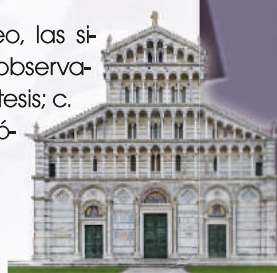


O Medida y método científico

1. El método científico

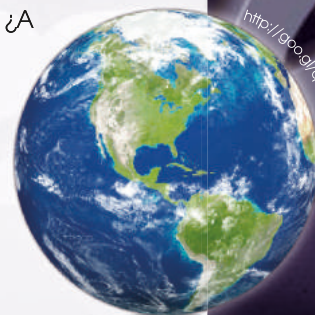
- Durante un viaje de estudios a Italia, se hallan visitando la catedral de Pisa. El guía os explica que, en 1583, Galileo Galilei se encontraba en la catedral cuando una de las lámparas de aceite que pendían del techo atrajo su atención. Observó que en el balanceo de la lámpara cada oscilación completa ocurría exactamente en el mismo tiempo, independientemente de que describiera arcos más grandes o más pequeños. Galileo midió el tiempo con su propio pulso.
- Realicen en clase, lluvia de ideas para crear una lista de los factores de los que podría depender el período de oscilación de la lámpara, seleccionen las que les parezcan más probables y discutan de qué forma podríais comprobar si esto es así.
- A continuación, consulta el artículo «El péndulo simple y el método científico», que hallarás en el enlace <http://goo.gl/CJhU3E>, y visiona el video que contiene.
- Identifica, en la situación inicial y el video, las siguientes etapas del método científico: a. observación de un hecho; b. formulación de hipótesis; c. experimentación (comprobación de hipótesis); d. extracción de conclusiones.



<http://goo.gl/145YEM>

3. Instrumentos de medida

- Esta noche te ha despertado un pequeño temblor de tierra. La cama vibraba y algunos objetos sobre los muebles también se movían ligeramente. Ciertamente, el suceso te ha dejado inquieto, por lo que has buscado información sobre los terremotos y, entre otros, has tropezado con un artículo sobre el seísmo ocurrido en Japón en 2011: <http://goo.gl/RzEQL2>. Este temblor llegó a modificar el eje terrestre, lo que conlleva un cambio en la duración del día.
- ¿Qué observas respecto de los resultados iniciales y definitivos de la medida de la desviación del eje terrestre y del acortamiento en la duración del día? ¿A qué puede deberse esta diferencia?
- ¿Piensas que puede existir incertidumbre en el proceso de medida de una magnitud física? ¿Cuáles pueden ser las fuentes de incertidumbre?
- ¿Qué te preguntas respecto a la forma de expresar una medida experimental o el resultado de un cálculo basado en medidas experimentales? ¿Cómo debería hacerse?
- Pongan sus respuestas en común.



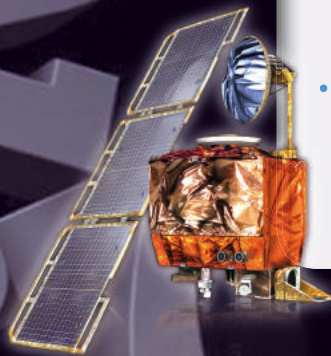
<http://goo.gl/m2er>

2. Medida: magnitudes y unidades

- En el mundo científico-tecnológico, es muy importante adoptar un lenguaje común para posibilitar la interrelación entre científicos o técnicos de diferentes países. En este contexto, utilizar con rigor y coherencia las unidades de medida de las distintas magnitudes es imprescindible, ya sea mediante el uso de un sistema de unidades común o aplicando los factores de conversión necesarios entre distintas unidades.
- Para que comprendas su importancia, en el siguiente enlace puedes informarte sobre lo que ocurrió en el año 1999 con la nave Mars Climate Orbiter:

<http://links.edebe.com/vsd>

- Explica brevemente lo que sucedió y el motivo del incidente. A continuación, trata de dar respuesta a la siguiente cuestión: ¿todos utilizamos las mismas medidas o hay medidas diferentes en cada país?
- Investiga acerca de los orígenes del Sistema Internacional de Unidades y su relación con el Sistema Métrico Decimal. ¿Cuándo se estableció? ¿Con qué finalidad? ¿Cuáles fueron las primeras unidades básicas que se definieron y cómo las definieron?



<http://goo.gl/OPIOqs>

4. Análisis de los datos

- Mientras observas embelesado a tu hermana en su cuna, ella juega con un muñeco que cuelga de un muelle. Entonces, recuerdas de tus clases de ciencias que el alargamiento del muelle es proporcional a la fuerza ejercida, por lo que decides comprobar si esta ley se cumple con el juguete de tu hermana, colocando en el extremo del muelle diferentes masas. En la siguiente tabla, se muestran los resultados que has obtenido:

MASA (kg)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Alargamiento (cm)	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0

- Representa los valores de la tabla en una gráfica.
- ¿Cuáles son las variables que intervienen en el experimento?
 - ¿Qué masa necesitarías colgar del muelle para que se alargara exactamente 2,0 cm?
 - ¿Qué valor estimas que se estiraría el muelle al colgarle una masa de 3,0 kg?
 - ¿Qué ley matemática se cumple? Formúlala con palabras.



<http://goo.gl/WzOUeR>

<http://goo.gl/nFxd2r>

Prohibida su reproducción

Y TAMBIÉN:

Según el Diccionario de Inglés de Oxford el método científico es: «un método o procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural desde el siglo XVII, que consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, la formulación, análisis y modificación de las hipótesis». Sin embargo desde el siglo XX, la física vanguardista crea condiciones especiales para observar fenómenos que no pueden estudiarse en condiciones normales, tales como la amplificación de la luz. Esto ha permitido el avance vertiginoso de la Física Teórica, dentro de la cual no todas las leyes son fundamentales, es decir aquellas que sirven como base y que se articulan para formar un sistema coherente al cual llamamos Teoría Física, encontrar las leyes fundamentales en una teoría, es lo que permite dar un salto en la comprensión de un fenómeno físico. Un ejemplo de ello es la Ley de Ohm, que pese a no ser fundamental, es parte de un Sistema de leyes que llamamos Teoría Electromagnética.

Y TAMBIÉN:

Las teorías científicas están siempre en proceso de revisión crítica. La aparición de nuevos hechos experimentales no explicados por la teoría, o la aparición de nuevas teorías que expliquen mayor número de fenómenos observados y de forma más precisa, deben conducirnos a cuestionar la validez de la teoría preexistente.

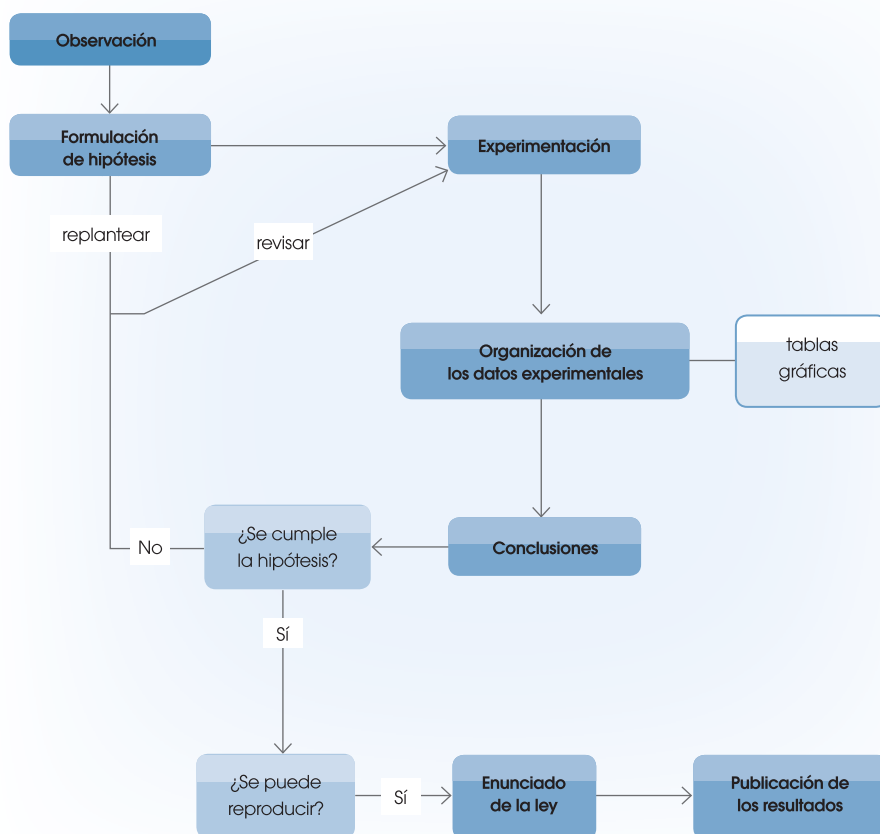
TEN EN CUENTA QUE:

La ciencia es el conjunto de conocimientos, sistemáticamente estructurados, que se han adquirido a partir de un método objetivo, basado en la observación, el razonamiento y la experimentación.

I. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Los seres humanos siempre hemos intentado entender y explicar los fenómenos que se observan en la naturaleza. A veces, nos parece que ya está todo descubierto; sin embargo, sabemos que esto no es así. Aún nos queda un largo recorrido en la comprensión de nuestro mundo. Los antiguos griegos observaban la naturaleza y predecían leyes que justificaran su comportamiento. Mucho más tarde, en el siglo XVI, se desarrolló en toda su extensión lo que hoy conocemos como método científico.

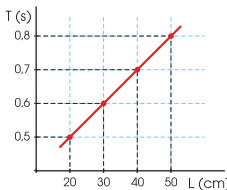
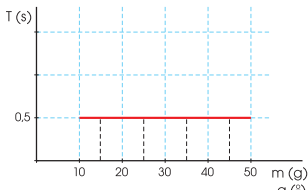
Como has podido ver en la página 10, en 1583, Galileo Galilei estudió el comportamiento del péndulo. La lámpara que le sirvió de inspiración sigue en la catedral de Pisa, se llama lámpara de Galileo. Galileo podría haberse hecho más preguntas relacionadas con el movimiento pendular de la lámpara: ¿tardaría lo mismo en hacer una oscilación si el cable fuera más corto? ¿Y si la lámpara pesara más? Podemos tratar de resolver estas preguntas siguiendo las etapas del método científico.



Este método es la base de la ciencia como la conocemos actualmente.

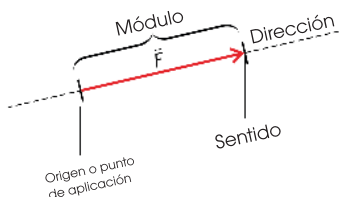
1.1. Etapas del método científico

Aunque la investigación científica no siempre sigue un proceso tan detallado, resulta útil establecer una serie de etapas.

Etapas	Ejemplo																														
0. Para formular una teoría nos debemos basar en las leyes fundamentales, encontradas con anterioridad experimentalmente. Adicionalmente, antes de proceder a establecer una hipótesis sobre las relaciones cuantitativas de las variables analizadas, debemos caracterizar con magnitudes medibles a los fenómenos estudiados.	Nos basamos en las leyes inferidas anteriormente en cinemática. Para la magnitud longitud, usamos la unidad internacional, metro. Para la magnitud masa, usamos la unidad internacional kilogramo. Para la magnitud tiempo usamos la unidad internacional tiempo.																														
1. Observación de un hecho o fenómeno. Para poder observar con mayor precisión, los científicos han desarrollado instrumentos de observación, como telescopios, microscopios...	El período de oscilación no depende de la amplitud de la oscilación ni de la masa, sino únicamente de la longitud del hilo. 																														
2. Formulación de hipótesis. Una hipótesis es una suposición sobre el fenómeno observado, propuesta por el científico para explicarlo. La hipótesis tendrá que ser demostrada experimentalmente.	Construimos un péndulo colgando una tuerca de un hilo. Variamos el ángulo inicial de la oscilación, la masa de la tuerca y la longitud del hilo.																														
3. Experimentación. Experimentar es provocar un fenómeno en condiciones controladas, de manera que se pueda repetir y modificar. El experimento que diseñemos para comprobar la hipótesis tiene que ser reproducible por otros. Debemos tener en cuenta qué variables vamos a estudiar: • Variable independiente. La que nosotros vamos a elegir para cambiar su valor a nuestra voluntad. • Variable dependiente. Aquella en la que tratamos de averiguar la influencia de la anterior. • Es importante ser muy minucioso y metódico en la recogida de datos para minimizar los errores.	 En todos los casos, la variable dependiente es el período T. Las variables independientes son θ, m y L, respectivamente, para cada uno de los tres experimentos.																														
4. Organización de los datos experimentales. Lo más habitual es organizarlos en tablas de datos y gráficas. En la tabla, organizamos los datos en filas (para las medidas) y columnas (para las variables). La tabla debe incluir las unidades de medida. Las gráficas pueden ser de varios tipos: de puntos en ejes de coordenadas, de barras, de sectores... En el apartado 4, ampliaremos la información sobre este punto. Además debemos hacer una comprobación con otros experimentos.	<table><tr><th>θ (°)</th><th>T (s)</th><th>m (g)</th><th>T (s)</th></tr><tr><td>15</td><td>0,5</td><td>15</td><td>0,5</td></tr><tr><td>25</td><td>0,5</td><td>25</td><td>0,5</td></tr><tr><td>35</td><td>0,5</td><td>35</td><td>0,5</td></tr><tr><td>45</td><td>0,5</td><td>45</td><td>0,5</td></tr></table> <table><tr><th>L (cm)</th><th>T (s)</th></tr><tr><td>20</td><td>0,5</td></tr><tr><td>30</td><td>0,6</td></tr><tr><td>40</td><td>0,7</td></tr><tr><td>50</td><td>0,8</td></tr></table> 	θ (°)	T (s)	m (g)	T (s)	15	0,5	15	0,5	25	0,5	25	0,5	35	0,5	35	0,5	45	0,5	45	0,5	L (cm)	T (s)	20	0,5	30	0,6	40	0,7	50	0,8
θ (°)	T (s)	m (g)	T (s)																												
15	0,5	15	0,5																												
25	0,5	25	0,5																												
35	0,5	35	0,5																												
45	0,5	45	0,5																												
L (cm)	T (s)																														
20	0,5																														
30	0,6																														
40	0,7																														
50	0,8																														

Y TAMBIÉN:

Un vector es un segmento orientado, que consta de:



- El módulo indica la longitud del vector, y se expresa con un valor numérico y su unidad correspondiente.
- La dirección es la recta sobre la que se encuentra el vector, es decir, sobre la que se aplica la magnitud vectorial.
- El sentido indica la orientación y se representa mediante la punta de la flecha.
- El punto de aplicación es el lugar donde comienza el vector, y se aplica la magnitud vectorial.

TIC

Aprende sobre los antecedentes del SI y la evolución en la definición del metro a lo largo del tiempo:

<http://goo.gl/y9EmOu>

Y TAMBIÉN:

Aunque el SI de unidades es el más utilizado por la comunidad científica, no es el único; hay otras magnitudes que no están incluidas, aunque están aceptadas por él, y hay también otros sistemas, como el sistema técnico o el anglosajón.

2. MEDIDA: MAGNITUDES Y UNIDADES

Las ciencias experimentales miden las relaciones entre magnitudes, que caracterizan a los fenómenos físicos.

La **magnitud** es toda propiedad física que se puede medir o cuantificar; por ejemplo, la presión, el volumen, la temperatura, la masa, la concentración...

Medir una magnitud física consiste en compararla con otra magnitud conocida, la cual tiene asignada una unidad patrón, elegida por convención.

2.1. Tipos de magnitudes y sistema de unidades

Las magnitudes pueden clasificarse en escalares y vectoriales.

Una magnitud es escalar si queda perfectamente determinada mediante un número y su correspondiente unidad. Por ejemplo, el tiempo, la temperatura y la masa son magnitudes escalares.

Una magnitud es vectorial si, para su completa determinación, además de una cantidad numérica y su unidad correspondiente, son necesarios otros elementos, como su dirección y su sentido. Por ejemplo, la velocidad y la fuerza son magnitudes vectoriales.

En 1960, científicos de todo el mundo se reunieron en Ginebra para acordar el llamado Sistema Internacional de Unidades (SI), basado en el Sistema Métrico Decimal. El SI establece siete magnitudes fundamentales, a partir de las cuales se pueden expresar todas las demás, llamadas derivadas, mediante expresiones matemáticas. De igual forma, la unidad de una magnitud cualquiera puede expresarse en función de las unidades de las magnitudes fundamentales.

La relación que se establece entre una magnitud derivada y las magnitudes fundamentales recibe el nombre de ecuación de dimensión. La dimensión de cualquier magnitud se representa indicando dicha magnitud entre corchetes.

MAGNITUDES FUNDAMENTALES		UNIDADES SI	
Longitud	L	metro	m
Tiempo	T	segundo	s
Masa	M	kilogramo	kg
Intensidad de corriente	I	amperio	A
Temperatura	θ	kelvin	K
Cantidad de sustancia	N	mol	mol
Intensidad luminosa	I_v	candela	cd

Si, por ejemplo, queremos determinar la ecuación de dimensión de la velocidad, haríamos: $v = s / t$; $[v] = L / T = L \cdot T^{-1}$.

2.2. Notación científica

Para manejar cómodamente números de diferentes órdenes de magnitud (muy grandes o muy pequeños), se recurre a la notación científica, que consiste en expresar cada número mediante una parte entera con una sola cifra no nula y tantos decimales como se desee o se acuerde, acompañado de una potencia de 10 de exponente entero.

Si, por ejemplo, queremos expresar el radio medio de la Tierra, que es de 6 370 000 m, en notación científica, tendríamos $6,37 \times 10^6$ m.

2.3. Cambios de unidades. Factores de conversión

Para cambiar unidades, es muy útil emplear factores de conversión.

Un factor de conversión es una fracción en la que el numerador y el denominador expresan la misma cantidad, pero en distintas unidades.

Por lo tanto, al multiplicar una cantidad, con unas unidades, por un factor de conversión, esta pasa a estar expresada en las unidades que nos interese. Podemos usar tantos factores de conversión como unidades queramos cambiar.

Ejemplo 1

Considerando la Tierra como una esfera homogénea, **calcula**:

- las dimensiones y unidades en el SI de su densidad media;
- el valor de esta magnitud en notación científica.

DATOS: masa promedio de la Tierra, $5,98 \times 10^{24}$ kg; radio medio de la Tierra, 6 370 km.

COMPRENSIÓN. Una vez determinadas las dimensiones de la densidad y sus unidades en el SI, deberemos expresar el radio medio de la Tierra en metros (SI), mediante un factor de conversión, para hallar el volumen y, a continuación, la densidad.

DATOS. $m = 5,98 \times 10^{24}$ kg; $R_T = 6370$ km.

RESOLUCIÓN.

- Determinamos las dimensiones de la densidad a partir de la ecuación de dimensión:

$$d = \frac{m}{V}; \quad [d] = \frac{M}{L^3} = M \cdot L^{-3}$$

Y, por tanto, su unidad en el SI es el $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

- En primer lugar, hacemos el cambio de unidades del radio de la Tierra, para después calcular su volumen, suponiéndola esférica, y finalmente la densidad media:

$$R_T = 6370 \text{ km} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$V_T = \frac{4}{3} \pi R_T^3 = \frac{4}{3} \pi (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^3$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{1,08 \cdot 10^{21} \text{ m}^3} = 5,54 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

COMPROBACIÓN. Las dimensiones y las unidades en el SI del resultado son coincidentes con lo determinado en el apartado a), que debe corresponder a una densidad.

Y TAMBIÉN: ?

Además de las unidades mencionadas, existen múltiplos y submúltiplos decimales aceptados por el SI, cuyos prefijos se recogen aquí:

MÚLTIPLOS		
FACTOR	PREFIJO	SÍMBOLO
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h

SUBMÚLTIPLOS		
FACTOR	PREFIJO	SÍMBOLO
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

TIC



Leonardo da Vinci, en *El hombre de Vitrubio*, trata el tema de la medida, desvelando la proporción entre todas las partes del cuerpo humano. Para profundizar más en el análisis de este dibujo o en los logros de este polifacético personaje, visita:

<http://goo.gl/STwZ6h>



- Balanza digital de laboratorio. Una balanza con una resolución de centésimas de gramo nos dará una medida con incertidumbre de $\pm 0,01$ g.

Y TAMBIÉN:



Las fuentes de error se pueden clasificar en tres conjuntos:

- Errores accidentales o aleatorios. Aparecen cuando, al realizar la misma medida varias veces, hay una variación en el resultado obtenido. Estos errores se minimizan si se repite más veces el experimento.
- Errores sistemáticos. Suponen una desviación constante de todas las medidas realizadas, y pueden deberse, por ejemplo, a una mala calibración del instrumento de medida.
- Errores personales. Lectura o manejo inadecuados de los instrumentos, equivocaciones.

Y TAMBIÉN:



Error absoluto: $\varepsilon_i = |x_i - \bar{x}|$

Error absoluto medio (desviación media):

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i}{n} = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

Error relativo (en %):

$$\varepsilon_r = \frac{\bar{\varepsilon}_{abs.}}{\bar{x}} \cdot 100$$

3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para medir las magnitudes, se utilizan instrumentos de medida, como por ejemplo, una regla o un metro para medir longitud, un cronómetro para medir tiempo, un amperímetro para medir intensidad de corriente eléctrica... Para poder hacer buenas medidas experimentales, es importante conservar los instrumentos de medida en buenas condiciones.

3.1. Características de los instrumentos

Hay tres términos que nos dan una idea de la bondad de un instrumento de medida y, por lo tanto, de la propia medida.

- **Exactitud.** Grado de coincidencia del valor tomado con el valor real de la medida.
- **Precisión.** Está relacionada con la reproducibilidad de las medidas, y representa la cercanía entre los valores que se han obtenido al repetir una medida varias veces. Un instrumento puede ser preciso, pero no exacto, o al revés.
- **Sensibilidad o resolución.** Nos indica la imprecisión del aparato; es decir, la mínima variación de la magnitud medida que detecta el instrumento.

3.2. Errores en la medida

Todas las mediciones tienen asociada una incertidumbre o error, que puede deberse a los siguientes factores: la naturaleza de la magnitud que se mide, el instrumento de medición, el observador y las condiciones externas.

Cuando una medida es reproducible, se le asigna una incertidumbre debida a la resolución del instrumento de medida, la cual se conoce como error de resolución. Así, con una pipeta que mide hasta décimas de mililitro, el error de resolución sería de $\pm 0,1$ ml.

Sin embargo, para determinar la incertidumbre de las medidas experimentales, debemos tener en cuenta de qué forma se han obtenido estas.

- Si se realiza una única medición de cierta magnitud, la incertidumbre en la medida será igual al error de resolución del instrumento.
- Si se realizan varias medidas, se toma como medida exacta la media de los valores obtenidos, y se calcula el error absoluto medio o error de dispersión.

El error absoluto medio, o error de dispersión $\bar{\varepsilon}$, es la media de los valores absolutos de la diferencia entre cada medida obtenida y su valor considerado como exacto.

En este caso, el error cometido (la incertidumbre) será el valor mayor de las dos cantidades siguientes: la resolución del aparato y el error absoluto medio.

El problema es que el error absoluto no nos da ninguna idea de la calidad de la medida (no es igual cometer un error de 1 s en la medida de un minuto que en la de un día completo). Para ello, se utiliza el error relativo medio.

- Si la medida es indirecta, es decir, aplicando una fórmula matemática sobre medidas experimentales, el cálculo de la incertidumbre suele ser más complicado. Como regla general, estableceremos las siguientes pautas:
- El error absoluto de una suma (o resta) es igual a la suma de los errores absolutos.
- El error relativo de un producto (o cociente) es igual a la suma de los errores relativos.

3.3. Expresión del resultado de una medida

Cuando expresamos el resultado de una medida, debemos indicar su valor incluyendo todos los dígitos que se conocen con precisión, más un último dígito que está afectado por el grado de incertidumbre de la medida. Por ejemplo, $(1,287 \pm 0,003)$ g, $(0,05 \pm 0,01)$ l, etc.

Por lo tanto, debemos utilizar un número adecuado de cifras significativas.

Las cifras significativas son los dígitos que se conocen con precisión, más un último dígito, que debe estimarse.

Así pues, tal como se indica en el lateral, si expresamos el valor de cierta magnitud como 23,45, estamos indicando que este tiene cuatro cifras significativas.

Para operar con cifras significativas, hay que tener en cuenta las siguientes normas:

El resultado de una suma (o resta) se debe expresar con el mismo número de decimales que el sumando que tenga menos.

Ejemplo: $1,623 + 2,24 = 3,86$; no 3,863.

El resultado de un producto (o cociente) no debe tener más cifras significativas que la cantidad que menos tiene.

Ejemplo: $1,33 \times 2,5 = 3,3$; no 3,325.

Ejemplo 2

Las dimensiones oficiales de un campo de fútbol son de 105 m por 70 m, aunque hay un margen de variación permitido. Un hinchas comprobó, tras varias medidas, que el terreno de su equipo tenía un tamaño de (105 ± 1) m y (70 ± 1) m. **Determina**, con su grado de incertidumbre: a) el valor de la superficie; b) el valor del perímetro.

COMPRENSIÓN. Como la superficie es el producto de sus dimensiones, para calcular el error absoluto de la superficie, tendremos que calcular primero el error relativo de dimensión y, luego, sumarlos. En cambio, en el caso del perímetro, sumaremos los errores absolutos.

DATOS: $A = (105 \pm 1)$ m; $B = (70 \pm 1)$ m.

RESOLUCIÓN:

a. Hallamos el valor de la superficie con su incertidumbre:

$$S = A \cdot B = 105 \text{ m} \cdot 70 \text{ m} = 7350 \text{ m}^2$$

$$\varepsilon_r(S) = \varepsilon_r(A) + \varepsilon_r(B) = \frac{1}{105} + \frac{1}{70} = 0,024$$

$$\varepsilon_r(S) = \frac{\varepsilon_{\text{abs}}(S)}{S} \Rightarrow \varepsilon_{\text{abs}}(S) = \varepsilon_r(S) \cdot S = 0,024 \cdot 7350 \text{ m}^2 = 176 \text{ m}^2$$

$$S = (7350 \pm 176) \text{ m}^2$$

b. Hallamos el valor del perímetro con su incertidumbre:

$$P = 105 + 105 + 70 + 70$$

$$P = 346 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{\text{abs}}(P) = \varepsilon_r(P) \cdot P = 0,024 \cdot 346 \text{ m} = 8,304 \text{ m}$$

$$P = (346 \pm 8,304) \text{ m}$$

Y TAMBIÉN: !?

Reglas del redondeo:

- Si la cifra decimal situada más a la izquierda, de aquellas de las que se va a prescindir, es menor que 5, se eliminan sin más. Por ejemplo, 3,723 se redondea con un solo decimal a 3,7.
- Si es igual o mayor que 5, se añade una unidad al dígito anterior. Por ejemplo, 3,76 se redondea a 3,8.

Y TAMBIÉN: !?

Cifras significativas:

- Los dígitos distintos de cero son siempre significativos.
- Los ceros entre otros dígitos también son siempre significativos. Por ejemplo, 3,04 tiene tres cifras significativas.
- Los ceros a la izquierda no son significativos. Por ejemplo, 0,028 tiene dos cifras significativas y puede expresarse $2,8 \times 10^{-2}$.
- Los ceros a la derecha de la coma decimal sí son significativos. Por ejemplo, 3,00 tiene tres cifras significativas.
- Los ceros a la derecha en un número entero pueden ser o no cifras significativas; para evitar esta ambigüedad, es mejor escribir el número con notación científica. Por ejemplo, el número 3000 puede tener una, dos, tres o cuatro cifras significativas, pero si escribes 3×10^3 ya sabes que tiene una cifra significativa.

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Una vez obtenidos los datos experimentales, es importante llevar a cabo un tratamiento de estos que nos permita extraer conclusiones. Para ello, disponemos de dos herramientas muy útiles: tablas, para ordenar los datos, y gráficas, para observar las relaciones entre ellos.

4.1. Tablas

Cuando se clasifican los datos obtenidos en un experimento, es útil ordenarlos y clasificarlos construyendo una tabla, en la que se disponen las variables en filas o columnas. Es importante que en la cabecera de la tabla se indique qué variable se recoge en cada fila o columna, y en qué unidades está expresada. Generalmente, se indica en primer lugar la variable independiente y después la variable dependiente.

Es frecuente que estas tablas se utilicen posteriormente para representar los valores obtenidos en una gráfica, cuyo impacto visual es mayor y nos ayuda a observar más fácilmente la relación entre las variables. fuerza, $F = (F_x, F_y, F_z)$.

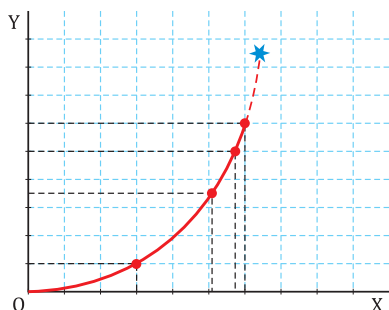
4.2. Gráficas

Cuando transferimos los datos a una gráfica, podemos comprobar la relación matemática entre las variables, viendo si la gráfica se ajusta a alguna función matemática, como una recta, una hipérbola, una parábola... Según este aspecto, la relación puede ser:

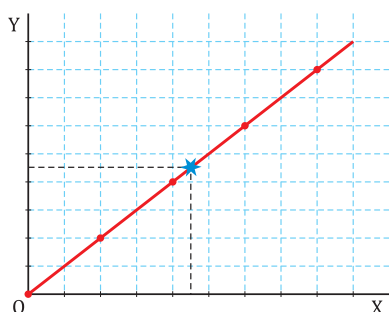
- **De proporcionalidad directa.** Corresponde a aquellas funciones cuya representación gráfica es una recta. En este caso, la función es del tipo $y = m x$ (función afín) o $y = m x + n$ (función lineal).
- **De proporcionalidad inversa.** Cuando dos magnitudes son inversamente proporcionales, al unir sus puntos, obtenemos una hipérbola. La expresión matemática de estas funciones es del tipo $y = k / x$.
- **Cuadrática.** Corresponde a aquellas funciones donde la dependencia es con el cuadrado de x ; ($y = ax^2 + bx + c$), y cuya representación gráfica es una parábola.

A la hora de representar los datos en una gráfica, es importante adaptar la escala para que esta quede proporcionada. Hay que indicar en el extremo de cada eje la magnitud que se representa y la unidad en que está medida, representando la variable independiente en el eje de abscisas y la variable dependiente en el de ordenadas.

Finalmente, para unir los puntos, hay que hacerlo ajustándolos a la línea que mejor representa al conjunto de todos ellos; es decir, en ocasiones será necesario descartar algún punto, ya que al tratarse de resultados experimentales, alguna medida puede haber salido distorsionada y hay que ser capaz de discriminarla.



■ Extrapolación



■ Interpolación

Y TAMBIÉN:



Interpolación y extrapolación

En ocasiones, nos puede interesar conocer el valor de un punto intermedio entre los que hemos medido. A partir de la gráfica, podemos estimar el valor de un punto; este proceso se llama interpolación.

Análogamente, cuando el valor que nos interesa conocer se encuentra fuera del rango que hemos representado, podemos prolongar la gráfica para estimar dicho valor; este proceso se llama extrapolación.

4.3. Extracción de conclusiones

Una vez que hemos confirmado una hipótesis mediante el diseño y la ejecución de un experimento científico, y después de comprobar que nuestro experimento es repetible, debemos transformar nuestras conclusiones en una ley, expresada generalmente en lenguaje matemático.

Es importante también dar a conocer el trabajo experimental a la comunidad científica mediante la elaboración de un informe de investigación, la publicación de nuestros resultados en una revista científica o su presentación en un congreso para su divulgación.

En un experimento, se ha estudiado la relación entre el volumen que ocupa un gas y la presión que ejerce, y se han obtenido los resultados que aparecen en la siguiente tabla:

Presión (10^5 Pa)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Volumen (L)	62	30	19	14	12	10

- a. Representa los valores obtenidos en una gráfica y deduce la relación que existe entre las variables. b. ¿Qué presión se espera que ejerza el gas cuando ocupe un volumen de 25 litros? c. ¿Qué volumen ocupará el gas cuando ejerza una presión de 4×10^5 Pa?

COMPRENSIÓN. A partir de los datos de la tabla, comprobamos que al aumentar la presión del gas disminuye su volumen, y viceversa, por lo que aparentemente las variables guardan una relación de proporcionalidad inversa. Si multiplicamos presión por volumen en cada caso, observamos que esta relación permanece constante.

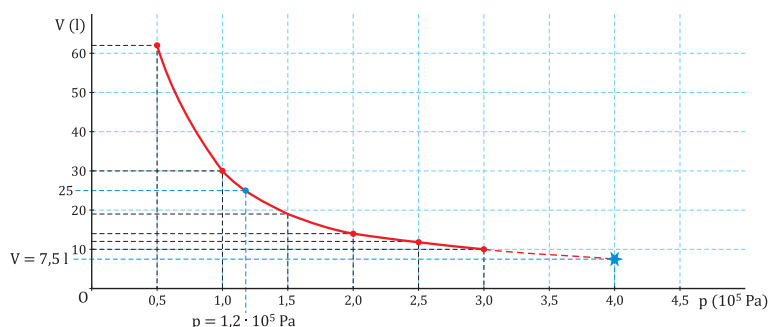
DATOS. Los incluidos en la tabla del enunciado.

RESOLUCIÓN.

- a. Completamos la tabla con los valores del producto de la presión y el volumen:

Presión (10^5 Pa)	Volumen (L)	$p \times V$ (10^5 Pa $\times$ L)	Presión (10^5 Pa)	Volumen (L)	$p \times V$ (10^5 Pa $\times$ L)
0,5	62	31	2,0	14	28
1,0	32	30	2,5	12	30
1,5	19	29	3,0	10	30

- El producto $p \times V$ permanece constante, por lo que la relación entre ambas magnitudes es de proporcionalidad inversa: $V = k / p$.
- Representamos los pares de valores en una gráfica. A partir de esta, constatamos la relación inversa entre las variables, obteniendo una hipérbola.



- b. Podemos estimar, a partir de la gráfica, que para un volumen de 25 litros corresponde un valor de presión de $1,2 \times 10^5$ Pa. Este valor lo hemos obtenido por interpolación.
- c. Para estimar el volumen del gas cuando la presión sea de 4×10^5 Pa, tenemos que salir del rango de la gráfica. Así, extrapolamos un valor de 7,5 litros.

COMPROBACIÓN. Podemos comprobar que los valores que hemos estimado por interpolación y extrapolación se ajustan a la misma relación de proporcionalidad inversa.

TIC



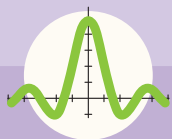
Puedes simular un experimento análogo al del Ejemplo 3 en el siguiente enlace:

<http://goo.gl/csPIOd>

Y TAMBIÉN:



Un informe científico debe contener el título del trabajo y sus autores, el objetivo de la investigación (breve resumen), todas las etapas del trabajo y la bibliografía.



Ejercicios y problemas

1 El método científico

1. **Señala** cuáles de las siguientes afirmaciones relacionadas con el método científico son correctas. **Justifica** tu respuesta.
 - a. Las teorías científicas son hipótesis que parten de la observación.
 - b. El experimento pone a prueba la validez de la hipótesis.
 - c. Las hipótesis deben ser ciertas; de lo contrario, no serían hipótesis.
2. En el siguiente caso, indica cuáles son las variables dependiente, independiente y controlada:
 - En un experimento, se mide la variación en la presión de un gas al modificar la temperatura. Se realiza el experimento en un recipiente cerrado.
3. En los siguientes supuestos, formula las hipótesis; **diseña** un experimento que te permita verificarlas; **indica** cuál sería la variable independiente, la dependiente y las variables controladas, y **explica** también cómo organizarías los datos obtenidos:
 - a. ¿Cómo varía la solubilidad del azúcar en agua al variar la temperatura? ¿Influye la presencia de otra sustancia disuelta en dicha solubilidad?
 - b. ¿Influye la rugosidad de la superficie de los cuerpos en la fuerza de rozamiento?

2 Medida: magnitudes y unidades

4. **Indica** cuáles de las siguientes magnitudes son fundamentales o derivadas, y cuáles son escalares o vectoriales: longitud, aceleración, temperatura, volumen, presión, cantidad de sustancia.
5. **Redondea** los siguientes números a tres cifras significativas y escríbelos utilizando notación científica:
 - a. 0,0652 m;
 - b. 38,258 s;
 - c. 1 352 cm;
 - d. 122,45 km · h⁻¹.

6. **Indica** cuál de las siguientes expresiones es dimensionalmente incorrecta:

- a. $v^2 = 2 a x$;
- b. $x = v^2/a$;
- c. $F = m \Delta v/\Delta t$;
- d. $m g h = 1/2 \cdot m v^2$.

7. **Busca** en Internet los siguientes datos y observa su orden de magnitud, expresando su valor en unidades del SI y notación científica: masa de un electrón, carga de un protón, distancia entre la Tierra y la Luna, antigüedad del universo, temperatura media del Sol.

8. **Expresa** en notación científica:

- a. La capacidad de un ordenador es de quinientos doce millones de bytes.
 - b. El radio de un átomo de litio es de 0,123 milmillonésimas de metro.
9. Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su amplitud y por su frecuencia. Cuanto mayor es su frecuencia, más peligrosas son para la salud. De acuerdo con ello, **ordena** las siguientes ondas electromagnéticas, según su peligrosidad creciente: rayos X (1018 PHz); ondas de radio AM (1000 kHz); luz visible (500 THz); microondas (1011 MHz); ultravioleta (900 THz).

10. **Efectúa** los siguientes cambios de unidades:

- a. 45 cm · min⁻¹ a km · semana⁻¹
- b. 0,11 cal · g⁻¹ · °C⁻¹ a J · kg⁻¹ · K⁻¹
- c. 2,59 g · l⁻¹ a kg · m⁻³
- d. 65 ml · cm⁻² a l · m⁻²

11. **Investiga** sobre las siguientes unidades de medida y **expresa** su equivalencia en unidades del SI:

- a. yarda;
- b. legua marina;
- c. año luz;
- d. libra;
- e. galón inglés.

3 Instrumentos de medida

12. Razona mediante un ejemplo si una medida puede ser muy precisa, pero muy poco exacta. ¿Y al contrario?
13. **Halla** la incertidumbre de las siguientes medidas y escríbelas a continuación acompañadas de esa incertidumbre:
- a. 2,04 g;
 - b. 18,15 m;
 - c. 5,4 °C;
 - d. 16,5 atm.
14. Se ha medido el radio de una circunferencia y ha resultado ser de 4,22 cm. **Expresa** el valor de la longitud de la circunferencia con el número adecuado de cifras significativas.
15. Razona si tiene el mismo significado físico indicar que un objeto pesa 15,5 g que 15,500 g. ¿En qué se diferencian las dos medidas? ¿Qué relación guarda con la sensibilidad del aparato? ¿Cómo se expresaría cada una de las medidas con su grado de incertidumbre?
16. Una persona que utiliza para pesarse una báscula que aprecia kilogramos, dice que su masa es de 65,2 kg. ¿Qué ha hecho mal? ¿Qué debería haber dicho? Expresa su masa con su grado de incertidumbre.
17. Los valores obtenidos al medir la longitud de un objeto siete veces son: 28,3 cm, 27,9 cm, 28,2 cm, 28,4 cm, 28,0 cm, 28,3 cm, 28,1 cm. **Calcula:** a. El valor considerado como valor real de la medida. b. El error relativo porcentual que se comete en las dos primeras medidas.
18. Con una balanza que aprecia hasta centigramos, se ha determinado la masa de dos muestras de mármol, obteniéndose 3,42 g y 2,56 g. **Determina** la masa conjunta de las muestras y el error relativo que se comete.

Seleccione la opción correcta en cada caso:

19. La unidad de medida de masas en el sistema internacional es:
- a. g
 - b. kg
 - c. lb
 - d. oz
20. El sistema internacional se puede identificar también por las siglas de su predecesor sistema:
- a. CGS
 - b. FPS
 - c. MKS
 - d. Ninguna es correcta.
21. Convertir a las unidades que se indica:
- 20 ft → yd
 - 15 yd → ft
 - 30 in → ft
 - 4600 yd → mi
 - 15 000 lb → T
 - 5 qt → oz
 - 3 T → lb
 - 15 in → m
 - 1 a → min
 - 5 min → s
 - El límite de velocidad en una autopista de Quito es de 75 mi/h. Conociendo que un conductor viaja a 40 m/s, **investiga** si rebasó el límite de velocidad.
 - Las medidas de un terreno rectangular son 150 yd por 200 yd. **Calcula** el área de éste terreno en metros cuadrados.
 - Un tanque de agua de 55 gal demora en llenarse 10 min. **Determina** la rapidez a la que se llena el tanque en metros cúbicos por segundo.