, es **mayor** que el peso de la lámpara. No hay contradicción: solo la parte vertical de cada una sostiene la lámpara, y las partes horizontales se anulan entre sí porque tiran en sentidos opuestos.

(b) Al aumentar el ángulo con la vertical, su coseno se hace más pequeño, y como ese coseno está dividiendo, la tensión **aumenta**. Con las cuerdas casi horizontales el coseno se acerca a cero y la tensión se dispara. Es la razón de que un cable tendido entre dos postes lejanos acabe siempre con una comba.

▲ El caso límite es útil para comprobar el planteamiento: con las cuerdas verticales, el coseno valdría 1 y la tensión de cada una sería  $(196 \text{ N}) \div 2 = 98 \text{ N}$ , justo la mitad del peso. Cualquier resultado menor que 98 N sería imposible.

## El rozamiento y el plano inclinado

### Lo que hay que saber

**Fuerza de rozamiento:**  $F_r = \mu \cdot N$ , en newtons, donde  $N$  es la fuerza normal. El **coeficiente de rozamiento  $\mu$  no tiene unidad**, porque es el cociente de dos fuerzas. Depende de las dos superficies que se tocan, no de lo grande que sea el cuerpo.

**Estático y dinámico:** mientras el cuerpo está quieto el rozamiento vale justo lo que hace falta para que no se mueva, hasta un tope  $\mu_e \cdot N$ ; en cuanto desliza pasa a valer  $\mu_d \cdot N$ , que suele ser algo menor. ▲ El rozamiento actúa en contra del deslizamiento de una superficie sobre la otra, y eso no significa que frene siempre al cuerpo: al caminar o al arrancar un vehículo, esa fuerza del suelo es la que impulsa hacia delante.

**Plano inclinado:** con una rampa que forma un ángulo  $\alpha$  con la horizontal, el peso se descompone en una componente que baja por la rampa,  $m \cdot g \cdot \text{sen } \alpha$ , y otra que aprieta contra ella,  $m \cdot g \cdot \text{cos } \alpha$ . Esa segunda es la que determina la normal:  $N = m \cdot g \cdot \text{cos } \alpha$ .

**Bajando por la rampa** con rozamiento, la aceleración vale  $a = g \cdot (\text{sen } \alpha - \mu \cdot \text{cos } \alpha)$ , en  $\text{m/s}^2$ . Si ese paréntesis sale negativo, el cuerpo no arranca solo: el rozamiento estático puede con la componente del peso.

**El ángulo de deslizamiento:** si se va inclinando poco a poco y el cuerpo empieza a moverse al llegar a un ángulo  $\alpha$ , entonces  $\mu_e = \text{tg } \alpha$ . Es una forma limpia de medir un coeficiente estático, porque la masa se simplifica y no hace falta pesar nada.

- 14** Un bloque de 10 kg se empuja por un suelo horizontal mediante una fuerza de 40 N, también horizontal. Entre el bloque y el suelo el coeficiente de rozamiento vale 0,25, y se toma ese mismo valor para el estático y para el dinámico. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la fuerza normal; (b) la fuerza de rozamiento; (c) la aceleración del bloque.

### Solución

(a) En el eje vertical el bloque no se mueve, de modo que la suma de fuerzas en ese eje es cero: la normal equilibra al peso.  $N = m \cdot g$ , o sea 10 kg por  $9,8 \text{ m/s}^2$ , que dan **98 N**.

Esto vale porque la fuerza aplicada es horizontal y no tiene componente vertical. Si se empujara hacia abajo en diagonal, la normal sería mayor, y si se tirara hacia arriba en diagonal, menor.

(b) La fuerza de rozamiento es el producto del coeficiente por la normal:  $F_r = 0,25 \times (98 \text{ N}) = \mathbf{24,5 \text{ N}}$ . El coeficiente no lleva unidad, así que el resultado sale en newtons, como tiene que ser.

(c) En el eje horizontal actúan los 40 N aplicados hacia delante y los 24,5 N del rozamiento hacia atrás. La resultante vale  $40 \text{ N} - 24,5 \text{ N} = 15,5 \text{ N}$ .

Y con la segunda ley,  $a = (15,5 \text{ N}) \div (10 \text{ kg}) = \mathbf{1,55 \text{ m/s}^2}$ . El bloque acelera, aunque despacio, porque la fuerza aplicada supera a la de rozamiento.

▲ Merece la pena ver el caso contrario: si la fuerza aplicada fuera de 20 N, ese valor quedaría por debajo de los 24,5 N del rozamiento y el bloque **no** arrancaría. No saldría una aceleración negativa: sencillamente el rozamiento se quedaría en 20 N, lo justo para que la suma fuera cero.

- 15** Un cuerpo de 8 kg se deja en lo alto de una rampa que forma  $30^\circ$  con la horizontal. Datos:  $\text{sen } 30^\circ = 0,5$ ,  $\text{cos } 30^\circ = 0,866$  y la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la aceleración con que bajaría si no hubiera rozamiento; (b) la aceleración real mientras baja, sabiendo que el coeficiente de rozamiento dinámico vale 0,20 y que el estático tiene ese mismo valor; (c) la rapidez que lleva tras recorrer 10 m por la rampa, partiendo del reposo.

### Solución

(a) El peso se descompone en dos direcciones: una paralela a la rampa, que vale  $m \cdot g \cdot \text{sen } 30^\circ$ , y otra perpendicular,  $m \cdot g \cdot \text{cos } 30^\circ$ . Sin rozamiento, la paralela es la única fuerza que mueve al

cuerpo.

$a = g \cdot \sin 30^\circ$ , o sea la mitad de  $9,8 \text{ m/s}^2$ : sale  **$4,9 \text{ m/s}^2$** . La masa desaparece del resultado, de modo que un cuerpo de  $80 \text{ kg}$  bajaría exactamente igual.

(b) Con rozamiento hay que restar su fuerza. La normal ya no es el peso entero sino su componente perpendicular:  $N = m \cdot g \cdot \cos 30^\circ$ , o sea  $8 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$  multiplicado por  $0,866$ , que dan  $67,8944 \text{ N}$ . De ahí,  $F_r = 0,20 \times (67,8944 \text{ N}) = 13,5789 \text{ N}$ .

La componente del peso paralela a la rampa sale de  $8 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$  multiplicado por  $0,5$ : son  $39,2 \text{ N}$ . La resultante vale entonces  $39,2 \text{ N} - 13,5789 \text{ N} = 25,6211 \text{ N}$ . Y la aceleración sale de  $a = (25,6211 \text{ N}) \div (8 \text{ kg}) = \mathbf{3,20 \text{ m/s}^2}$ .

Sale la misma cifra por el camino corto, que es la expresión con la masa ya simplificada:  $a = g \cdot (\sin 30^\circ - 0,20 \times \cos 30^\circ)$ , donde el paréntesis vale  $0,5 - 0,1732 = 0,3268$ . El producto por la gravedad da  $3,20 \text{ m/s}^2$ .

(c) Con aceleración constante y partiendo del reposo, la rapidez tras recorrer una distancia  $d$  cumple  $v^2 = 2 \cdot a \cdot d = 2 \times (3,20264 \text{ m/s}^2) \times (10 \text{ m}) = 64,0528 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , y la raíz de ese valor es  **$v = 8,00 \text{ m/s}$** .

▲ El paréntesis del camino corto avisa de si el cuerpo puede bajar acelerando: aquí vale  $0,3268$  y es positivo. Con un coeficiente de  $0,60$  saldría  $0,5 - 0,5196$ , un número negativo, y eso no significa que el cuerpo suba. Si el cuerpo ya venía deslizando, ese signo dice que va frenando; y para saber si llega a arrancar desde el reposo hace falta el coeficiente **estático**, comparando la componente del peso con el rozamiento máximo.

16

Un cuerpo de  $4 \text{ kg}$  está sobre un tablero horizontal. Se va inclinando el tablero poco a poco y el cuerpo empieza a deslizar justo cuando la inclinación llega a  $25^\circ$ . Datos:  $\sin 25^\circ = 0,423$ ,  $\tan 25^\circ = 0,466$  y la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) el coeficiente de rozamiento estático, **deduciéndolo del equilibrio de fuerzas** y no de ninguna expresión ya hecha; (b) cuánto vale la fuerza de rozamiento en el instante anterior a deslizar; (c) si el resultado del primer apartado cambiaría con un cuerpo de otra masa.

#### Solución

(a) Justo antes de deslizar el cuerpo sigue quieto, de modo que la componente del peso paralela al tablero y la fuerza de rozamiento se compensan:  $m \cdot g \cdot \sin \alpha = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$ .

La masa y la intensidad de la gravedad aparecen en los dos lados y se simplifican, y queda  $\mu = \sin \alpha \div \cos \alpha = \tan \alpha$ . Con el dato del enunciado,  **$\mu = 0,466$** , un número sin unidad porque es un cociente de fuerzas.

(b) En ese instante la fuerza de rozamiento vale exactamente lo mismo que la componente del peso que tira hacia abajo por el tablero:  $F_r = m \cdot g \cdot \sin 25^\circ$ , o sea  $4 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$  multiplicado por  $0,423$ , que dan  **$16,58 \text{ N}$** .

Se llega ahí por el equilibrio, no por la expresión del rozamiento: mientras el cuerpo está quieto, el rozamiento vale justo lo que hace falta, y solo en el instante límite alcanza su tope.

(c) **No cambiaría**. En el despeje del primer apartado la masa desaparece. El ángulo al que un cuerpo empieza a deslizar depende solo de las dos superficies. Con  $8 \text{ kg}$  la fuerza de rozamiento del segundo apartado sí sería el doble,  $33,16 \text{ N}$ , pero el ángulo seguiría siendo de  $25^\circ$ .

▲ Esa independencia de la masa es lo que hace útil el método: para medir un coeficiente de rozamiento no hace falta ninguna balanza ni ningún dinamómetro. Basta con ir inclinando y anotar el ángulo al que el cuerpo arranca.

## La cantidad de movimiento y los choques

### Lo que hay que saber

**Cantidad de movimiento:**  $p = m \cdot v$ , en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ . Es un vector que apunta hacia donde apunta la velocidad, así que en un movimiento por una recta se maneja con signos: lo que va hacia un lado, positivo; lo que va hacia el otro, negativo.

**Impulso mecánico:**  $I = F \cdot \Delta t$ , en  $\text{N} \cdot \text{s}$ , y coincide con la variación de la cantidad de movimiento:  $F \cdot \Delta t = \Delta p = m \cdot v(\text{final}) - m \cdot v(\text{inicial})$ . De ahí sale la fuerza media de un golpe, que es lo que permite comparar un choque contra un muro con otro contra un colchón.

▲ **En un rebote hay que cambiar el signo** de la velocidad de salida. Por eso la variación es mayor que en un choque en el que el cuerpo se queda parado. Olvidar ese signo cambia el resultado, y las unidades no avisan: sigue saliendo en  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ .

**Conservación:** si sobre un conjunto de cuerpos no actúan fuerzas exteriores apreciables, la **suma** de las cantidades de movimiento antes y después es la misma. Eso vale para choques, para explosiones y para dos personas que se empujan.

▪ **La energía cinética no se conserva en todos los choques.** Si los cuerpos quedan unidos, parte de ella se transforma en deformación y en calentamiento; ese caso es el **choque perfectamente inelástico**, y en él los dos salen con la misma velocidad. Lo que se conserva en todos los casos es la cantidad de movimiento.

- 17** Una pelota de 0,15 kg llega perpendicularmente a una pared con una rapidez de 20 m/s. Sale rebotada en sentido contrario con 25 m/s. El contacto con la pared dura 0,02 s. Halla: (a) la variación de la cantidad de movimiento, con su signo; (b) la fuerza media que la pared ha ejercido sobre la pelota; (c) cuánto valdría esa variación si la pelota se quedara pegada a la pared.

### Solución

Antes de calcular hay que fijar el criterio de signos, porque todo el ejercicio depende de él: se toma como positivo el sentido en el que la pelota se acerca a la pared. Entonces la velocidad de llegada es + 20 m/s y la de salida, **- 25 m/s**.

(a)  $\Delta p = m \cdot v(\text{final}) - m \cdot v(\text{inicial}) = (0,15 \text{ kg}) \times (-25 \text{ m/s}) - (0,15 \text{ kg}) \times (20 \text{ m/s}) = -3,75 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = \mathbf{-6,75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$ .

Ese menos no es un adorno: dice que la cantidad de movimiento ha pasado al sentido contrario al de llegada, que es justo lo que se ve: la pelota vuelve. Olvidar el cambio de signo daría 0,75 kg · m/s, un número con la unidad correcta y nueve veces menor.

(b) La fuerza media sale del impulso:  $F \cdot \Delta t = \Delta p$ , o sea  $F = (-6,75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}) \div (0,02 \text{ s}) = \mathbf{-337,5 \text{ N}}$ . Su módulo es de 337,5 N. Y su sentido es el contrario al de llegada, que es el que hace falta para frenarla y devolverla.

(c) Si la pelota se quedara pegada, la velocidad final sería nula:  $\Delta p = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (0,15 \text{ kg}) \times (20 \text{ m/s}) = \mathbf{-3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$ , menos de la mitad que en el rebote.

▲ De ahí sale la idea útil del tema: **rebotar exige más fuerza que quedarse parado**, porque hay que frenar la pelota y además lanzarla de vuelta. Y alargar el contacto la reduce: con 0,2 s en lugar de 0,02 s, la fuerza media del rebote bajaría a 33,75 N.

18

Un turismo de 1.200 kg se mueve a 20 m/s y choca contra otro de 800 kg que está parado. Los dos quedan enganchados y siguen juntos. Halla: (a) la rapidez con la que se mueven después del choque; (b) la energía cinética antes y después; (c) la energía que se ha disipado en el choque.

#### Solución

(a) En el choque no actúan fuerzas exteriores apreciables en la dirección del movimiento, así que la cantidad de movimiento total se conserva. Antes vale  $p = (1.200 \text{ kg}) \times (20 \text{ m/s}) + (800 \text{ kg}) \times (0 \text{ m/s}) = 24.000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

Después los dos van juntos, con la masa sumada:  $24.000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = (2.000 \text{ kg}) \times v$ , de donde  **$v = 12 \text{ m/s}$** . Sale menor que la del coche que embiste, y tiene que serlo, porque ahora hay más masa moviéndose con la misma cantidad de movimiento.

(b) Antes del choque solo se mueve uno de los dos, y el cuadrado de su velocidad vale  $400 \text{ m}^2/\text{s}^2$ :  $E_c = \frac{1}{2} \times (1.200 \text{ kg}) \times (400 \text{ m}^2/\text{s}^2) = \mathbf{240.000 \text{ J}}$ .

Después se mueven los dos juntos:  $E_c = \frac{1}{2} \times (2.000 \text{ kg}) \times (12 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times (2.000 \text{ kg}) \times (144 \text{ m}^2/\text{s}^2) = \mathbf{144.000 \text{ J}}$ .

(c) La diferencia es lo que ha desaparecido en forma de deformación de las chapas y de calentamiento:  $240.000 \text{ J} - 144.000 \text{ J} = \mathbf{96.000 \text{ J}}$ , es decir el 40 % de la energía cinética inicial.

▲ Este es el punto que conviene tener claro: en el choque se conserva la **cantidad de movimiento** y no se conserva la **energía cinética**. Comprobar que la energía cinética salía igual antes y después llevaría a rehacer un ejercicio que estaba bien.

19

Dos patinadores están quietos en una pista de hielo, uno enfrente del otro, y se dan un empujón. El primero tiene una masa de 60 kg y sale con una rapidez de 2 m/s. El segundo tiene una masa de 40 kg. Se desprecia el rozamiento con el hielo. Halla: (a) la velocidad con la que sale el segundo, con su signo; (b) la comprobación de que la cantidad de movimiento total sigue siendo la misma; (c) de dónde sale la energía cinética que ahora tienen los dos.

#### Solución

(a) Se toma como positivo el sentido en el que sale el primero. Antes del empujón los dos están quietos, así que la cantidad de movimiento total vale  $0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , y después tiene que seguir valiendo lo mismo.

$0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = (60 \text{ kg}) \times (2 \text{ m/s}) + (40 \text{ kg}) \times v$ , es decir  $0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 120 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + (40 \text{ kg}) \times v$ , de donde  $v = (-120 \text{ kg} \cdot \text{m/s}) \div (40 \text{ kg}) = \mathbf{-3 \text{ m/s}}$ .

El signo negativo no es un descuido: dice que el segundo patinador sale en sentido contrario al primero, que es lo que ocurre. Y su rapidez es mayor porque tiene menos masa.

(b) Se suman las dos cantidades de movimiento con su signo:  $(60 \text{ kg}) \times (2 \text{ m/s}) + (40 \text{ kg}) \times (-3 \text{ m/s}) = 120 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 120 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = \mathbf{0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$ . Coincide con el valor de partida.

(c) La energía cinética después vale  $\frac{1}{2} \times (60 \text{ kg}) \times (4 \text{ m}^2/\text{s}^2) + \frac{1}{2} \times (40 \text{ kg}) \times (9 \text{ m}^2/\text{s}^2) = 120 \text{ J} + 180 \text{ J} = \mathbf{300 \text{ J}}$ . Antes valía  $0 \text{ J}$ .

▲ Que la energía cinética aumente de  $0 \text{ J}$  a  $300 \text{ J}$  no contradice nada: esa energía la han puesto los músculos de los dos patinadores. Lo que no puede cambiar sin fuerzas exteriores es la cantidad de movimiento, y por eso las dos sumas dan cero.

## El trabajo, el teorema de las fuerzas vivas y la energía mecánica

### Lo que hay que saber

**Trabajo de una fuerza constante:**  $W = F \cdot d \cdot \cos \alpha$ , en **julios**, donde  $\alpha$  es el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento. Con  $\alpha = 90^\circ$  el trabajo es nulo, y por eso la fuerza normal y el peso no trabajan cuando el movimiento es horizontal.

**El signo del trabajo se lee:** positivo cuando la fuerza empuja a favor del movimiento y negativo cuando lo frena. El trabajo del rozamiento sobre un cuerpo que desliza **sobre una superficie quieta** en el sistema de referencia que se use es **negativo**, porque esa fuerza apunta al revés que su desplazamiento; si la superficie también se mueve, o si el rozamiento es estático y arrastra al cuerpo, ese trabajo sale positivo; el del peso es negativo mientras el cuerpo sube y positivo mientras baja.

**Teorema de las fuerzas vivas:** la suma de los trabajos de **todas** las fuerzas es igual a la variación de energía cinética:  **$W(\text{total}) = \Delta E_c$** , la de llegada menos la de partida. Es el camino corto cuando piden una velocidad y no hace falta el tiempo.

**Fuerzas conservativas y energía potencial:** el peso y la fuerza de un muelle guardan el trabajo en forma de energía potencial,  $E_p = m \cdot g \cdot h$  la primera y  $\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$  la segunda, con  $k$  en N/m y  $x$  la deformación en metros. El rozamiento no es de ese tipo: lo que se lleva no se recupera.

**Energía mecánica**  $E_m = E_c + E_p$ . Se mantiene si solo trabajan fuerzas conservativas. Si además hay rozamiento, se cumple  **$W(\text{rozamiento}) = \Delta E_m$** : un número negativo que dice cuánta energía mecánica ha desaparecido del balance.

- 20** Se arrastra un cajón de 10 kg a lo largo de 8 m por un suelo horizontal. Se tira de él con una fuerza de 50 N que forma  $60^\circ$  con el suelo. El rozamiento vale 12 N. Datos:  $\cos 60^\circ = 0,5$  y la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) el trabajo de la fuerza aplicada; (b) el trabajo del peso y el de la fuerza normal; (c) el trabajo del rozamiento; (d) el trabajo total.

### Solución

- (a) El trabajo de una fuerza constante es  $W = F \cdot d \cdot \cos \alpha$ , con  $\alpha$  el ángulo que forman la fuerza y el desplazamiento:  $W = (50 \text{ N}) \times (8 \text{ m}) \times 0,5 = \mathbf{200 \text{ J}}$ . Solo la parte de la fuerza que va en la dirección del avance cuenta.
- (b) El peso y la normal son perpendiculares al desplazamiento, que es horizontal, así que su coseno vale cero y los dos trabajos son **0 J**. Ninguna de las dos fuerzas ayuda ni estorba al avance, por grandes que sean.
- (c) El rozamiento apunta justo al revés que el desplazamiento, de modo que su coseno vale  $-1$ :  $W_r = (12 \text{ N}) \times (8 \text{ m}) \times (-1) = \mathbf{-96 \text{ J}}$ . Ese signo negativo no es opcional, y es la diferencia entre tener bien el ejercicio y tenerlo mal.
- (d) El trabajo total es la suma de los cuatro, cada uno con su signo:  $200 \text{ J} + 0 \text{ J} + 0 \text{ J} - 96 \text{ J} = \mathbf{104 \text{ J}}$ . Al ser positivo, el cajón termina moviéndose más deprisa que al principio.
- ▲ Aquí se ve que revisar las unidades no es suficiente: con el rozamiento escrito en positivo saldría un trabajo total de 296 J, también en julios y sin nada raro a la vista. Lo que delata el error es el sentido físico, porque una fuerza que frena no puede aportar energía.

- 21** Un trineo de 20 kg se desliza por una superficie horizontal a 8 m/s. Se detiene tras recorrer 16 m por efecto del rozamiento. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) el trabajo total realizado sobre el trineo; (b) la fuerza de rozamiento; (c) el coeficiente de rozamiento.

### Solución

- (a) El teorema de las fuerzas vivas dice que el trabajo total es la variación de energía cinética. La final es nula, porque el trineo se para. La inicial vale  $\frac{1}{2} \times (20 \text{ kg}) \times (8 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times (20 \text{ kg}) \times (64 \text{ m}^2/\text{s}^2) = \mathbf{640 \text{ J}}$ .

Por tanto  $W(\text{total}) = 0 \text{ J} - 640 \text{ J} = -640 \text{ J}$ . Es negativo, como tiene que ser cuando el móvil acaba más despacio de lo que empezó.

(b) Las únicas fuerzas que trabajan son el rozamiento, porque el peso y la normal son perpendiculares al movimiento. Así que ese trabajo total es el del rozamiento:  $-640 \text{ J} = -F_r \times (16 \text{ m})$ . De ahí,  $F_r = (640 \text{ J}) \div (16 \text{ m}) = 40 \text{ N}$ . La unidad cuadra: un julio partido por un metro es un newton.

(c) La normal en un suelo horizontal coincide con el peso:  $N = m \cdot g = 196 \text{ N}$ , resultado de multiplicar  $20 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$ . El coeficiente es el cociente de las dos fuerzas:  $\mu = (40 \text{ N}) \div (196 \text{ N}) = 0,204$ , sin unidad.

▲ Este camino resuelve el problema sin calcular en ningún momento la aceleración ni la duración del frenado, que es la ventaja del teorema. Si además se quisiera la aceleración, saldría de dividir  $(40 \text{ N})$  entre  $(20 \text{ kg})$ , es decir  $2 \text{ m/s}^2$  de frenado.

22

Un muelle de constante elástica  $500 \text{ N/m}$  se comprime  $0,20 \text{ m}$  y se suelta. El muelle lanza un bloque de  $2 \text{ kg}$  por una superficie horizontal sin rozamiento. El bloque sube después por una rampa, también sin rozamiento. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la energía potencial almacenada en el muelle; (b) la rapidez con que sale disparado el bloque; (c) la altura máxima a la que llega por la rampa.

#### Solución

(a) La energía potencial de un muelle comprimido o estirado una longitud  $x$  vale  $\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ , o sea  $\frac{1}{2} \times (500 \text{ N/m}) \times (0,20 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times (500 \text{ N/m}) \times (0,04 \text{ m}^2) = 10 \text{ J}$ .

La unidad sale bien: newtons por metro multiplicados por metros al cuadrado dan newtons por metro, que son julios.

(b) Al soltar el muelle, toda esa energía pasa a energía cinética del bloque, porque no hay rozamiento:  $10 \text{ J} = \frac{1}{2} \times (2 \text{ kg}) \times v^2$ . De ahí,  $v^2 = (10 \text{ J}) \div (1 \text{ kg}) = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , con lo que  $v = 3,16 \text{ m/s}$ .

(c) Al subir por la rampa, esa energía cinética se va convirtiendo en energía potencial del peso. En el punto más alto el bloque se para, de modo que  $10 \text{ J} = m \cdot g \cdot h$ , y el producto  $m \cdot g$  vale  $19,6 \text{ N}$ , porque son  $2 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Se despeja:  $h = (10 \text{ J}) \div (19,6 \text{ N}) = 0,51 \text{ m}$ . Un julio dividido entre un newton es un metro, así que la unidad confirma el despeje.

▲ Merece la pena ver que la masa no interviene en la altura del mismo modo que en la rapidez: un bloque de  $8 \text{ kg}$  lanzado por ese mismo muelle saldría a la mitad de rapidez,  $1,58 \text{ m/s}$ . Y subiría solo hasta  $0,13 \text{ m}$ . Lo que se reparte es siempre la misma energía de  $10 \text{ J}$ .

23

Un bloque de  $2 \text{ kg}$  empieza a subir por una rampa con una rapidez de  $10 \text{ m/s}$ . Llega, como mucho, a  $4 \text{ m}$  de altura sobre el punto de partida. Dato: la intensidad de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Halla: (a) la energía mecánica al empezar a subir; (b) la energía mecánica en el punto más alto; (c) el trabajo del rozamiento, con su signo, y la altura a la que habría llegado sin rozamiento.

#### Solución

(a) Tomando como origen de alturas el punto de partida, allí la energía potencial es nula y la mecánica coincide con la cinética:  $E_m = \frac{1}{2} \times (2 \text{ kg}) \times (10 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times (2 \text{ kg}) \times (100 \text{ m}^2/\text{s}^2) = 100 \text{ J}$ .

(b) En el punto más alto el bloque está parado, así que toda la energía mecánica es potencial:  $E_m = m \cdot g \cdot h$ , o sea  $2 \text{ kg}$  por  $9,8 \text{ m/s}^2$  multiplicado por  $4 \text{ m}$ , que son **78,4 J**.

(c) El rozamiento es el responsable de la diferencia, y esa diferencia es su trabajo:  $W_r = 78,4 \text{ J} - 100 \text{ J} = -21,6 \text{ J}$ . Sale negativo, que es el único signo posible para el trabajo de una fuerza que se opone al avance.

Sin rozamiento, los  $100 \text{ J}$  se habrían convertido íntegramente en energía potencial:  $100 \text{ J} = m \cdot g \cdot h$ , donde el producto  $m \cdot g$  vale  $19,6 \text{ N}$ , de modo que  $h = (100 \text{ J}) \div (19,6 \text{ N}) = 5,10 \text{ m}$ .

La comprobación que cierra el ejercicio: la diferencia de alturas vale  $5,102\text{ m} - 4\text{ m} = 1,102\text{ m}$ . Multiplicada por el peso de  $19,6\text{ N}$  da  $21,6\text{ J}$ , que es exactamente lo que se llevó el rozamiento. Los dos caminos coinciden.

▲ Por eso no se puede decir que la energía mecánica se conserve sin mirar antes si hay rozamiento. La que se conserva en cualquier caso es la energía total: los  $21,6\text{ J}$  que faltan del balance mecánico no han desaparecido, están calentando la rampa y el bloque.

## La formulación y la nomenclatura inorgánica

### Lo que hay que saber

**Número de oxidación:** la carga que tendría cada átomo si los electrones del enlace se asignaran al más electronegativo. En un compuesto neutro **la suma de todos vale cero**, y en un ion poliatómico vale la carga del ion. El oxígeno actúa con  $-2$  salvo en los peróxidos, donde vale  $-1$ , y en sus compuestos con flúor, donde actúa con signo positivo; el hidrógeno actúa con  $+1$  salvo en los hidruros metálicos.

**Oxoácidos:** se escriben como  $\text{H}_a\text{X}_b\text{O}_c$  y salen de sumar agua a un óxido; el de este curso es siempre de un no metal, aunque también los forman algunos metales en sus números de oxidación altos. Los sufijos clásicos ordenan los números de oxidación de menor a mayor: hipo-...-oso, -oso, -ico y per-...-ico. La nomenclatura de Stock pone ese número entre paréntesis y en números romanos.

**Oxosales:** se obtienen sustituyendo los hidrógenos del oxoácido por un metal, y el nombre cambia la terminación: -oso pasa a -ito y -ico pasa a -ato. Si queda algún hidrógeno sin sustituir, el nombre lo recoge con el prefijo hidrogeno-.

**Cómo se cierra una fórmula:** se intercambian los números de oxidación como subíndices y se comprueba que la suma de cargas da cero. ■ **Simplificar el divisor común no es automático:** vale en los óxidos y en las sales, pero no en los peróxidos, donde el grupo  $\text{O}_2$  va entero y simplificar llevaría de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $\text{HO}$ . ▲ Y la suma de cargas comprueba que los subíndices encajan con los números de oxidación elegidos; qué compuesto es lo dice el nombre, no ella.

**Los paréntesis no son un adorno:** cuando hay más de un grupo poliatómico se encierra el grupo entero y el subíndice va fuera, como en  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Escribirlo sin paréntesis cambia el recuento de átomos y arruina cualquier cálculo posterior.

24

Escribe la fórmula de los cuatro compuestos siguientes y comprueba en cada uno que los números de oxidación suman cero: (a) ácido perclórico; (b) ácido carbónico; (c) hidróxido de hierro(III); (d) peróxido de hidrógeno. Datos de números de oxidación: H  $+1$ ; O  $-2$ , salvo en los peróxidos, donde actúa con  $-1$ ; Cl  $+7$  en el perclórico; C  $+4$  en el carbónico; Fe  $+3$ ; el grupo hidróxido OH actúa en conjunto con  $-1$ .

### Solución

(a) El prefijo per- con la terminación -ico señala el número de oxidación más alto del cloro, que aquí es  $+7$ . La fórmula queda  **$\text{HClO}_4$** , y la suma vale  $(+1) + (+7) + 4 \times (-2) = 8 - 8 = 0$ .

(b) Con el carbono actuando con  $+4$  y dos hidrógenos:  **$\text{H}_2\text{CO}_3$** . Comprobación:  $2 \times (+1) + (+4) + 3 \times (-2) = 2 + 4 - 6 = 0$ .

(c) El hierro actúa con  $+3$  y el grupo hidróxido con  $-1$ , así que hacen falta tres grupos por cada átomo de hierro:  **$\text{Fe}(\text{OH})_3$** . Suma:  $(+3) + 3 \times (-1) = 0$ . Los paréntesis son obligatorios, porque el subíndice afecta al grupo entero.

(d) En los peróxidos el oxígeno actúa con  $-1$ , de modo que dos oxígenos aportan  $-2$  y hacen falta dos hidrógenos:  **$\text{H}_2\text{O}_2$** . Suma:  $2 \times (+1) + 2 \times (-1) = 0$ .

▲ Conviene comparar los dos últimos con sus parientes: sin los paréntesis,  $\text{FeOH}_3$  tendría un solo oxígeno y tres hidrógenos, que es otra sustancia distinta; y con el oxígeno actuando con  $-2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  no cerraría en cero. La escritura fija el recuento de átomos, y de ese recuento dependen todos los cálculos que vengan después.

25

Nombra estos cuatro compuestos: (a)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; (b)  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; (c)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; (d)  $\text{NaHCO}_3$ . Datos: el grupo  $\text{NO}_3$  forma el ion nitrato, con carga  $-1$ ; el grupo  $\text{SO}_4$  forma el ion sulfato, con carga  $-2$ ; el grupo  $\text{HCO}_3$  forma el ion hidrogenocarbonato, con carga  $-1$ ; números de oxidación: Ca  $+2$ , K  $+1$ , Al  $+3$ , Na  $+1$ .

#### Solución

(a) Un ion calcio con  $+2$  necesita dos iones nitrato de  $-1$  para quedar en cero. Es justo lo que dicen los paréntesis y el subíndice dos: **nitrato de calcio**. Comprobación de cargas:  $(+2) + 2 \times (-1) = 0$ .

(b) Dos iones potasio de  $+1$  compensan un ion sulfato de  $-2$ : **sulfato de potasio**. Cargas:  $2 \times (+1) + (-2) = 0$ .

(c) Con el aluminio en  $+3$  y el sulfato en  $-2$ , el menor múltiplo común de 3 y 2 es 6. Hacen falta entonces dos aluminios y tres sulfatos: **sulfato de aluminio**. Cargas: los dos aluminios aportan  $+6$  y los tres sulfatos,  $-6$ , con lo que el total queda en cero.

(d) El ion hidrogenocarbonato conserva un hidrógeno del ácido de partida, y su carga  $-1$  se compensa con un solo sodio: **hidrogenocarbonato de sodio**. Cargas:  $(+1) + (-1) = 0$ .

Recuento de átomos de los cuatro, que es lo que hará falta en los temas de cálculo: el primero tiene 1 calcio, 2 nitrógenos y 6 oxígenos; el segundo, 2 potasios, 1 azufre y 4 oxígenos; el tercero, 2 aluminios, 3 azufres y 12 oxígenos; el cuarto, 1 sodio, 1 hidrógeno, 1 carbono y 3 oxígenos.

▲ La terminación del nombre viene del ácido de origen: los que acaban en *-ico* dan sales en *-ato*, y los que acaban en *-oso* las dan en *-ito*. Por eso el nitrato procede del ácido nítrico, y el nitrito, del nitroso.

26

Calcula el número de oxidación del azufre en  $\text{SO}_2$ , en  $\text{SO}_3$  y en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y el del nitrógeno en  $\text{HNO}_3$ . Después razona si comprobar que los números de oxidación suman cero basta para asegurar que una fórmula es la que pedía el enunciado. Datos: O  $-2$  y H  $+1$  en todos ellos.

#### Solución

En  $\text{SO}_2$ : llamando  $x$  al número del azufre,  $x + 2 \times (-2) = 0$ , de donde  **$x = +4$** .

En  $\text{SO}_3$ :  $x + 3 \times (-2) = 0$ , así que  **$x = +6$** . Y en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  los dos hidrógenos aportan  $+2$  y los cuatro oxígenos,  $-8$ , así que  $x + 2 - 8 = 0$  y otra vez  **$x = +6$** . Es el mismo valor que en el trióxido.

En  $\text{HNO}_3$ :  $(+1) + x + 3 \times (-2) = 0$ , de donde  **$x = +5$** , que es el número más alto con el que actúa el nitrógeno.

Sobre la comprobación: **no basta**. Los dos óxidos de azufre de este ejercicio suman cero los dos, y son sustancias distintas:  $\text{SO}_2$  con el azufre en  $+4$  y  $\text{SO}_3$  con el azufre en  $+6$ . La suma cero solo confirma que los subíndices encajan con los valores elegidos; no asegura que el compuesto escrito sea el que se pedía.

Quien decide de verdad es el nombre: dióxido de azufre obliga a dos oxígenos y trióxido de azufre, a tres. La suma cero se usa entonces como último control, después de haber traducido el nombre, no como prueba de que la traducción es correcta.

▲ El mismo aviso vale al revés. Si al cerrar una fórmula la suma no da cero, eso sí que es señal segura de que hay un error; lo que no se puede es dar por bueno un resultado solo porque la suma cuadre.

Deduce el número de oxidación del manganeso en  $\text{Mn}_2\text{O}_7$  y el del cromo en el ion dicromato,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Escribe después la fórmula del óxido de manganeso(IV). Datos: el oxígeno actúa con  $-2$  en los tres casos; en un ion los números de oxidación suman la carga del ion.

#### Solución

Para  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ , que es un compuesto neutro, la suma tiene que ser cero:  $2 \cdot x + 7 \times (-2) = 0$ , de donde  $2 \cdot x = 14$  y  $x = +7$ .

Para el ion dicromato la suma no es cero sino  $-2$ , que es su carga:  $2 \cdot x + 7 \times (-2) = -2$ , es decir  $2 \cdot x = 14 - 2 = 12$  y  $x = +6$ .

La diferencia entre los dos planteamientos es solo el segundo miembro, y ahí está todo el ejercicio: igualar a cero un ion cargado daría  $+7$  para el cromo, un valor con el que ese elemento no actúa.

Para el óxido de manganeso(IV), el número romano dice que el manganeso actúa con  $+4$ . Con el oxígeno en  $-2$ , dos oxígenos aportan  $-4$  y basta un manganeso: **MnO<sub>2</sub>**. Suma:  $(+4) + 2 \times (-2) = 0$ .

▲ La nomenclatura de Stock resuelve de una vez la ambigüedad de los elementos que actúan con varios números: óxido de manganeso(IV) y óxido de manganeso(VII) son dos sustancias con propiedades muy distintas. El nombre las separa sin necesidad de recordar ninguna terminación.

## El mol, la composición centesimal y la fórmula empírica

### Lo que hay que saber

**Masa molar:** se suma la masa atómica de cada átomo de la fórmula y el resultado se lee en **g/mol**. De ahí,  $n = m \div M$  relaciona los gramos con los moles, y  $N = n \cdot N_A$  los moles con el número de partículas.

**Composición centesimal:** el porcentaje en masa de cada elemento es la masa que aporta ese elemento en un mol dividida entre la masa molar y multiplicada por cien. ▲ La suma de los porcentajes tiene que dar cien, y comprobarlo cuesta un segundo.

**Fórmula empírica:** la proporción más sencilla de átomos. Se obtiene dividiendo el porcentaje de cada elemento entre su masa atómica. Después se dividen todos los cocientes entre el menor de ellos, para que el más pequeño quede en la unidad.

**Fórmula molecular:** es un múltiplo entero de la empírica. Ese múltiplo se obtiene dividiendo la masa molar del compuesto, que tiene que venir dada, entre la masa de la fórmula empírica. Si no dan la masa molar, la molecular no se puede saber.

▲ Los porcentajes salen de una medida, así que los cocientes llevan decimales. Redondear al entero más cercano solo vale cuando el decimal es pequeño: si sale una proporción de uno a uno y medio, hay que multiplicar todos los cocientes por dos, y entonces queda de dos a tres. Con tercios o con cuartos se multiplica por tres o por cuatro. Una pista que avisa: si al dividir aparecen números que no se acercan ni a un entero ni a una fracción sencilla, conviene repasar las masas atómicas antes de seguir.

El nitrato de amonio,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , se usa como abono por el nitrógeno que aporta. Datos: masas atómicas del nitrógeno 14 u, del hidrógeno 1 u y del oxígeno 16 u. Halla: (a) su masa molar; (b) el porcentaje en masa de cada elemento; (c) la masa de nitrógeno que hay en 200 g de ese compuesto.

#### Solución

(a) Se cuentan los átomos de la fórmula: 2 nitrógenos, 4 hidrógenos y 3 oxígenos. La masa molar es la suma de sus masas atómicas leída en gramos por mol.

$$M = 2 \times (14 \text{ g/mol}) + 4 \times (1 \text{ g/mol}) + 3 \times (16 \text{ g/mol}) = 28 \text{ g/mol} + 4 \text{ g/mol} + 48 \text{ g/mol} = \mathbf{80 \text{ g/mol}}$$

(b) Cada porcentaje es la masa que aporta el elemento dividida entre la masa molar, multiplicada por cien: para el nitrógeno,  $(28 \text{ g/mol}) \div (80 \text{ g/mol}) \times 100 = \mathbf{35 \%}$ .

Para el hidrógeno,  $(4 \text{ g/mol}) \div (80 \text{ g/mol}) \times 100 = \mathbf{5 \%}$ , y para el oxígeno,  $(48 \text{ g/mol}) \div (80 \text{ g/mol}) \times 100 = \mathbf{60 \%}$ .

100 = **60 %**. La suma de los tres da  $35 + 5 + 60 = 100$ , y esa comprobación cuesta un segundo.

(c) El porcentaje se aplica a la masa que se tenga: masa de nitrógeno =  $0,35 \times (200 \text{ g}) = \mathbf{70 \text{ g}}$ .

▲ Por el otro camino se llega al mismo sitio:  $200 \text{ g}$  son  $(200 \text{ g}) \div (80 \text{ g/mol}) = 2,5 \text{ mol}$  de compuesto, que contienen  $5 \text{ mol}$  de nitrógeno. Y  $5 \text{ mol} \times (14 \text{ g/mol}) = 70 \text{ g}$ . Que los dos caminos coincidan es una buena señal de que el porcentaje estaba bien calculado.

29

Un compuesto está formado por carbono, hidrógeno y oxígeno. Su análisis da 40,0 % de carbono, 6,7 % de hidrógeno y 53,3 % de oxígeno en masa. Su masa molar vale 180 g/mol. Datos de masas atómicas: C = 12 u; H = 1 u; O = 16 u. Halla: (a) su fórmula empírica; (b) su fórmula molecular; (c) la masa de carbono contenida en 90 g del compuesto.

#### Solución

(a) Se parte de 100 g de compuesto, porque así los porcentajes son directamente gramos. Cada masa se pasa a moles dividiendo entre la masa atómica.

Carbono:  $(40,0 \text{ g}) \div (12 \text{ g/mol}) = 3,333 \text{ mol}$ . Hidrógeno:  $(6,7 \text{ g}) \div (1 \text{ g/mol}) = 6,7 \text{ mol}$ . Oxígeno:  $(53,3 \text{ g}) \div (16 \text{ g/mol}) = 3,331 \text{ mol}$ .

Ahora se dividen los tres entre el menor, que es 3,331 mol, para que el más pequeño quede en la unidad: carbono 1,00; hidrógeno 2,01; oxígeno 1,00. Redondeando a los enteros más cercanos, la fórmula empírica es **CH<sub>2</sub>O**.

(b) La masa de esa fórmula empírica vale  $(12 \text{ g/mol}) + 2 \times (1 \text{ g/mol}) + (16 \text{ g/mol}) = 30 \text{ g/mol}$ . El número de veces que cabe en la masa molar es  $(180 \text{ g/mol}) \div (30 \text{ g/mol}) = 6$ . Por tanto la fórmula molecular es **C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>**.

(c) El porcentaje de carbono no depende del tamaño de la muestra: masa de carbono =  $0,400 \times (90 \text{ g}) = \mathbf{36 \text{ g}}$ .

▲ Una pista que avisa, no una comprobación: si al dividir entre el menor salieran números muy alejados de un entero o de un medio, conviene repasar las masas atómicas y los porcentajes antes de seguir. Aquí sale 2,01 para el hidrógeno, y esa centésima de diferencia viene del redondeo de los datos del análisis.

30

Se pesan 41 g de nitrato de calcio, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Datos: masas atómicas Ca = 40 u, N = 14 u y O = 16 u; el número de Avogadro,  $6,022 \times 10^{23}$  partículas por mol. Halla: (a) la masa molar del compuesto; (b) los moles que hay en esa masa; (c) el número de iones nitrato y el número de átomos de oxígeno que contiene.

#### Solución

(a) La fórmula tiene un calcio y dos grupos nitrato, y cada grupo aporta un nitrógeno y tres oxígenos: en total 1 calcio, 2 nitrógenos y 6 oxígenos.

$M = (40 \text{ g/mol}) + 2 \times (14 \text{ g/mol}) + 6 \times (16 \text{ g/mol}) = 40 \text{ g/mol} + 28 \text{ g/mol} + 96 \text{ g/mol} = \mathbf{164 \text{ g/mol}}$ .

(b)  $n = m \div M = (41 \text{ g}) \div (164 \text{ g/mol}) = \mathbf{0,25 \text{ mol}}$ . Los gramos se simplifican y queda la unidad correcta.

(c) Cada unidad de la fórmula lleva dos iones nitrato. Hay entonces  $2 \times 0,25 \text{ mol} = 0,5 \text{ mol}$  de esos iones, y en número:  $(0,5 \text{ mol}) \times (6,022 \times 10^{23} \text{ por mol}) = \mathbf{3,011 \times 10^{23} \text{ iones nitrato}}$ .

De oxígeno hay seis átomos por unidad de fórmula:  $6 \times 0,25 \text{ mol} = 1,5 \text{ mol}$ , que son  $(1,5 \text{ mol}) \times (6,022 \times 10^{23} \text{ por mol}) = \mathbf{9,033 \times 10^{23} \text{ átomos de oxígeno}}$ .

▲ El paréntesis de la fórmula es el que hace que salgan seis oxígenos y no tres. Contar tres daría una masa molar de 116 g/mol y, con ella, 0,353 mol en vez de 0,25 mol: un número creíble, en la unidad correcta, y equivocado. Lo que lo evita es el recuento de átomos, no la revisión de unidades.

## Las leyes de los gases y la ecuación de estado

### Lo que hay que saber

**Ecuación de estado de los gases ideales:**  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ . Con  $R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$  la presión va en atmósferas, el volumen en litros, la cantidad en moles y la temperatura **en kelvin**.

▪ **La temperatura va siempre en kelvin.** La conversión exacta es:  $T \text{ en kelvin} = t \text{ en grados Celsius} + 273,15$ . En los ejercicios de este curso se suman 273, que es una aproximación cómoda y no una igualdad. Conviene hacer esa conversión en su propio paso, antes de sustituir en la ecuación, y dejarla escrita.

**Cuando una misma cantidad de gas cambia de estado**, se cumple  $P_1 \cdot V_1 \div T_1 = P_2 \cdot V_2 \div T_2$ . De ahí salen los casos particulares: a temperatura constante el producto  $P \cdot V$  se mantiene, a presión constante el cociente  $V \div T$ , y a volumen constante el cociente  $P \div T$ .

**Condiciones normales** son  $0^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$ . En ellas el **volumen molar** vale **22,4 L/mol** para cualquier gas **que se comporte como ideal**; los gases reales se apartan algo de esa cifra. Ese dato solo vale ahí: fuera de esas condiciones hay que volver a la ecuación de estado.

**Masa molar de un gas:** de la ecuación de estado,  $M = m \cdot R \cdot T \div (P \cdot V)$ , en g/mol. ▲ El gas ideal es un **modelo**: se ajusta muy bien a lo que se mide en condiciones normales y se aparta a presiones altas o a temperaturas cercanas a la licuación.

- 31** Se encierran  $2,0 \text{ mol}$  de un gas a  $27^\circ\text{C}$  y a una presión de  $2,0 \text{ atm}$ . Dato:  $R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ . Halla: (a) el volumen que ocupa; (b) el volumen que ocuparía la misma cantidad de gas, a la misma presión, si la temperatura fuera de  $327^\circ\text{C}$ ; (c) qué resultado saldría en el primer apartado si se olvidara pasar la temperatura a kelvin, y si ese resultado se distinguiría a simple vista.

### Solución

(a) Lo primero es la temperatura absoluta, porque la constante  $R$  está escrita en kelvin:  $T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$ .

Ahora se despeja el volumen de la ecuación de estado:  $V = n \cdot R \cdot T \div P = (2,0 \text{ mol}) \times (0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})) \times (300 \text{ K}) \div (2,0 \text{ atm}) = (49,2 \text{ L} \cdot \text{atm}) \div (2,0 \text{ atm}) = 24,6 \text{ L}$ . Los moles, los kelvin y las atmósferas se simplifican y queda litros.

(b) A  $327^\circ\text{C}$  la temperatura absoluta es  $327 + 273 = 600 \text{ K}$ , el doble que antes. Con la presión y la cantidad de gas sin cambiar, el volumen es proporcional a la temperatura absoluta, así que se duplica: **49,2 L**.

Por el camino largo sale lo mismo:  $V = (2,0 \text{ mol}) \times (0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})) \times (600 \text{ K}) \div (2,0 \text{ atm}) = 49,2 \text{ L}$ .

(c) Metiendo 27 en lugar de 300 saldría  $V = (2,0 \text{ mol}) \times (0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})) \times (27 \text{ K}) \div (2,0 \text{ atm}) = 2,214 \text{ L}$ , y **a simple vista no se distingue**: está en litros, es un número pequeño y razonable, y un par de litros es un volumen normal para un recipiente de laboratorio.

▲ De ahí la defensa que sí funciona: escribir la unidad en cada paso y comprobar la conversión a kelvin antes de sustituir. Confiar en que un resultado equivocado chirría no sirve, porque aquí el error multiplica por once y el número sigue pareciendo normal.

- 32** Una cantidad fija de gas ocupa  $5,0 \text{ L}$  a  $2,0 \text{ atm}$  y  $300 \text{ K}$ . Primero se calienta hasta  $450 \text{ K}$  manteniendo el volumen constante y, a continuación, se comprime hasta  $3,0 \text{ L}$  manteniendo la temperatura en  $450 \text{ K}$ . Halla: (a) la presión después del calentamiento; (b) la presión final tras la compresión; (c) la comprobación de ese resultado con la relación general entre los dos estados extremos.

### Solución

(a) Con el volumen y la cantidad de gas fijos, el cociente entre presión y temperatura absoluta se mantiene:  $P_1 \div T_1 = P_2 \div T_2$ .

Sustituyendo,  $(2,0 \text{ atm}) \div (300 \text{ K}) = P_2 \div (450 \text{ K})$ , de donde  $P_2 = (2,0 \text{ atm}) \times (450 \text{ K}) \div (300 \text{ K}) = \mathbf{3,0 \text{ atm}}$ . Sube, como corresponde a calentar un gas sin dejarlo dilatarse.

(b) Ahora la temperatura no cambia y lo que se mantiene es el producto de presión por volumen:  $(3,0 \text{ atm}) \times (5,0 \text{ L}) = P_3 \times (3,0 \text{ L})$ .

De ahí,  $P_3 = (15 \text{ L} \cdot \text{atm}) \div (3,0 \text{ L}) = \mathbf{5,0 \text{ atm}}$ . Al reducir el volumen la presión sube, y en la misma proporción en que aquel ha disminuido.

(c) La relación general entre el estado inicial y el final es  $P_1 \cdot V_1 \div T_1 = P_3 \cdot V_3 \div T_3$ . A la izquierda,  $(2,0 \text{ atm}) \times (5,0 \text{ L}) \div (300 \text{ K}) = 0,0333 \text{ L} \cdot \text{atm/K}$ ; a la derecha,  $(5,0 \text{ atm}) \times (3,0 \text{ L}) \div (450 \text{ K}) = 0,0333 \text{ L} \cdot \text{atm/K}$ .

▲ Esa comprobación cuesta dos divisiones y avisa de dos fallos distintos: un despeje invertido y una temperatura sin pasar a kelvin. Si uno de los dos lados se hubiera calculado con 27 o con 177, los dos cocientes no coincidirían. Lo que no ve es un error que afecte por igual a los dos lados.

33

Un recipiente contiene 5,60 g de un gas que ocupan 2,46 L a 2,0 atm y 300 K. Datos:  $R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ ; masas atómicas  $N = 14 \text{ u}$  y  $O = 16 \text{ u}$ . Halla: (a) los moles de gas que hay; (b) su masa molar; (c) cuál de estos dos gases es, el nitrógeno  $N_2$  o el oxígeno  $O_2$ .

### Solución

(a) Se despeja la cantidad de sustancia de la ecuación de estado:  $n = P \cdot V \div (R \cdot T)$ .

$n = (2,0 \text{ atm}) \times (2,46 \text{ L}) \div ((0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})) \times (300 \text{ K})) = (4,92 \text{ L} \cdot \text{atm}) \div (24,6 \text{ L} \cdot \text{atm/mol}) = \mathbf{0,20 \text{ mol}}$ . Todas las unidades se simplifican salvo el mol, que queda en el numerador.

(b) La masa molar es la masa dividida entre los moles:  $M = (5,60 \text{ g}) \div (0,20 \text{ mol}) = \mathbf{28 \text{ g/mol}}$ .

(c) Las masas molares de los dos candidatos salen de sus fórmulas:  $2 \times (14 \text{ g/mol}) = 28 \text{ g/mol}$  para el nitrógeno;  $2 \times (16 \text{ g/mol}) = 32 \text{ g/mol}$  para el oxígeno. El resultado coincide con el primero, así que el gas es **nitrógeno**.

Otra vía, que evita calcular antes los moles: la misma ecuación se puede escribir como  $M = m \cdot R \cdot T \div (P \cdot V) = (5,60 \text{ g}) \times (24,6 \text{ L} \cdot \text{atm/mol}) \div (4,92 \text{ L} \cdot \text{atm}) = 28 \text{ g/mol}$ . Coincide.

▲ Este método identifica un gas por su masa molar, y eso no siempre basta para decidir de qué sustancia se trata: hay compuestos distintos con la misma masa molar. Aquí funciona porque el enunciado deja solo dos candidatos y sus masas molares son diferentes.

## Las disoluciones y la concentración

### Lo que hay que saber

**Concentración molar:**  $M = n(\text{solute}) \div V(\text{disolución})$ , en **mol/L**. El volumen es el de la **disolución terminada**, no el del disolvente que se echó. Esa distinción decide el resultado cuando la disolución se prepara en un matraz aforado.

**Tanto por ciento en masa:** gramos de soluto por cada cien gramos de disolución. No lleva volumen. Para pasar de ahí a mol/L hace falta la **densidad**, que se da en g/mL y convierte los mililitros de disolución en gramos.

**El camino completo** de tanto por ciento y densidad a concentración molar: se toma un litro de disolución y se calcula su masa con la densidad. Del porcentaje sale la masa de soluto, y con la masa molar se pasa a moles. Ese número es ya la concentración, porque el volumen de partida era un litro.

▲ **Concentrada no es lo mismo que fuerte.** Concentrada y diluida hablan de cuánto soluto hay en el mismo volumen. Fuerte y débil hablan de cómo se disocia el soluto, y eso es materia del curso siguiente.

**Dilución:** para rebajar una concentración se toma un volumen de la disolución de partida y se lleva hasta un volumen mayor. El cálculo se hace con  $M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$ , con las concentraciones en mol/L y los volúmenes en litros.

- 34** Se disuelven 11,7 g de cloruro de sodio, NaCl, en agua hasta completar 250 mL de disolución. Datos de masas atómicas: Na = 23 u; Cl = 35,5 u. Halla: (a) la masa molar del soluto; (b) la concentración molar de la disolución; (c) la masa de sal necesaria para preparar 500 mL de una disolución de concentración 0,20 mol/L.

### Solución

(a)  $M = (23 \text{ g/mol}) + (35,5 \text{ g/mol}) = \mathbf{58,5 \text{ g/mol}}$ .

(b) Los moles de soluto son  $n = (11,7 \text{ g}) \div (58,5 \text{ g/mol}) = 0,20 \text{ mol}$ . El volumen de disolución es 250 mL, o sea 0,250 L.

La concentración es el cociente:  $c = (0,20 \text{ mol}) \div (0,250 \text{ L}) = \mathbf{0,80 \text{ mol/L}}$ . El volumen que se usa aquí es el de la disolución terminada, no el del agua que se echó al principio.

(c) Se recorre el camino al revés. Los moles que hacen falta son  $n = (0,20 \text{ mol/L}) \times (0,500 \text{ L}) = 0,10 \text{ mol}$ .

Y esos moles se pasan a gramos con la masa molar:  $m = (0,10 \text{ mol}) \times (58,5 \text{ g/mol}) = \mathbf{5,85 \text{ g}}$ .

▲ La diferencia entre disolver en 250 mL de agua y disolver hasta 250 mL de disolución no es un matiz de redacción: al disolver, el volumen final no es exactamente la suma de los dos. Por eso las disoluciones se preparan en un matraz aforado, enrasando al final.

- 35** Un frasco de disolución de cloruro de hidrógeno indica en su etiqueta 36,5 % en masa y una densidad de 1,18 g/mL. Datos de masas atómicas: Cl = 35,5 u; H = 1 u. Halla: (a) la masa de un litro de esa disolución; (b) la masa de soluto que contiene ese litro; (c) su concentración molar.

### Solución

(a) La densidad relaciona el volumen con la masa. Un litro son 1.000 mL, así que  $m = (1.000 \text{ mL}) \times (1,18 \text{ g/mL}) = \mathbf{1.180 \text{ g}}$  de disolución.

(b) El tanto por ciento en masa dice cuántos gramos de soluto hay por cada cien gramos de disolución. Se aplica sobre la masa que se acaba de calcular:  $m(\text{solute}) = 0,365 \times (1.180 \text{ g}) = \mathbf{430,7 \text{ g}}$ .

(c) Esos gramos se pasan a moles con la masa molar, que vale  $(1 \text{ g/mol}) + (35,5 \text{ g/mol}) = 36,5 \text{ g/mol}$ :  $n = (430,7 \text{ g}) \div (36,5 \text{ g/mol}) = 11,8 \text{ mol}$ .

Como todo esto estaba referido a un litro de disolución, esa cantidad es ya la concentración: **11,8 mol/L**.

▲ Aquí está el error que no avisa: si la densidad se tomara como 1,18 g/L en vez de g/mL, la masa del litro saldría 1,18 g. El soluto quedaría en 0,4307 g y la concentración, en **0,0118 mol/L**. Ese número está en mol/L, es pequeño y perfectamente posible para una disolución diluida. Ni la unidad ni el sentido común lo delatan. Lo que lo evita es escribir la unidad de la densidad en el propio cálculo.

36

Se quiere preparar 500 mL de disolución de cloruro de hidrógeno de concentración 0,50 mol/L partiendo de otra de 11,8 mol/L. Halla: (a) los moles de soluto que tiene que contener la disolución final; (b) el volumen que hay que tomar de la disolución concentrada; (c) qué le ocurre a la cantidad de soluto al añadir el agua.

#### Solución

(a)  $n = c \cdot V = (0,50 \text{ mol/L}) \times (0,500 \text{ L}) = \mathbf{0,25 \text{ mol}}$ . Esta es la cantidad que tiene que acabar dentro del matraz, venga de donde venga.

(b) Esos mismos moles hay que sacarlos de la disolución de partida, donde cada litro contiene 11,8 mol:  $V = (0,25 \text{ mol}) \div (11,8 \text{ mol/L}) = 0,0212 \text{ L} = \mathbf{21,2 \text{ mL}}$ .

El planteamiento equivale a la igualdad de moles entre las dos disoluciones,  $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$ :  $(11,8 \text{ mol/L}) \times (0,0212 \text{ L}) = 0,25 \text{ mol}$ , que es lo mismo que  $(0,50 \text{ mol/L}) \times (0,500 \text{ L})$ .

(c) La cantidad de soluto **no cambia**: siguen siendo los mismos 0,25 mol antes y después de añadir el agua. Lo que cambia es el volumen en el que están repartidos, y por eso baja la concentración.

La proporción lo confirma: el volumen pasa de 21,2 mL a 500 mL, es decir se multiplica por 23,6. Y la concentración pasa de 11,8 mol/L a 0,50 mol/L: se divide por ese mismo número.

▲ En la práctica el orden importa por seguridad: se pone primero algo de agua en el matraz, después el ácido concentrado y al final se enrasa. La cuenta sale igual, pero mezclar en el orden contrario puede provocar salpicaduras.

## La estequiometría: reactivo limitante, riqueza y rendimiento

### Lo que hay que saber

**La ecuación ajustada es una receta en moles:** los coeficientes dicen en qué proporción reaccionan las sustancias. El camino es siempre el mismo: pasar el dato a moles, aplicar la proporción de los coeficientes y volver a la magnitud que piden.

**Reactivo limitante:** el que se acaba primero y decide cuánto producto sale. Se dividen los moles de cada reactivo entre su coeficiente y se comparan los cocientes: el menor marca el limitante. ▲ Los coeficientes mandan sobre las cantidades: sin dividir entre ellos, comparar los moles no significa nada.

**Reactivo en exceso:** del otro sobra, y lo que sobra se calcula restando lo que ha reaccionado de lo que había. Esa resta es una comprobación útil, porque tiene que dar un número positivo.

**Riqueza o pureza:** el tanto por ciento de sustancia útil que trae una muestra. Cuando el enunciado dice que el resto son impurezas que no intervienen, reacciona solo esa parte, y entonces lo primero es multiplicar la masa de la muestra por la riqueza y quedarse con la masa pura. Si las impurezas también reaccionaran, habría que contarlas aparte.

**Rendimiento** = cantidad obtenida  $\div$  cantidad teórica  $\times 100$ , en tanto por ciento. La cantidad teórica es la que saldría si el limitante reaccionara del todo. ▀ Un rendimiento por encima de cien no es un éxito: es producto mal secado o una pesada mal hecha.

Se hacen reaccionar 13,0 g de cinc con 250 mL de una disolución de cloruro de hidrógeno de concentración 1,0 mol/L. La reacción, ya ajustada, es  $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$ . Datos: masas atómicas  $\text{Zn} = 65 \text{ u}$ ,  $\text{Cl} = 35,5 \text{ u}$  y  $\text{H} = 1 \text{ u}$ ; volumen molar a  $0^\circ\text{C}$  y 1 atm, 22,4 L/mol. Halla: (a) los moles de cada reactivo; (b) cuál es el reactivo limitante; (c) el volumen de hidrógeno obtenido en condiciones normales; (d) la masa de cinc que queda sin reaccionar.

#### Solución

(a) Del cinc:  $n = (13,0 \text{ g}) \div (65 \text{ g/mol}) = \mathbf{0,20 \text{ mol}}$ . Del cloruro de hidrógeno, que viene en disolución:  $n = (1,0 \text{ mol/L}) \times (0,250 \text{ L}) = \mathbf{0,25 \text{ mol}}$ .

(b) Este paso se hace mejor en dos tiempos: primero se divide cada cantidad entre su coeficiente en la ecuación ajustada: para el cinc,  $(0,20 \text{ mol}) \div 1 = 0,20$ ; para el cloruro de hidrógeno,  $(0,25 \text{ mol}) \div 2 = 0,125$ .

El cociente menor es el segundo, así que el **cloruro de hidrógeno es el limitante**. Es él quien decide cuánto producto sale, aunque de él haya más moles que de cinc.

(c) La ecuación dice que de cada 2 mol de cloruro de hidrógeno sale 1 mol de hidrógeno:  $n(\text{H}_2) = (0,25 \text{ mol}) \div 2 = 0,125 \text{ mol}$ . Con el volumen molar de las condiciones normales,  $V = (0,125 \text{ mol}) \times (22,4 \text{ L/mol}) = \mathbf{2,8 \text{ L}}$ .

(d) Por cada mol de hidrógeno se ha gastado 1 mol de cinc, es decir 0,125 mol. Lo que sobra es  $0,20 \text{ mol} - 0,125 \text{ mol} = 0,075 \text{ mol}$ , y en masa,  $(0,075 \text{ mol}) \times (65 \text{ g/mol}) = \mathbf{4,875 \text{ g}}$ .

▲ La resta del último apartado sirve además de control: tiene que dar un número positivo y menor que la cantidad de partida. Si saliera negativo hay una inconsistencia y toca revisar, pero el signo no dice dónde está: puede estar mal el limitante elegido, puede estarlo la proporción de los coeficientes y puede ser la propia resta hecha al revés.

En una reacción de cinc con cloruro de hidrógeno,  $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$ , los cálculos anuncian 0,125 mol de hidrógeno. En el laboratorio se recogen 2,24 L de ese gas, medidos en condiciones normales. Datos: volumen molar a  $0^\circ\text{C}$  y 1 atm, 22,4 L/mol; masa atómica  $\text{H} = 1 \text{ u}$ . Halla: (a) los moles de hidrógeno obtenidos de verdad; (b) el rendimiento de la reacción; (c) la masa de hidrógeno recogida.

#### Solución

(a) Los moles salen de dividir el volumen recogido entre el volumen molar:  $n = (2,24 \text{ L}) \div (22,4 \text{ L/mol})$ , que da  $\mathbf{0,10 \text{ mol}}$ . Los litros se simplifican y queda la cantidad de sustancia.

(b) El rendimiento compara lo obtenido con lo que habría salido si el reactivo limitante hubiera reaccionado del todo:  $\text{rendimiento} = (0,10 \text{ mol}) \div (0,125 \text{ mol}) \times 100 = \mathbf{80 \%}$ .

El cociente no lleva unidad, porque se dividen moles entre moles, y por eso el resultado se puede leer directamente como un tanto por ciento.

(c) La masa molar del hidrógeno molecular es  $2 \times (1 \text{ g/mol}) = 2 \text{ g/mol}$ . De ahí,  $m = (0,10 \text{ mol}) \times (2 \text{ g/mol}) = \mathbf{0,20 \text{ g}}$ . Es poca masa para 2,24 L, y eso es lo normal en un gas tan ligero.

El 20 % que falta puede repartirse entre varias vías —gas que se escapa al trasvasar, reactivo pegado al recipiente, reacción que no se completa en el tiempo del ensayo—, y con este solo dato no se puede decir cuál pesa más. Y como lo que se mide es un volumen de gas, cuentan también la presión y la temperatura con que se recogió y la pureza del cinc de partida.

▲ Un rendimiento mayor que el 100 % no significa que la reacción haya ido especialmente bien: significa que algo no cuadra. Puede fallar la medida —producto sin secar, una pesada con humedad— y puede fallar la cantidad teórica con la que se compara, por un limitante mal elegido o una proporción mal aplicada. Se revisan las dos, el ensayo y el cálculo.

Se tratan 50,0 g de una muestra de hierro del 84 % de riqueza, cuyo resto son impurezas que no reaccionan con el ácido, con cloruro de hidrógeno en exceso. La reacción, ya ajustada, es  $\text{Fe} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$ . Datos: masas atómicas Fe = 56 u y Cl = 35,5 u; volumen molar a 0 °C y 1 atm, 22,4 L/mol. Halla: (a) la masa de hierro puro; (b) el volumen de hidrógeno en condiciones normales; (c) la masa de cloruro de hierro(II) que se obtiene.

#### Solución

(a) Solo reacciona la parte útil de la muestra:  $m = 0,84 \times (50,0 \text{ g}) = \mathbf{42,0 \text{ g}}$  de hierro. Los 8,0 g restantes son acompañamiento que no interviene en la reacción.

(b) Esos gramos se pasan a moles:  $n = (42,0 \text{ g}) \div (56 \text{ g/mol}) = 0,75 \text{ mol}$ . Como la ecuación relaciona un hidrógeno con cada hierro, salen también 0,75 mol de hidrógeno.

Con el volumen molar de las condiciones normales,  $V = (0,75 \text{ mol}) \times (22,4 \text{ L/mol}) = \mathbf{16,8 \text{ L}}$ . El enunciado dice que el otro reactivo está en exceso, así que aquí no hay que buscar limitante: lo es el hierro.

(c) La masa molar del cloruro de hierro(II) vale  $(56 \text{ g/mol}) + 2 \times (35,5 \text{ g/mol}) = 127 \text{ g/mol}$ . La proporción con el hierro es también de uno a uno.

$m = (0,75 \text{ mol}) \times (127 \text{ g/mol}) = \mathbf{95,25 \text{ g}}$ .

▲ Olvidar la riqueza y trabajar con los 50,0 g enteros daría 0,893 mol y 20,0 L de hidrógeno: un resultado en litros, de tamaño razonable y equivocado en casi un 20 %. El paso de la riqueza va siempre el primero, antes de tocar ninguna proporción.

En la reacción ya ajustada  $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$  se mezclan 0,20 mol de cinc y 0,25 mol de cloruro de hidrógeno. Datos de masas atómicas: Zn = 65 u; Cl = 35,5 u; H = 1 u. Halla: (a) la masa de cada reactivo; (b) cuál de los dos se acaba antes y por qué no es el que está en menor cantidad; (c) los moles de cloruro de hidrógeno que harían falta para consumir todo el cinc.

#### Solución

(a) Del cinc:  $m = (0,20 \text{ mol}) \times (65 \text{ g/mol}) = \mathbf{13,0 \text{ g}}$ . Del cloruro de hidrógeno, cuya masa molar es  $(1 \text{ g/mol}) + (35,5 \text{ g/mol}) = 36,5 \text{ g/mol}$ :  $m = (0,25 \text{ mol}) \times (36,5 \text{ g/mol}) = \mathbf{9,125 \text{ g}}$ .

(b) Se acaba antes el **cloruro de hidrógeno**, del que hay más moles y menos masa. La razón está en los coeficientes: la ecuación consume dos de él por cada uno de cinc, así que sus 0,25 mol dan solo para 0,125 mol de cinc.

Los cocientes lo dicen de una vez:  $(0,20 \text{ mol}) \div 1 = 0,20$  frente a  $(0,25 \text{ mol}) \div 2 = 0,125$ , y el menor manda. Mirar únicamente las cantidades, sin dividir entre los coeficientes, llevaría a señalar el cinc.

Y comparar masas engaña todavía más: hay 13,0 g de uno y 9,125 g del otro. Aquí el limitante resulta ser precisamente el de menor masa, y esa coincidencia es justo lo que hace engañosa la comparación: la masa no entra en el criterio, así que en otra reacción el orden saldría al revés.

(c) Para gastar los 0,20 mol de cinc harían falta  $2 \times 0,20 \text{ mol} = \mathbf{0,40 \text{ mol}}$  de cloruro de hidrógeno. Eso son 14,6 g. Con los 0,25 mol disponibles se queda a poco más de la mitad.

▲ De aquí sale la regla de trabajo del tema: el reactivo limitante no se elige mirando cuál hay en menor cantidad ni cuál pesa menos, sino comparando los cocientes entre moles y coeficientes. Es el criterio que sigue valiendo cuando los coeficientes son distintos.

## La termoquímica: entalpía de reacción y calorimetría

### Lo que hay que saber

**Entalpía de reacción  $\Delta H$ :** el calor intercambiado a presión constante, en kJ por cada mol de reacción, con la ecuación escrita tal y como se ajustó.  **$\Delta H$  negativa** significa reacción **exotérmica**, que desprende calor;  **$\Delta H$  positiva**, endotérmica, que lo absorbe.

**Ecuación termoquímica:** la ecuación ajustada con su  $\Delta H$  al lado y con el estado de cada sustancia indicado. Si se multiplican los coeficientes, la entalpía se multiplica igual; si se invierte el sentido, cambia de signo.

**Calorimetría:** el calor que aparece o desaparece en una masa de agua se calcula con  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , en julios, con  $c$  el **calor específico** de la sustancia, que para el agua líquida vale  $4,18 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ . De ese calor medido se obtiene después la entalpía por mol: se le **cambia el signo**, porque lo que el agua gana lo ha cedido la reacción, y se divide entre los moles que han reaccionado.

**El puente con la estequiometría:** la entalpía va referida a la ecuación ajustada, así que el calor de una cantidad cualquiera sale por proporción, igual que una masa de producto. Conviene escribir la unidad kJ/mol frente a kJ para no confundir el valor de la reacción con el de la muestra.

▪ **La entalpía mide energía.** Responde a cuánta energía aparece o desaparece en la reacción, medida a presión constante, y esa es toda la pregunta a la que contesta.

- 41** Se quema una muestra de  $0,0250 \text{ mol}$  de un combustible. El calor desprendido se emplea en calentar  $200 \text{ g}$  de agua, que pasan de  $20,0 ^\circ\text{C}$  a  $45,0 ^\circ\text{C}$ . Dato: calor específico del agua,  $c = 4,18 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ . Halla: (a) el calor absorbido por el agua; (b) la entalpía de combustión por mol de ese combustible, con su signo; (c) qué se está suponiendo al atribuir todo ese calor a la reacción.

### Solución

(a) El calor que gana una masa de agua se calcula con  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , y el salto de temperatura vale  $45,0 ^\circ\text{C} - 20,0 ^\circ\text{C} = 25,0 ^\circ\text{C}$ .

$Q = (200 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}) \times (25,0 ^\circ\text{C}) = \mathbf{20.900 \text{ J}}$ , es decir  **$20,9 \text{ kJ}$** . Los gramos y los grados se simplifican y queda energía.

(b) Esa energía la ha cedido la reacción, y para la reacción el signo se invierte: al quemar  $0,0250 \text{ mol}$  ha desprendido  $20,9 \text{ kJ}$ . El ensayo se hace a presión constante, y es eso lo que permite llamar  $\Delta H$  a ese calor.

Por cada mol:  $\Delta H = (-20,9 \text{ kJ}) \div (0,0250 \text{ mol}) = \mathbf{-836 \text{ kJ/mol}}$ . Ese menos forma parte del resultado y dice que la combustión es exotérmica.

(c) Se está suponiendo que **todo** el calor de la reacción pasa al agua. También, que no se pierde nada por las paredes ni se emplea en calentar el recipiente. En un ensayo real parte del calor se queda por el camino. Este método da entonces un valor algo menor en valor absoluto que el verdadero.

▲ Lo que la calorimetría mide directamente es el calor que aparece en el agua; la entalpía por mol se deduce de ahí dividiendo entre la cantidad de sustancia quemada. Confundir las dos cosas lleva a dar  $20,9 \text{ kJ}$  como entalpía de la reacción. Y ese número es el calor de esa muestra concreta, no el valor por mol.

La combustión completa del butano responde a esta ecuación termoquímica ya ajustada, con el estado de cada sustancia detrás de su fórmula:  $\text{C}_4\text{H}_{10} (\text{gas}) + 13/2 \text{O}_2 (\text{gas}) \rightarrow 4 \text{CO}_2 (\text{gas}) + 5 \text{H}_2\text{O} (\text{líquido})$ . Su  $\Delta H$  vale  $- 2.878 \text{ kJ}$  por mol de butano, medido a presión constante y con el agua obtenida líquida. Datos de masas atómicas:  $\text{C} = 12 \text{ u}$ ;  $\text{H} = 1 \text{ u}$ ;  $\text{O} = 16 \text{ u}$ . Halla: (a) la masa molar del butano y los moles que hay en  $29,0 \text{ g}$ ; (b) el calor desprendido al quemar esos  $29,0 \text{ g}$ ; (c) la masa de dióxido de carbono que se produce.

### Solución

Antes de calcular conviene comprobar que la ecuación está ajustada, contando átomos a los dos lados: carbonos, 4 y 4; hidrógenos, 10 y 10; oxígenos, 13 a la izquierda y  $8 + 5 = 13$  a la derecha. El coeficiente fraccionario no es un problema: significa que la ecuación está escrita por mol de butano.

(a)  $M = 4 \times (12 \text{ g/mol}) + 10 \times (1 \text{ g/mol}) = 48 \text{ g/mol} + 10 \text{ g/mol} = \mathbf{58 \text{ g/mol}}$ . Y  $n = (29,0 \text{ g}) \div (58 \text{ g/mol}) = \mathbf{0,50 \text{ mol}}$ .

(b) La entalpía está dada por mol de butano, así que el calor se obtiene por proporción:  $Q = (0,50 \text{ mol}) \times (- 2.878 \text{ kJ/mol}) = \mathbf{- 1.439 \text{ kJ}}$ .

El menos señala que esa energía sale del sistema. Si se prefiere hablar de calor desprendido, se dice que se desprenden  $1.439 \text{ kJ}$ . Pero el valor que se escribe como  $\Delta H$  lleva el signo menos.

(c) La ecuación da 4 mol de dióxido de carbono por cada mol de butano:  $n = 4 \times 0,50 \text{ mol} = 2,0 \text{ mol}$ . Su masa molar es  $(12 \text{ g/mol}) + 2 \times (16 \text{ g/mol}) = 44 \text{ g/mol}$ .

$m = (2,0 \text{ mol}) \times (44 \text{ g/mol}) = \mathbf{88 \text{ g}}$ . ▲ Media bombona no desprende la mitad de energía por casualidad: la entalpía va referida a la ecuación ajustada, y por eso se reparte en proporción igual que las masas.

Se comparan dos combustiones por la energía que liberan. Los dos valores están medidos a presión constante y con el agua obtenida líquida: en el butano, de fórmula  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\Delta H = - 2.878 \text{ kJ/mol}$ , y en el hidrógeno,  $\text{H}_2$ ,  $\Delta H = - 286 \text{ kJ/mol}$ . Datos de masas atómicas:  $\text{C} = 12 \text{ u}$ ;  $\text{H} = 1 \text{ u}$ . Halla: (a) la energía que libera cada uno por gramo; (b) cuál de los dos libera más por gramo; (c) si de ese resultado se deduce que esas reacciones se producen por sí solas.

### Solución

(a) Para el butano, cuya masa molar es  $58 \text{ g/mol}$ :  $(2.878 \text{ kJ/mol}) \div (58 \text{ g/mol}) = \mathbf{49,62 \text{ kJ/g}}$ .

Para el hidrógeno molecular, cuya masa molar es  $2 \times (1 \text{ g/mol}) = 2 \text{ g/mol}$ :  $(286 \text{ kJ/mol}) \div (2 \text{ g/mol}) = \mathbf{143 \text{ kJ/g}}$ .

(b) Libera más por gramo el **hidrógeno**, casi tres veces más: el cociente entre los dos valores es  $(143 \text{ kJ/g}) \div (49,62 \text{ kJ/g}) = 2,88$ .

El orden se invierte al mirar por mol, donde el butano gana con mucha diferencia. No hay contradicción: son dos comparaciones distintas, y por eso conviene decir siempre respecto a qué se compara.

(c) **No se deduce**. Que las dos entalpías sean negativas dice que las dos combustiones desprenden calor, y con eso solo no se decide si la reacción está favorecida. Y la chispa es otra cosa: que una mezcla de butano y aire pueda estar quieta indefinidamente hasta que alguien la enciende no habla de la energía del proceso, sino de que hace falta un empujón inicial para que arranque.

▲ Si una reacción está favorecida a temperatura y presión constantes lo decide otra magnitud, que tiene en cuenta el calor y además el reparto de las partículas y se estudia en el curso siguiente. Y aunque lo esté, esa magnitud tampoco dice cuánto va a tardar: eso depende del empujón inicial que necesite. En este curso la entalpía responde a cuánta energía aparece, y hasta ahí llega.

## La formulación orgánica y los grupos funcionales

### Lo que hay que saber

**Cadenas de carbono:** el carbono forma cuatro enlaces, y aquí las fórmulas van de corrido, con un guion entre cada dos carbonos, como en  $\text{CH}_3\text{--CH}_3$ . El doble enlace lleva el signo igual y el **triple el símbolo  $\equiv$** .

**Hidrocarburos:** los **alcanos** terminan en -ano y solo tienen enlaces sencillos; los **alquenos** en -eno y llevan un doble enlace; los **alquinos** en -ino y llevan uno triple. La raíz dice el número de carbonos: met-, et-, prop-, but-, pent-, hex-.

**Grupo funcional:** el conjunto de átomos que decide cómo se comporta el compuesto y cómo se nombra. Los de este curso: **alcohol**  $\text{--OH}$ , **aldehído**  $\text{--CHO}$ , **cetona**  $\text{--CO--}$ , **ácido carboxílico**  $\text{--COOH}$ , **amina**  $\text{--NH}_2$  y **éter**  $\text{--O--}$ . ▲ No es el trozo más grande de la molécula: el grupo  $\text{--OH}$  de un alcohol son dos átomos y decide el nombre entero.

**Cadena principal y localizadores:** se toma como cadena principal la más larga de las que incluyen el grupo funcional. Los carbonos se numeran empezando por el extremo más próximo a ese grupo. Los sustituyentes se nombran delante, con su número y por orden alfabético.

**Combustión completa:** cualquier hidrocarburo o compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno produce **dióxido de carbono y agua** al arder con oxígeno suficiente. Es la reacción que enlaza este tema con la estequiometría y con la entalpía.

- 44 Nombra estos cuatro compuestos, escritos en línea: (a)  $\text{CH}_3\text{--CH}_3$ ; (b)  $\text{CH}_2\text{=CH--CH}_3$ ; (c)  $\text{CH}\equiv\text{C--CH}_3$ ; (d)  $\text{CH}_3\text{--CO--CH}_2\text{--CH}_3$ . Dato: las raíces según el número de carbonos son met-, et-, prop-, but-, pent- y hex-.

### Solución

(a) Dos carbonos unidos por un enlace sencillo: raíz et- y terminación -ano, es decir **etano**.

(b) Tres carbonos y un doble enlace: raíz prop- y terminación -eno, es decir **propeno**. El doble enlace arranca en el primer carbono, así que no hace falta añadir localizador.

(c) Otros tres carbonos, esta vez con un triple enlace, escrito con el símbolo  $\equiv$ : **propino**.

(d) Cuatro carbonos con el grupo  $\text{--CO--}$  en el segundo, de modo que la terminación es -ona: **butanona**. Poner ese grupo en un extremo daría otra familia, la de los aldehídos. Y colocarlo en el tercer carbono devolvería la misma sustancia leída del revés.

▲ El recuento de hidrógenos distingue las terminaciones y sirve de control: el etano es  $\text{C}_2\text{H}_6$ , el propeno  $\text{C}_3\text{H}_6$  y el propino  $\text{C}_3\text{H}_4$ . Respecto al alcano de los mismos carbonos, un doble enlace quita dos hidrógenos y un triple quita cuatro, porque el carbono forma siempre cuatro enlaces.

- 45 Escribe en línea la fórmula de los cuatro compuestos siguientes e indica el grupo funcional de cada uno: (a) propan-2-ol; (b) ácido etanoico; (c) propanona; (d) etilamina. Datos de los grupos funcionales de este curso: alcohol  $\text{--OH}$ ; aldehído  $\text{--CHO}$ ; cetona  $\text{--CO--}$ ; ácido carboxílico  $\text{--COOH}$ ; amina  $\text{--NH}_2$ .

### Solución

(a) Prop- indica tres carbonos, la terminación -ol señala un alcohol y el dos dice en qué carbono está:  **$\text{CH}_3\text{--CHOH--CH}_3$** , con el grupo  $\text{--OH}$ .

(b) Etanoico son dos carbonos con el grupo del ácido en un extremo:  **$\text{CH}_3\text{--COOH}$** , con el grupo  $\text{--COOH}$ . Ese carbono del grupo cuenta como uno de los dos de la cadena.

(c) La terminación -ona indica cetona, y con tres carbonos el grupo solo puede quedar en el del medio:  **$\text{CH}_3\text{--CO--CH}_3$** , con el grupo  $\text{--CO--}$ .

(d) Etil- son dos carbonos y la terminación -amina señala el grupo nitrogenado:  **$\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH}_2$** , con el grupo  $\text{--NH}_2$ .

▲ Un hidrocarburo solo tiene carbono e hidrógeno; en cuanto aparece otro elemento hay algo más que la cadena. Los grupos funcionales de este curso deciden la terminación del nombre y buena parte del comportamiento del compuesto, pero no todo sustituyente lo hace: un halógeno se nombra como prefijo y deja intacta la terminación del hidrocarburo.

46

Se dispone de alcohol etílico, cuya fórmula escrita en línea es  $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$ . Datos de masas atómicas: C = 12 u; H = 1 u; O = 16 u. Halla: (a) su grupo funcional y su fórmula molecular; (b) su masa molar; (c) la ecuación ajustada de su combustión completa y la masa de dióxido de carbono que se obtiene al quemar 23 g.

#### Solución

(a) El grupo que aparece al final de la cadena es **–OH**, así que se trata de un **alcohol**. Contando átomos en la fórmula escrita en línea salen dos carbonos, seis hidrógenos y un oxígeno, o sea  **$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$** .

(b)  $M = 2 \times (12 \text{ g/mol}) + 6 \times (1 \text{ g/mol}) + (16 \text{ g/mol}) = 24 \text{ g/mol} + 6 \text{ g/mol} + 16 \text{ g/mol} = \mathbf{46 \text{ g/mol}}$ .

(c) En una combustión completa todo el carbono acaba en dióxido de carbono y todo el hidrógeno en agua. Ajustando por ese orden queda  **$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$** .

Recuento a los dos lados: carbonos, 2 y 2; hidrógenos, 6 y 6; oxígenos, 1 + 6 = 7 a la izquierda y 4 + 3 = 7 a la derecha. El oxígeno del alcohol cuenta, y olvidarlo descuadra el ajuste.

Los moles de etanol son  $n = (23 \text{ g}) \div (46 \text{ g/mol}) = 0,50 \text{ mol}$ . De ahí salen  $2 \times 0,50 \text{ mol} = 1,0 \text{ mol}$  de dióxido de carbono. Con su masa molar de 44 g/mol,  $m = (1,0 \text{ mol}) \times (44 \text{ g/mol}) = \mathbf{44 \text{ g}}$ .

▲ Merece la pena mirar el balance de masas del conjunto: entran 23 g de etanol y 1,5 mol de oxígeno, que son 48 g; en total, 71 g. Salen 44 g de dióxido de carbono y 1,5 mol de agua, que son 27 g: otra vez 71 g. Si esa suma no cuadrara habría una inconsistencia que hay que buscar: puede estar mal el ajuste, y puede estarlo una masa molar o una de las multiplicaciones.