EL MÉTODO CIENTÍFICO

Para consultar los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables, véase la Programación.

1 EL MÉTODO CIENTÍFICO

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.4.)

Página 11

1 **En el siguiente relato, identifica las etapas del método científico:**

En el último tercio del siglo XVIII se sabía que cuando los metales se calentaban (se calcinaban), en el proceso se ganaba peso. ¿Por qué ocurría esto? En 1774, Lavoisier abordó el fenómeno suponiendo que en la calcinación de los metales estos reaccionaban con algún componente del aire, y a ello atribuyó el aumento de peso. Para comprobarlo, calentó mercurio en un recipiente cerrado y comprobó que el peso total no cambió durante el proceso. Surgió así la «ley de conservación de la masa».

En el apartado dedicado al «Plan Lingüístico» de los recursos relacionados con las claves del proyecto, dentro del banco de recursos de **anayaeducacion.es,** el alumnado puede consultar diversa información acerca de los tipos de textos y estrategias para leer mejor.

Problema: ¿Por qué los metales ganan peso durante la calcinación al aire?

Hipótesis: Los metales deben reaccionar con algún componente del aire.

Experimento: Se realiza la calcinación del mercurio en un recipiente cerrado.

Confirmación: El mercurio no cambia de peso durante su calcinación en un espacio cerrado. Queda confirmada la hipótesis.

2 **Plantea dos problemas, uno que se pueda investigar científicamente y otro que no pueda serlo. Para el primero de ellos, enuncia algunas hipótesis científicas.**

Respuesta abierta. Para contestar a la pregunta debemos tener en cuenta que para la investigación científica hay que prestar atención a que el problema permita la emisión de hipótesis científicas, esto es, contrastables con la realidad.

3 **Diseña un experimento, diferente al de Galileo, para comprobar que la rapidez de caída de los cuerpos no depende de su peso.**

Cualquier experimento de caída libre es una comprobación de que su velocidad no depende de la masa. Si disponemos de una bomba de vacío, podemos realizar el experimento de lanzar una pluma y una moneda, observando que en ausencia de rozamiento ambos cuerpos llegan a la vez. Se pueden encontrar fácilmente vídeos que reproducen la experiencia introduciendo en cualquier buscador de Internet las palabras «pluma moneda vacío». Si viajamos a la Luna, podríamos hacer el mismo experimento que hizo Armstrong de lanzar una pluma y un martillo.

4 **Realiza una búsqueda en Internet titulada «Experimento pluma martillo Luna»; una vez que encuentres el vídeo del experimento que se realizó en la superficie de la Luna, explica qué se podría concluir de él. ¿Qué hipótesis se quería comprobar?**

Con el fin de promover en su alumnado un uso seguro y responsable de las TIC, le sugerimos que recomiende la consulta de las fichas sobre «Ciudadanía digital» disponibles en **anayaeducacion.es**.

Respuesta abierta.

2 MAGNITUDES FÍSICAS. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

CE.1.1. **(EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.3.-1.1.4.)**

Página 13

5 El espejo. **Pon dos ejemplos de propiedades que sean magnitudes físicas, y otros dos que no lo sean. Para cada una de las primeras, enumera al menos tres unidades, una de ellas la del SI.**

En **anayaeducacion.es**, su alumnado dispone de un documento que le explica cómo aplicar la técnica «El espejo», perteneciente a la clave de desarrollo del pensamiento. Además, en los recursos de esta unidad encontrará la presentación «Magnitudes fundamentales del SI».

Magnitud física:

- Presión. Unidad: atmósfera, bar, pascal.
- Temperatura. Unidad: grado Celsius (°C), grado Fahrenheit (°F), kelvin (K).

Magnitudes no físicas:

- Alegría.
- Miedo.

6 **En el último párrafo del apartado 2.4 se han incluido algunos ejemplos de unidades que no pertenecen al Sistema Internacional de Unidades. ¿Con qué magnitudes están relacionadas? Busca la equivalencia entre estas unidades y las correspondientes del SI.**

El minuto está relacionado con la magnitud tiempo. Equivale a 60 segundos, unidad de tiempo en el Sistema Internacional.

La caloría se relaciona con la magnitud energía. Equivale a 4,18 julios en el Sistema Internacional.

El kilopondio es una unidad de fuerza, y equivale a 9,81 newtons en el Sistema Internacional.

El milibar se refiere a la magnitud presión. Su equivalencia en el Sistema Internacional de Unidades es de 100 pascales.

7 **Expresa tu edad en años, días, minutos, y en la unidad de tiempo del SI.**

En el SI debemos expresar nuestra edad en segundos, por lo que los años los pasamos a días (× 365 días/año) y los sumamos a los días que no completaban el año. Estos días, los pasamos a horas (× 24 h/1 día) y le sumamos las horas que no completaban un día. Para pasar todas las horas a minutos, multiplicamos por 60 minutos que tiene una hora. Finalmente, para obtener el resultado en el Sistema Internacional, se multiplica por 60 segundos que tiene un minuto:

$$t\text{ (s)} = \text{años} \cdot \left(\frac{365 \text{ días} + n \text{ días}}{1 \text{ año}}\right) \cdot \left(\frac{24 \text{ h} + m \text{ horas}}{1 \text{ día}}\right) \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right) \cdot \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right)$$

8 **Inventa una unidad de longitud, y expresa en ella tu altura.**

Por ejemplo, la distancia índice-codo. Mi altura es *n* veces la distancia índice-codo.

9 **El 11 de diciembre de 1998, desde Cabo Cañaveral, la NASA lanzaba la sonda *Mars Climate Orbiter* para estudiar el clima de Marte. El 23 de septiembre de 1999, debido a un error de cálculo, la sonda quedaba destruida por la fricción con la atmósfera del planeta rojo. Indaga en Internet cuál fue, exactamente, el error cometido. En tu indagación, sigue el esquema simplificado del método científico mostrado en el epígrafe anterior.**

Respuesta abierta.

3 ANÁLISIS DIMENSIONAL

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.3.-1.1.4.)

Página 14

10 **La ley de la gravitación universal de Newton establece que la fuerza con la que dos cuerpos se atraen es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa:**

$$F = G \cdot \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

donde *G* es la constante universal de la gravitación. Determina la ecuación dimensional de esta constante y, a partir de ella, su unidad del SI.

Para determinar la ecuación dimensional de la constante universal de la gravitación, la despejamos de la ecuación:

$$G = \frac{F \cdot r^2}{m \cdot m'}$$

La ecuación dimensional es:

$$[G] = \frac{L \cdot M \cdot T^{-2} \cdot L^2}{M \cdot M} = L^3 \cdot M^{-1} \cdot T^{-2}$$

Por tanto, su unidad en el SI será $\frac{m^3}{kg \cdot s^2}$, aunque lo normal es verla como $\frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

11 **Un péndulo simple es un dispositivo formado por un cuerpo que oscila sujeto en el extremo inferior de un hilo inextensible de longitud *l* y masa despreciable. Se puede utilizar para medir la aceleración de la gravedad (*g*) en un lugar determinado, calculándola a partir de la medida del tiempo que tarda en dar una oscilación completa (período, *T*). Justifica qué ecuación le corresponde:**

a) $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$ **b)** $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$

Para comprobar cuál es la ecuación correspondiente a la determinación del período, comprobamos que su ecuación dimensional coincida con unidades de tiempo, ya que el período (*T*) es el tiempo que tarda el péndulo en dar una oscilación completa.

a) La ecuación dimensional en este caso es:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow [T] = \sqrt{\frac{L}{L \cdot T^{-2}}} = T$$

b) Para este apartado, su ecuación dimensional es:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{g}{l}} \rightarrow [T] = \sqrt{\frac{L \cdot T^{-2}}{L}} = T^{-1}$$

Por tanto, la ecuación utilizada para la medida de la gravedad es la del apartado *a*, puesto que su unidad es la de tiempo.

4 MEDIDA DE MAGNITUDES

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.4.)

Página 15

12 Cabezas pensantes. **No siempre las magnitudes fundamentales se miden de forma directa, y las derivadas, de forma indirecta. Piensa en un ejemplo de cada tipo en el que esto no ocurra.**

En anayaeducacion.es dispone de un documento que le explica cómo aplicar la técnica de aprendizaje cooperativo «Cabezas pensantes» para resolver esta actividad.

La temperatura es una magnitud fundamental, y su medida no es directa. Dependiento del tipo de termómetro, el cambio de temperatura se relaciona con una propiedad física medible, como puede ser: un cambio en la dilatación, una propiedad eléctrica o la radiación infrarroja.

Una magnitud derivada que se mida directamente puede ser el volumen, que en el laboratorio se mide con probetas.

13 Se realizan medidas con una balanza de cota máxima 100 g y umbral de resolución 0,1 g. Indica razonadamente qué valores no pueden haber sido obtenidos con ella:

a) 32,4 g. **b) 0,43 g.** **c) 110,8 g.**

Los valores que medirá esta balanza estarán comprendidos entre 0,1 y 100,0 g, y tendrán una cifra decimal. Por tanto, el valor que se ha obtenido con la balanza de los tres aportados será el a) 32,4 g.

14 Indica con qué instrumentos podemos medir la longitud, la intensidad de corriente, la velocidad y la fuerza.

Algunos de los instrumentos utilizados para medir la longitud son una regla graduada, una cinta métrica, un calibre, un micrómetro, un interferómetro…

La intensidad de corriente se mide con un amperímetro.

La velocidad se puede medir con varios instrumentos. Dependiendo de qué tipo de velocidad queramos medir, podemos utilizar un velocímetro, un anemómetro (si medimos la velocidad del aire) o un tacómetro (si lo que se mide es la velocidad de giro de un eje).

La fuerza se mide con un dinamómetro.

15 En anayaeducacion.es encontrarás una animación interactiva que te ayudará a utilizar correctamente el calibre. ¿Qué magnitud mide este instrumento? Explica cómo medirías el grosor de una hoja de papel, de forma directa y de forma indirecta.

Respuesta abierta.

5 ERRORES EN LA MEDIDA

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.4.)

Página 16

16 ¿Puede ser una medida precisa pero inexacta? ¿Y lo contrario? Propón algún ejemplo para apoyar tu razonamiento.

Una medida sí puede ser precisa e inexacta a la vez. Esto suele ocurrir cuando se cometen errores sistemáticos en la medida. Por ejemplo, cuando queremos medir la masa de diferentes sustancias y la balanza analítica está mal calibrada.

Por el contrario, una medida no puede ser exacta si no es precisa, pues la exactitud implica acercamiento de todas las medidas al valor real, y, en caso de existir errores aleatorios, las medidas no serán próximas entre ellas y, por tanto, no lo serán, en conjunto, al valor real.

17 Cuando se mira la hora en un reloj que retrasa, ¿se está cometiendo un error sistemático o aleatorio?

Al ver la hora en un reloj que se retrasa, el error que se comete es sistemático, ya que irá atrasando una cierta cantidad de tiempo, pero siempre el mismo. El resultado se modifica en el mismo sentido siempre: retrasando la hora el mismo intervalo de tiempo.

18 **Si mides tu altura con una cinta métrica, y el error absoluto de la medida es de 1 cm, ¿cuál es el error relativo? Exprésalo mediante valor numérico y porcentual.**

El error relativo resulta de dividir el error absoluto entre el valor de medida. El valor porcentual resultará de multiplicar por 100 este resultado. Suponiendo una altura de 160 cm:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{v} = \frac{1\ \text{cm}}{160\ \text{cm}} = 0{,}00625 \rightarrow \varepsilon_r = 0{,}00625 \cdot 100 = 0{,}625\ \%$$

19 **Explica la diferencia entre exactitud y precisión. ¿Qué errores reducen la exactitud manteniendo la precisión?**

Exactitud se refiere a lo próximas que están las medidas realizadas al valor real de la magnitud medida.

Precisión se refiere a la similitud de las medidas realizadas.

Los errores sistemáticos mantienen la precisión, pero reducen la exactitud.

Página 17

20 **Se realizan cinco medidas de la longitud de la mesa del laboratorio con una cinta métrica, obteniendo estos valores, en cm: 120,6; 120,4; 120,5; 120,4; 120,3. ¿Cuál sería el valor de la medida? ¿Y los errores, absoluto y relativo?**

El valor de la medida es la media aritmética de los valores tomados:

$$\bar{x} = \frac{120{,}6 + 120{,}4 + 120{,}5 + 120{,}4 + 120{,}3}{5} = 120{,}44\ \text{cm}$$

El error absoluto, cuando se realizan varias medidas, viene dado por la expresión:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \ldots + (x_n - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Por tanto, el error absoluto será:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(120{,}6 - 120{,}44)^2 + (120{,}4 - 120{,}44)^2 + (120{,}5 - 120{,}44)^2 + (120{,}4 - 120{,}44)^2 + (120{,}3 - 120{,}44)^2}{5 \cdot (5-1)}}$$

$$\Delta x = 0{,}05\ \text{cm}$$

Como la dispersión estadística es menor que el umbral de resolución, se toma este último, 0,1 cm, como error absoluto de la medida. Así, el valor de la medida, con su error, es:

$$L = 120{,}4 \pm 0{,}1\ \text{cm}$$

El error relativo se obtiene de dividir el error absoluto entre el valor real (en este caso entre el valor medio):

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{v} = \frac{0{,}1\ \text{cm}}{120{,}4\ \text{cm}} = 8{,}31 \cdot 10^{-4}$$

21 **Expresa estas cantidades en notación científica:**

a) 75 600 000 g.

b) 0,000 000 025 V.

c) 149 800 000 km.

a) 75 600 000 g en notación científica se expresa $7{,}56 \cdot 10^7$ g.

b) 0,000 000 025 V en notación científica es $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ V.

c) 149 800 000 km se expresa como $1{,}498 \cdot 10^8$ km.

22 **Cuando se miden las dimensiones de un objeto plano rectangular se obtiene: a = 40,05 ± 0,01 cm y b = 120,1 ± 0,1 cm. Determina la superficie y el error absoluto de la medida.**

Para medidas indirectas, el error se calcula a partir de los errores de las medidas directas. Al ser la medida indirecta una multiplicación, se determina el valor relativo sumando los errores relativos de cada una de las medidas. Obtenemos, en primer lugar, el error relativo de las dos medidas:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{v} \rightarrow \varepsilon_r\,(a) = \frac{0{,}01\ \text{cm}}{40{,}05\ \text{cm}} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}\ ;\ \varepsilon_r\,(b) = \frac{0{,}1\ \text{cm}}{120{,}1\ \text{cm}} = 8{,}3 \cdot 10^{-4}$$

El error relativo de la medida de la superficie será:

$$\varepsilon_r(S) = 2{,}5 \cdot 10^{-4} + 8{,}3 \cdot 10^{-4} = 1{,}08 \cdot 10^{-3}$$

La superficie tiene por valor:

$$S = a \cdot b = 40{,}05\ \text{cm} \cdot 120{,}1\ \text{cm} = 4\,810\ \text{cm}^2$$

El error absoluto del cálculo de la superficie se obtendrá de multiplicar el error relativo por el valor de la superficie:

$$\varepsilon_a(S) = \varepsilon_r(S) \cdot v = 1{,}08 \cdot 10^{-3} \cdot 4\,810\ \text{cm}^2 = 5\ \text{cm}^2$$

Por tanto, la medida de la superficie, con su error de medida, es:

$$S = 4\,810 \pm 5\ \text{cm}^2$$

23 **Selecciona en cada pareja la cantidad superior:**

a) 0,0055 m³ y 5,5 mL. **b) 612 cg y 0,0612 kg.**

a) 0,0055 m^3 y 5,5 mL.

Para comparar las dos cantidades, las expresamos en las mismas unidades. Pasamos cm^3 a mL, sabiendo que 1 cm^3 equivale a 1 mL:

$$0{,}0055\ \text{m}^3 \cdot \frac{10^6\ \text{cm}^3}{1\ \text{m}^3} = 5\,500\ \text{cm}^3 = 5\,500\ \text{mL}$$

Por tanto, 0,055 m^3 es mayor que 5,5 mL.

b) 612 cg y 0,0612 kg.

Para comparar las medidas, pasamos kg a cg:

$$0{,}0612\ \text{kg} \cdot \frac{10^6\ \text{cg}}{1\ \text{kg}} = 61\,200\ \text{cg}$$

Por tanto, 0,0612 kg es mayor que 612 cg.

Página 18

24 **Expresa correctamente las medidas de las actividades 17 y 18 de la página anterior.**

Los ejercicios se han realizado correctamente, ya que se ha expresado el error absoluto con una cifra significativa en cada uno de los ejercicios.

25 **Para medir la celeridad de un móvil se procede a medir el espacio que recorre y el tiempo que tarda en hacerlo. Se realizan tres medidas de cada magnitud, obteniendo los siguientes valores:**

e_1 = 49,9 cm	**e_2 = 49,9 cm**	**e_3 = 50,0 cm**
t_1 = 1,47 s	**t_2 = 1,51 s**	**t_3 = 1,50 s**

a) Determina el umbral de resolución de los instrumentos de medida utilizados.

b) ¿Cuál es la celeridad?

c) ¿Y el error relativo?

a) La resolución de un instrumento es la mínima división de la escala del aparato.

Para la medida del espacio, la mínima división es 0,1 cm. Para el tiempo, es 0,01 s.

b) y c) El valor de la celeridad resulta de la división del espacio entre el tiempo. Para dar su medida correcta, la expresaremos con el error indirecto de la medida. En primer lugar, hallamos los valores medios del espacio y del tiempo, mediante la expresión:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{n}$$

Y el error absoluto de las medidas lo calculamos mediante la expresión:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(x_1 - \overline{x})^2 + (x_2 - \overline{x})^2 + \ldots + (x_n - \overline{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	1	**2**	**3**	$\overline{x}$	Δx
Espacio (cm)	49,9	49,9	50,0	49,93	0,03
Tiempo (s)	1,47	1,51	1,50	1,49	0,01

Al ser la celeridad una medida indirecta (una división: espacio entre el tiempo), se determina su error relativo sumando los errores relativos de cada una de las medidas.

Obtenemos, primero, el error relativo de las dos medidas:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{v}$$

$$\varepsilon_r(\Delta S) = \frac{0{,}03}{49{,}93} = 6 \cdot 10^{-4} \qquad \varepsilon_r(t) = \frac{0{,}01}{1{,}49} = 6{,}7 \cdot 10^{-3}$$

El error relativo de la medida de la celeridad será:

$$\varepsilon_r(c) = 6 \cdot 10^{-4} + 6{,}7 \cdot 10^{-3} = 7{,}3 \cdot 10^{-3}$$

El valor de la celeridad es, por tanto:

$$c = \frac{49{,}93\ \text{cm}}{1{,}49\ \text{s}} = 33{,}51\ \text{cm/s}$$

El error absoluto del cálculo de la celeridad surge de multiplicar el error relativo por el valor propio de la celeridad:

$$\varepsilon_a(c) = \varepsilon_r(c) \cdot v = 7{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 33{,}51\ \text{cm/s} = 0{,}2446\ \text{cm/s}$$

Finalmente, la medida correcta de la celeridad es:

$$c = 33{,}5 \pm 0{,}2\ \text{cm/s}$$

26 ¿Qué puedes concluir de las diferencias entre las cantidades numéricas 2,0; 2,00; 2,000, procedentes de la medida experimental de una magnitud física?

Se deduce que la sensibilidad de los aparatos que realizan la medida es mayor para la medida de 2,000, después la de 2,00 y por último la de 2,0. De esta forma, las medidas realizadas con una mayor sensibilidad serán más precisas, ya que el error aleatorio será menor.

27 ¿Sería correcto decir que una medida de tiempo da como resultado t = 1,35 ± 0,15 s? ¿Por qué?

El error absoluto solo debe tener una cifra significativa. Si, como en este caso, la segunda cifra es un 5 la primera aumenta una unidad. Por tanto, la medida correcta sería:

$$t = 1{,}4 \pm 0{,}2\ \text{s}$$

6 SIGNIFICADO DE LAS ECUACIONES EN FÍSICA Y QUÍMICA

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.4.)

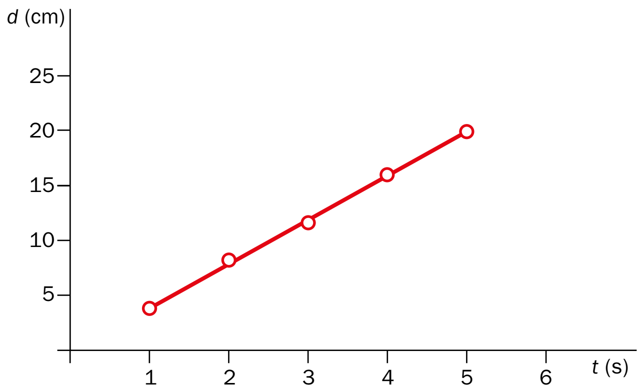
Página 19

28 **Se muestran a continuación parejas de datos tiempo (s)-distancia (cm) medidos en un movimiento: (1, 3,9); (2, 8,2); (3, 11,7); (4, 16,0); (5, 19,9). Preséntalos en una tabla de datos y, a partir de su representación gráfica, determina la relación entre las dos magnitudes físicas.**

Los datos que nos dan en forma de puntos los distribuimos en una tabla de la siguiente forma:

Tiempo (s)	1	2	3	4	5
Distancia (cm)	3,9	8,2	11,7	16	19,9

Al representar los valores de distancia frente al tiempo, se observa que la relación entre estos es lineal:



29 **Estudia las relaciones de proporcionalidad en la ecuación *d* = *m*/*V*, donde *d* es la densidad; *m*, la masa, y *V*, el volumen.**

Según la ecuación $d = m/V$, la densidad es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional al volumen. A su vez, la masa es inversamente proporcional al volumen.

30 **Propón dos ejemplos de pares de magnitudes independientes.**

Don magnitudes son independientes cuando al variar una de ellas, la otra permanece constante (no se altera su valor). Como ejemplo podemos citar:

– La temperatura y la masa.

– La temperatura de fusión y el volumen.

TRABAJA CON LO APRENDIDO

CE.1.1. (EA.1.1.1.-1.1.2.-1.1.3.-1.1.4.-1.1.5.-1.1.6.) CE.1.2. (EA.1.2.1.-1.2.2.)

Página 28

El método científico

1 **A principios del siglo XIX, Avogadro sugirió que «volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas». En los libros antiguos, a este enunciado se le llamaba hipótesis de Avogadro, y en los modernos se habla de la ley de Avogadro. ¿A qué crees que se debe el cambio de denominación?**

Avogadro, en 1811, lo enunció como hipótesis. Por costumbre, se ha seguido denominando como tal, a pesar de haber sido comprobado. Es por esto por lo que en los libros más modernos se ha corregido y hoy en día se habla de ley de Avogadro.

2 **En el siguiente relato, ¿qué etapas del método científico reconoces? ¿En qué visiones inadecuadas de la ciencia se incide? ¿Cuáles se combaten?**

En el siglo XVII, el funcionamiento de las bombas de succión (extraer el aire del interior de un tubo cuyo extremo está sumergido en un líquido) se explicaba, siguiendo la tradición aristotélica, argumentando que la naturaleza siente *«horror al vacío»*. Por ello, cuando se sacaba el aire del tubo, el agua ocupaba rápidamente su lugar. Galileo cuestionó esta explicación cuando los jardineros de Florencia no pudieron elevar agua de un pozo, mediante una bomba, a más de 32 pies (unos 10 m). ¿Es que el horror al vacío tenía un límite? Fue Torricelli quien, mediante el conocido experimento de la cubeta y el tubo de mercurio, resolvió la situación. Sus conclusiones se pueden resumir en la siguiente frase: *«vivimos en el fondo de un océano de aire que intenta llenar cada espacio, y que pesa y empuja»*.

En el texto se destaca el primer paso del método científico: detectar el problema. Galileo observó que no se podía elevar el agua de un pozo a más de 10 m de altura. Se preguntó si el «horror al vacío» que afirmaba Aristóteles tendría un límite.

Se defendía la explicación dada por Aristóteles de que la naturaleza tiene «horror al vacío».

El conocimiento científico avanza mediante la propuesta de nuevas hipótesis, y su comprobación mediante la experimentación, para posteriormente enunciar leyes y teorías. En este caso, mediante los experimentos de Torricelli, se demostró la existencia del vacío y de la presión atmosférica, responsable de que en su experimento el mercurio subiera hasta 76 cm Hg.

3 **Piensa y critica alguna situación de tu vida cotidiana en la que la ciencia se utilice como fuente de autoridad.**

En muchos productos se añade «científicamente demostrado» para darles prestigio, como en las cremas antiedad, los productos anticaída del pelo, las pastillas adelgazantes, etc. Así, pueden incrementar su precio, o incrementar las ventas, frente a otros cuyo fin es el mismo pero no llevan ese apelativo.

4 **¿Por qué crees que se habla de la *Ley de la Gravitación Universal* en lugar de hacerlo de la *Teoría de la Gravitación Universal*?**

Se llama «ley» porque describe la interacción gravitatoria entre dos cuerpos, pero no la explica (las leyes describen, y las teorías explican). La explicación de la atracción gravitatoria se recoge en la teoría general de la relatividad.

5 **Demuestra que la ecuación $P = F \cdot v$ es homogénea (P, potencia; F, fuerza; v, velocidad). Cada una de estas magnitudes, ¿es escalar o vectorial?**

Para comprobar si la ecuación es homogénea, demostramos que las dimensiones de ambos miembros de la ecuación coinciden. La ecuación dimensional de la potencia es:

$$[P] = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{T}^{-2} \cdot \mathrm{T}^{-1} = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{T}^{-3}$$

$$[F \cdot v] = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-2} \cdot \mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-1} = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{T}^{-3}$$

Como coinciden, podemos decir que la ecuación es homogénea.

La potencia es una magnitud escalar. La fuerza y la velocidad son magnitudes vectoriales, pues vienen determinadas además de por su módulo, por su dirección y sentido.

6 **La fuerza, *F*, que origina un movimiento circular depende de la masa del cuerpo que lo describe *m*, la velocidad con la que lo hace, *v*, y el radio de la circunferencia, *r*. Determina, por análisis dimensional, la ecuación matemática que relaciona estas magnitudes.**

Según las directrices del problema, podemos expresar la fuerza que origina un movimiento circular de esta forma:

$$F = m^{\alpha} \cdot v^{\beta} \cdot r^{\gamma} \quad \rightarrow \quad [F] = [m^{\alpha} \cdot v^{\beta} \cdot r^{\gamma}] = \mathrm{M}^{\alpha} \cdot \mathrm{L}^{\beta} \cdot \mathrm{T}^{-\beta} \cdot \mathrm{L}^{\gamma} \qquad [1]$$

Las dimensiones de la fuerza de forma general son:

$$[F] = [m \cdot a] = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-2} \qquad [2]$$

Así, igualando [1] y [2]:

$$\mathrm{M}^{\alpha} \cdot \mathrm{L}^{\beta+\gamma} \cdot \mathrm{T}^{-\beta} = \mathrm{M} \cdot \mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-2}$$

$$\alpha = 1$$

$$-\beta = -2 \rightarrow \beta = 2$$

$$\beta + \gamma = 1 \rightarrow +2 + \gamma = 1 \rightarrow \gamma = -1$$

Si escribimos la ecuación [1] ya con los índices correctos, obtenemos la ecuación matemática que relaciona estas magnitudes:

$$F = m^1 \cdot v^2 \cdot r^{-1} \rightarrow F = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

7 **Utilizando las ecuaciones dimensionales de las magnitudes físicas derivadas de la tabla del epígrafe 3, encuentra ecuaciones matemáticas que relacionen estas magnitudes, que sean posibles por ser homogéneas.**

Teniendo en cuenta las dimensiones de cada una de las magnitudes, deducimos las fórmulas:

Magnitud	Dimensiones	Fórmulas
Superficie	L^2	$S = d \cdot d$
Volumen	L^3	$V = S \cdot d$
Velocidad	$\mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-1}$	$v = \frac{d}{t}$
Aceleración	$\mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-2}$	$a = \frac{v}{t}$; $a = \frac{d}{t^2}$
Fuerza	$\mathrm{L} \cdot \mathrm{M} \cdot \mathrm{T}^{-2}$	$F = m \cdot a$; $F = m \cdot \frac{d}{t^2}$
Energía	$\mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{M} \cdot \mathrm{T}^{-2}$	$E = F \cdot d$; $E = m \cdot v^2$
Potencia	$\mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{M} \cdot \mathrm{T}^{-3}$	$P = \frac{E}{t}$; $P = F \cdot v$

8 **Propón tres ejemplos de magnitudes físicas intensivas y otros tres de magnitudes extensivas, distintos a los ya propuestos en esta unidad. Explica en cada caso por qué son de ese tipo.**

Magnitudes intensivas son las que su valor numérico no depende de la cantidad de sistema que se estudia. Ejemplos son: la presión, la concentración o la viscosidad. Magnitudes extensivas son las que sí dependen de la cantidad de sistema que se está estudiando. Ejemplos son: la longitud, el peso y la cantidad de sustancia.

Sistema Internacional de Unidades

9 **El período de oscilación de un muelle es:**

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Determina las unidades de *k* en el SI.

Si despejamos *k* de la ecuación tenemos:

$$k = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{m}{T^2}$$

Las unidades de *k* serán, por tanto, las de la masa (kg) entre las del período al cuadrado (s^2):

$$[k] = \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}^2}\right]$$

10 **La unidad de presión en el SI es el pascal (Pa). Encuentra la relación de equivalencia entre esta unidad y las unidades SI de las magnitudes fundamentales.**

Se define presión como fuerza por unidad de superficie.

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot a}{S}$$

Las unidades de la presión en pascales tienen una relación de equivalencia con:

$$\text{Pa} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

11 **Expresa, en las unidades adecuadas del Sistema Internacional, los siguientes datos:**

a) $v = 100$ **km/h.**

b) $d = 750$ **g/L.**

c) $S = 320$ **cm²**.

d) $V = 300$ **hm³**.

a) $v = 100\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \cdot \frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 27{,}78\ \text{m/s}$

b) $d = 750\ \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot \frac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{g}} \cdot \frac{1000\ \text{L}}{1\ \text{m}^3} = 750\ \text{kg/m}^3$

c) $S = 320\ \text{cm}^3 \cdot \frac{1\ \text{m}^3}{10^6\ \text{cm}^3} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^3$

d) $V = 300\ \text{hm}^3 \cdot \frac{10^6\ \text{m}^3}{1\ \text{hm}^3} = 3 \cdot 10^8\ \text{m}^3$

La medida

12 **Indica qué instrumentos te parecen más adecuados para medir las siguientes magnitudes, así como los rangos de medida y los umbrales de resolución:**

a) Las dimensiones de un campo de fútbol.

b) Las dimensiones de un microprocesador.

c) La temperatura de un bebé.

d) El tiempo que tarda un coche de Fórmula 1 en completar una vuelta a un circuito.

e) El volumen de una disolución preparada en el laboratorio de química.

a) Para la medida de un campo de fútbol (100 m × 74 m, aproximadamente), algunos de los aparatos utilizados pueden ser:

a. Cinta métrica: su rango de medida depende de la longitud de esta. Las puede haber muy largas, pero las normales son de 5 m. Su umbral de resolución es de mm.

b. Medidor de longitud láser: su rango de medida es mayor; aproximadamente, de 50 m. La resolución es de mm.

c. Medidor de distancia ligero con rueda: es el más indicado para este caso, pues su rango de medida es infinito, solo depende de las vueltas que dé su rueda, que es de un metro. Su umbral de resolución es de 1 cm.

b) Las dimensiones de un microprocesador son muy pequeñas, del orden de los mm. Se utiliza un micrómetro, con un rango de medida de 25 mm y una resolución de 0,001 mm.

c) La temperatura de un bebé: se utilizan termómetros digitales, pero también se pueden utilizar analógicos. Su rango de medida es de 35 a 42 °C, con una resolución de 0,1 °C. También se puede utilizar un termómetro infrarrojo para fiebre, con el mismo rango de medida y resolución.

d) El tiempo que tarda un coche de Fórmula 1 en completar una vuelta al circuito se mide con un cronómetro. Su rango de medida es de 0 a infinito. La precisión es de centésimas de segundo.

e) El volumen de las disoluciones en el laboratorio se mide con probetas. Las hay de diferentes volúmenes, que dependiendo del que se quiera medir se escogerá una u otra. Si, por ejemplo, se quieren medir 76 mL, se escogerá una probeta de 100 mL (rango 0 - 100 mL) y su resolución es de 0,1 mL.

13 **Se quiere determinar con un error de ±0,02 s el período de oscilación del péndulo de un reloj que, aproximadamente, es *T* = 1,4 s. Pero el cronómetro digital disponible tiene una resolución de solo 0,1 s. Diseña un experimento que permita obtener el resultado con el error deseado.**

Supondremos que el error absoluto que se comete al medir con el cronómetro viene dado por su resolución, $\varepsilon_a = 0{,}1$ s; es decir, aceptamos que el cronómetro y su usuario son fiables y que el error aleatorio o estadístico de un conjunto amplio de medidas no será mayor.

Como el error absoluto es el mismo si se mide un tiempo corto o largo, debemos efectuar una medida larga (tiempo grande) para que el error relativo sea el menor posible. Si llamamos T al período del péndulo y t al tiempo total medido, el experimento consistirá en medir el tiempo correspondiente no a una oscilación, sino a n oscilaciones consecutivas.

El problema consiste en determinar cuántas oscilaciones son necesarias para obtener la precisión deseada.

Como el número de oscilaciones n no tiene error, se cumplirá que:

$$t = T \cdot n$$

$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_r(T) + \varepsilon_r(n) = \varepsilon_r(T)$$

Por tanto, para el error absoluto del período tenemos que:

$$\varepsilon_r(T) = \varepsilon_r(t)$$

$$\frac{\varepsilon_a(T)}{T} = \frac{\varepsilon_a(t)}{t} = \frac{\varepsilon_a(t)}{T \cdot n} \rightarrow \varepsilon_a(T) = \frac{\varepsilon_a(t)}{n}$$

En consecuencia, como $\varepsilon_a(t) = 0{,}1$ s y queremos $\varepsilon_a(T) = 0{,}02$ s, necesitamos como mínimo:

$$n = \frac{0{,}1}{0{,}02} = 5 \text{ oscilaciones}$$

Para que este procedimiento sea válido resulta imprescindible que todas las oscilaciones tengan igual duración. Como los péndulos van amortiguando lentamente sus oscilaciones, no conviene alargar en exceso el experimento; por eso, un buen diseño experimental consistiría en medir el tiempo que corresponde a un número de oscilaciones comprendido entre 5 y 10.

Una estrategia aún más rigurosa sería efectuar varias sesiones independientes de medida con el péndulo, cada una de entre 5 a 10 oscilaciones, y después efectuar una comparación estadística de todas ellas para confirmar que el error se mantiene dentro del margen establecido de ±0,02 s.

14 **Para calibrar una balanza se ha medido la masa de un patrón de 1 kg ocho veces, obteniendo las siguientes lecturas: 1,0015 kg; 0,9999 kg; 0,9998 kg; 1,0012 kg; 1,0003 kg; 0,9999 kg; 1,0001 kg; 0,9997 kg. ¿Cuál es el valor más probable de la masa del objeto? ¿Cuál es el error estadístico?**

Se considera el valor más probable a la media aritmética de las medidas, se calcula mediante la expresión:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}$$

$$\overline{x} = \frac{1{,}0015 + 0{,}9999 + 0{,}9998 + 1{,}0012 + 1{,}0003 + 0{,}9999 + 1{,}0001 + 0{,}9997}{8}$$

$$\overline{x} = 1{,}0003 \text{ kg}$$

El error absoluto de las medidas lo calculamos mediante la expresión:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(x_1 - \overline{x})^2 + (x_2 - \overline{x})^2 + \ldots + (x_n - \overline{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(1{,}0015 - 1{,}0003)^2 + (1{,}0015 - 0{,}9999)^2 + \ldots + (1{,}0015 - 0{,}9997)^2}{8 \cdot (8-1)}}$$

$$\Delta x = 0{,}0002 \text{ kg}$$

Por tanto, el valor de la masa es:

$$m = 1{,}0003 \pm 0{,}0002 \text{ kg}$$

Página 29

Relaciones entre magnitudes y representaciones gráficas

15 Estudia las relaciones de proporcionalidad en las siguientes ecuaciones:

a) $I = V/R$ (ley de Ohm, donde I es la intensidad de corriente; V, el voltaje, y R, la resistencia).

b) $e = c_m \cdot t$, donde e es el espacio recorrido; c_m, la celeridad, y t, el tiempo empleado.

c) La expresión matemática que corresponde a la ley de la gravitación universal:

$$F = G \cdot \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

donde F representa la fuerza de atracción entre dos masas, m y m', separadas una distancia r.

a) En la ley de Ohm, la intensidad es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia. Voltaje y resistencia son directamente proporcionales.

b) El espacio recorrido es directamente proporcional a la celeridad y al tiempo. Celeridad y tiempo son inversamente proporcionales.

c) La fuerza es directamente proporcional a las masas e inversamente proporcional a la distancia entre ellas al cuadrado. Las masas y el cuadrado de la distancia son directamente proporcionales.

16 Se estudia la relación entre la altura y el tiempo de vuelo para un objeto en caída libre realizando diversas experiencias, cuyos resultados son:

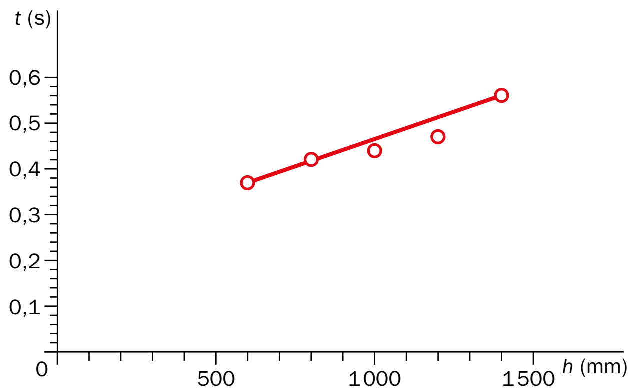
***h* (mm)**	600	800	1 000	1 200	1 400
***t* (s)**	0,37	0,42	0,44	0,47	0,56

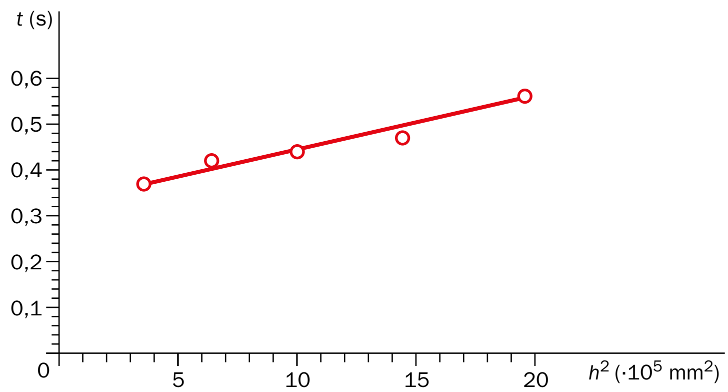
Representa t (ordenada) frente a h, frente a h^2 y frente a $h^{1/2}$ y comprueba cuál de las gráficas se puede ajustar con una recta.

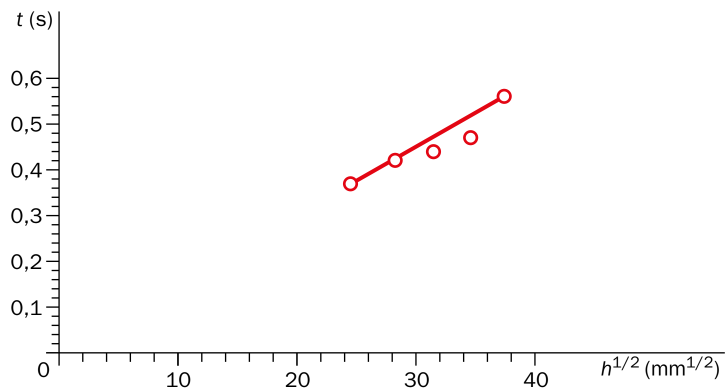
Los datos con los que vamos a trabajar son:

***h* (mm)**	600	800	1 000	1 200	1 400
h^2	$3,60 \cdot 10^5$	$6,40 \cdot 10^5$	$1,00 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$	$1,96 \cdot 10^6$
$h^{1/2}$	24,49	28,28	31,62	34,64	37,42
***t* (s)**	0,37	0,42	0,44	0,47	0,56

Se representa el tiempo en ordenadas frente a h, altura, $h^{1/2}$ y h^2.





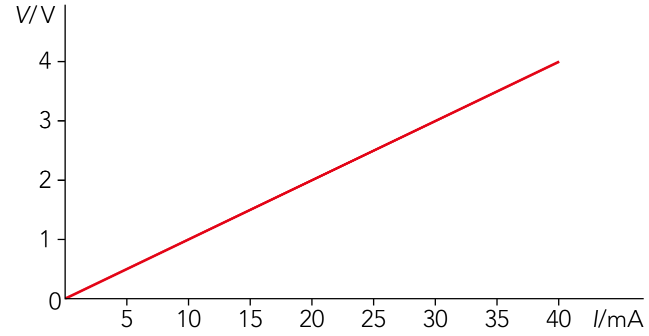


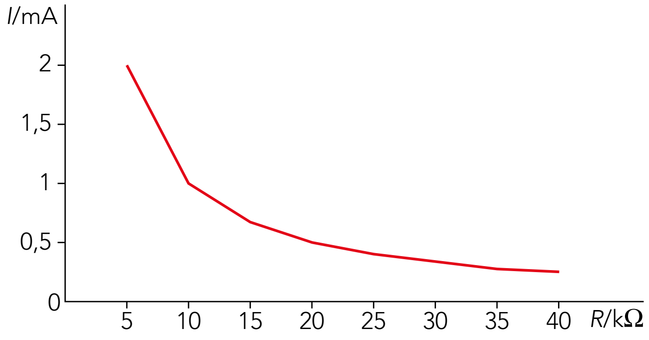
Teniendo en cuenta que en caída libre la ecuación matemática que relaciona el tiempo con la altura es:

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Observamos que t es directamente proporcional a la raíz cuadrada de h. Por tanto, en principio, sería la tercera representación la que más debería ajustarse a una recta. Si comparamos las tres gráficas, la última es la única que tiene tres puntos alineados. Luego, será esta la que se ajustará mejor a una recta.

17 **La ley de Ohm establece que la intensidad de corriente, *I*, que circula por un elemento de un circuito eléctrico es directamente proporcional al voltaje, *V*, aplicado entre sus extremos e inversamente proporcional a su resistencia eléctrica, *R*. ¿Cuál de las siguientes gráficas corresponde a esta ley?**





Ambas gráficas se corresponden con la ley de Ohm.

En la primera, al representar el voltaje frente a la intensidad, obtenemos una recta, porque su relación es directamente proporcional.

Sin embargo, en la segunda gráfica, representamos la intensidad frente a la resistencia, y puesto que su relación es inversamente proporcional, se obtiene una curva o hipérbola.