



**1** bachillerato

# Física y Química

Salvador Lorente  
Juan Quílez  
Eloy Enciso  
Fernando Sendra

# Física y Química

## 1 bachillerato

©ES PROPIEDAD

Salvador Lorente  
Juan Quilez  
Eloy Enciso  
Fernando Sendra  
Editorial ECIR, S.A.

Diseño de interior: Diseño gráfico ECIR

Edición: Editorial ECIR

Impresión: Industrias gráficas Ecir (IGE)

Ilustraciones: Diseño gráfico ECIR

Diseño e ilustración cubierta: Valverde e Iborra / Diseño gráfico ECIR

Fotografía: Archivo ECIR/Godofoto

Depósito legal: V-1791-2008

I.S.B.N.: 978-84-9826-381-7

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad, ni parte de este libro puede ser reproducido o transmitido mediante procedimientos electrónicos o mecanismos de fotocopia, grabación, información o cualquier otro sistema, sin el permiso escrito del editor.



Vila de Madrid, 60 - 46988 - P.I. Fuente del Jarro - PATERNA (Valencia)  
Tels: 96 132 36 25 - 96 132 36 55 - Móvil: 677 431 115 - Fax: 96 132 36 05  
E-mail: [ecir@ecir.com](mailto:ecir@ecir.com) - <http://www.ecir.com>

La **Física y la Química** en el Bachillerato tiene dos objetivos básicos:

- a) que adquieras los conocimientos y las estrategias científicas básicas que te permitan resolver situaciones cotidianas, como por ejemplo explicar el cómo y el porqué se mueven los cuerpos o comprender la importancia de las transformaciones químicas, valorando tanto las ventajas de las mismas como sus posibles inconvenientes. De esta forma podrás ampliar la dimensión cultural de la Física y la Química adquirida en cursos precedentes, dentro de vuestra formación integral como ciudadanos responsables en nuestra sociedad.
- b) que, en consonancia con el objetivo anterior, desarrolles una base científica sólida que te ayude a avanzar en el estudio de nuevos conocimientos o que te posibilite ampliar los ya estudiados en este curso en otros de nivel superior.

Para todo ello es necesario que dispongas de un libro de trabajo que te ayude, de forma efectiva, a asimilar los saberes desarrollados en la asignatura de Física y Química. Con este propósito hemos elaborado este libro de texto, en base a nuestra experiencia didáctica y a los resultados y propuestas que surgen de distintas investigaciones educativas. Como resultado final esperamos que adquieras las habilidades y capacidades necesarias para un aprendizaje significativo e integral de los contenidos que prescribe la legislación vigente. En concreto, hemos introducido en el texto una variedad de recursos didácticos, tales como:

- **Actividades de aprendizaje**, insertadas en cada uno de los temas, que orientan tu trabajo y que te permiten comprender el significado de los conceptos. Por ello, algunas veces las actividades propician la reflexión sobre tus ideas previas, para contrastarlas con los conceptos estudiados, y otras veces, pretenden analizar o consolidar determinados aspectos relevantes.
- **Ejemplos desarrollados** como elementos que te permiten elaborar estrategias de resolución para identificar los distintos tipos de problemas, y con

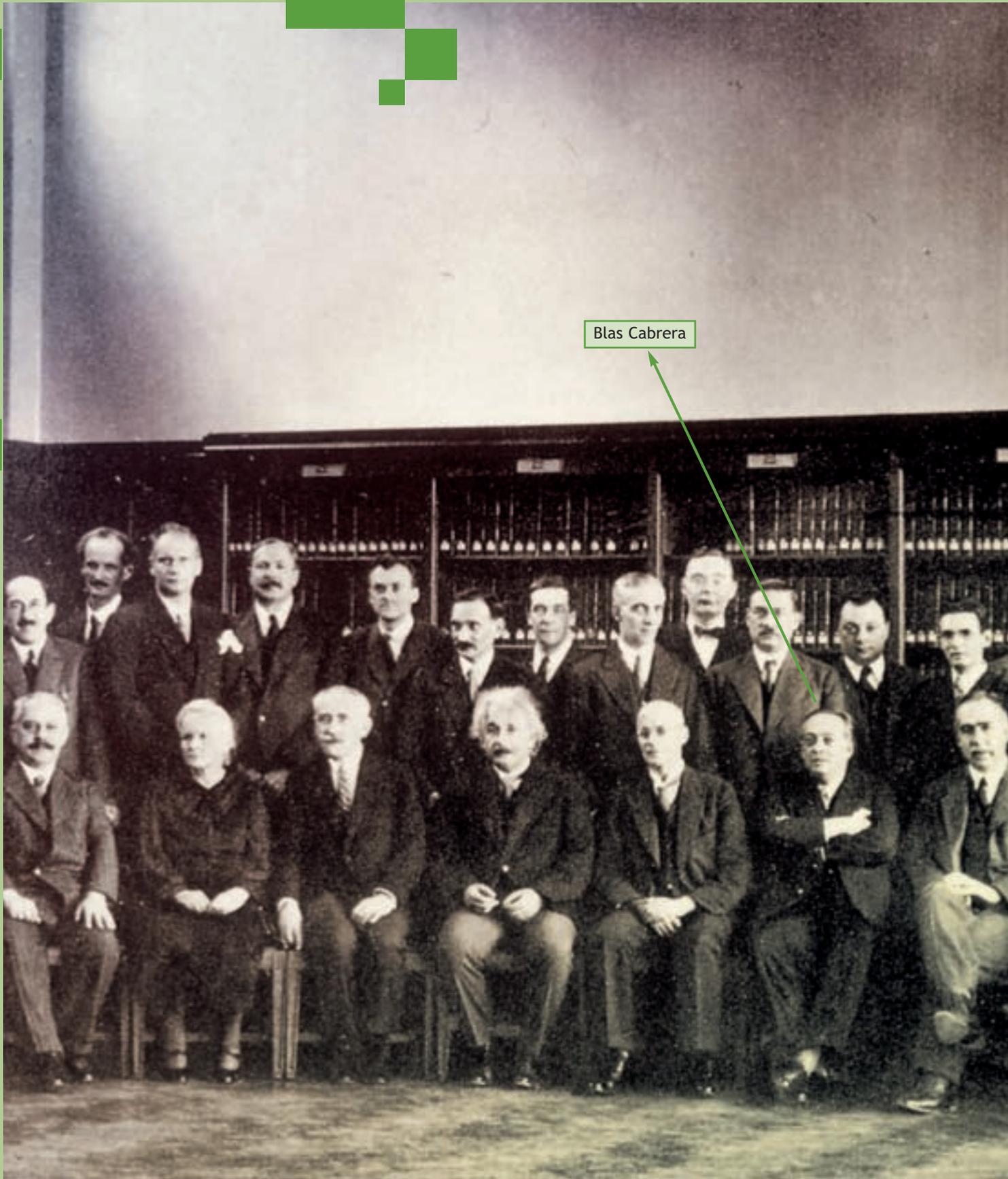
ello establecer pautas que eviten el puro operativismo mecánico, carente de significado.

- **Mapas conceptuales**, que posibilitan explicitar las relaciones entre los conceptos analizados durante el desarrollo del tema, a fin de favorecer un aprendizaje estructurado y organizado.
- **Lecturas históricas** que te ayudan a comprender el origen y evolución de las ideas científicas, a fin de facilitar su comprensión, así como **complementos**, al final de algunos temas, que amplían lo estudiado o que realizan análisis que relacionan la ciencia, la técnica y el medio ambiente.
- Referencias a **Internet**, insertadas en el tema, donde puedes ampliar y comprobar tus conocimientos.
- Propuestas de **experimentos** que intentan acercarnos a la forma de trabajar de los científicos y que facilitan un aprendizaje activo.
- Una **colección extensa y variada de ejercicios**, con las respuestas al final del libro, para que puedas aplicar y practicar las estrategias y conceptos desarrollados.
- Propuestas de **autoevaluación**, al final de cada tema, donde se señalan las capacidades específicas que debes adquirir en cada uno de ellos. Y para evaluar el nivel de asimilación alcanzado se proponen un conjunto de actividades coherentes con las mismas.

Sin embargo, tenemos la convicción de que estos y otros recursos didácticos (figuras explicativas, etc.) presentes en este libro, por sí solos, no son suficientes sin tu trabajo, interés y esfuerzo personales, que siempre deben estar acompañados de las orientaciones y explicaciones de la profesora o el profesor. Esperamos que, en cualquier caso, con la participación de todos desarrolles unas bases científicas que te permitan contribuir, como ciudadanos, a resolver los retos presentes y futuros de la Ciencia para mejorar el medio natural y social del que formamos parte.

<b>TEMA 1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA Y LA QUÍMICA .....</b>	<b>6</b>	3. Energía cinética y su relación con el trabajo .....	122
1. Algunos aspectos de la ciencia .....	8	4. Energía potencial .....	124
2. El trabajo científico .....	13	5. Procesos de transformación de la energía mecánica .....	130
3. Las magnitudes físicas y sus unidades .....	15	6. El calor, un proceso de transferencia de energía .....	134
4. Las imprecisiones y los errores experimentales .....	20	7. Primer principio de la termodinámica .....	140
5. La comunicación en la ciencia .....	22	8. Un enunciado útil del principio de conservación de la energía .....	142
<b>TEMA 2. CINEMÁTICA .....</b>	<b>26</b>	9. Degradación de la energía .....	146
1. ¿Se puede saber de una forma absoluta si un cuerpo se encuentra en reposo o en movimiento? .....	28	10. Obtención y consumo de recursos energéticos: presente y futuro .....	148
2. Magnitudes necesarias en el estudio del movimiento .....	29	<b>TEMA 5. CARGA Y CAMPOS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>158</b>
3. Movimiento rectilíneo uniforme .....	34	1. Experimentos sobre la electrización: modelos explicativos .....	160
4. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado .....	35	2. Fuerzas entre cargas: Ley de Coulomb .....	165
5. Las aportaciones de Galileo al desarrollo de la cinemática .....	42	3. Otra descripción de la interacción entre cargas: El campo eléctrico .....	170
6. Movimiento en dos o tres dimensiones .....	48	4. Energía potencial eléctrica .....	176
7. Movimiento circular .....	57	<b>TEMA 6. CORRIENTE ELÉCTRICA .....</b>	<b>186</b>
<b>TEMA 3. DINÁMICA .....</b>	<b>68</b>	1. El circuito eléctrico .....	188
1. ¿Qué es la fuerza? .....	70	2. La corriente eléctrica. Mecanismo de conducción e intensidad .....	189
2. ¿Cómo calcular el valor de las fuerzas? .....	72	3. Relación entre la diferencia de potencial y la intensidad: Ley de Ohm .....	192
3. ¿Cómo caracterizar el estado de movimiento de los cuerpos? Cantidad de movimiento .....	74	4. Las resistencias .....	194
4. Los principios de la dinámica: Leyes de Newton .....	75	5. Generadores de tensión: características .....	200
5. La interacción gravitatoria. La fuerza peso .....	82	6. Transformaciones energéticas en un circuito simple .....	202
6. La tensión .....	85	7. Receptores activos y la aplicación del principio de conservación de energía en los circuitos eléctricos .....	206
7. La fuerza de rozamiento entre sólidos por deslizamiento .....	86	8. La energía eléctrica en la sociedad actual: generación, consumo y repercusiones de su utilización .....	210
8. Aplicación de las leyes de Newton a situaciones dinámicas .....	91	<b>TEMA 7. LA TEORÍA CINÉTICO-MOLECULAR DE LA MATERIA .....</b>	<b>220</b>
9. Fuerzas en movimientos circulares. La fuerza centrípeta .....	95	1. Estudio experimental de los gases: la ley de los gases ideales. Explicación corpuscular y cinética .....	222
10. Acción de fuerzas durante un intervalo de tiempo: impulso mecánico .....	98	2. El modelo cinético es extensible a todos los estados de la materia .....	226
11. Conservación de la cantidad de movimiento .....	99	3. Clasificación de los sistemas materiales .....	228
<b>TEMA 4. LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA .....</b>	<b>110</b>		
1. La energía y su transferencia .....	112		
2. El trabajo en los fenómenos mecánicos .....	116		

4. La transformación química de la materia y sus leyes .....	230	8. El sistema periódico de los elementos químicos .....	357
5. Teoría atómica de Dalton .....	233	9. Propiedades periódicas de los elementos químicos .....	364
6. Los gases y sus leyes de combinación en las transformaciones químicas. La molécula .....	236	<b>TEMA 11. ENLACE QUÍMICO .....</b>	<b>374</b>
7. El elemento químico .....	238	1. ¿Por qué se combinan los átomos? .....	376
8. Masas atómicas y moleculares .....	240	2. Enlace iónico. Sustancias iónicas .....	378
9. La fórmula química y su significado .....	242	3. Enlace covalente .....	384
10. La cantidad de sustancia y su unidad: el mol ....	245	4. Enlaces intermoleculares .....	389
11. Las disoluciones y su concentración .....	253	5. Sustancias formadas por enlaces covalentes: tipos de sólidos .....	391
12. Preparación de disoluciones .....	257	6. Enlace metálico .....	393
<b>TEMA 8. LA REACCIÓN QUÍMICA: ESTEQUIOMETRÍA .....</b>	<b>270</b>	<b>ANEXO: FORMULACIÓN Y NOMECLATURA EN QUÍMICA INORGÁNICA .....</b>	<b>404</b>
1. Importancia del conocimiento y estudio de las transformaciones químicas .....	272	1. Compuestos iónicos .....	406
2. Interpretación (submicroscópica) de una reacción química. La ecuación química .....	275	2. Compuestos covalentes .....	409
3. Cálculos con ecuaciones químicas .....	281	3. Sales iónicas poliatómicas .....	413
4. Factores que condicionan los cálculos estequiométricos .....	288	<b>TEMA 12. LA QUÍMICA DEL CARBONO .....</b>	<b>416</b>
5. Química, industria y medio ambiente .....	292	1. Orígenes de la química del carbono: breve revisión histórica .....	418
<b>TEMA 9. CINÉTICA QUÍMICA .....</b>	<b>306</b>	2. Introducción a la estructura y a los enlaces del carbono .....	420
1. Velocidad de reacción .....	308	3. Compuestos de carbono e hidrógeno: hidrocarburos .....	423
2. Factores que afectan a la velocidad de reacción .....	312	4. Propiedades físicas generales de los hidrocarburos .....	432
3. Un modelo de reacción química. Teoría de las colisiones .....	319	5. Reacciones químicas de los hidrocarburos .....	433
4. Orden de reacción, mecanismo de reacción y molecularidad .....	324	6. Compuestos de carbono con el oxígeno: grupos funcionales .....	439
<b>TEMA 10. LA ESTRUCTURA ATÓMICA Y EL SISTEMA PERIÓDICO .....</b>	<b>334</b>	7. Compuestos de carbono con nitrógeno: aminas, amidas y nitrilos.....	448
1. El átomo es divisible: caracterización de las partículas constituyentes del átomo .....	336	8. Origen natural de los hidrocarburos: el petróleo .....	451
2. En busca de modelos interpretativos de la estructura del átomo: modelos de Thomson y Rutherford .....	338	<b>ANEXO .....</b>	<b>460</b>
3. El concepto de elemento químico y de isótopo .....	342	· Soluciones a los ejercicios finales .....	460
4. Los espectros atómicos y su importancia .....	344	· Unidades .....	478
5. El modelo de Bohr del átomo de hidrógeno .....	347	· Sistema periódico actual .....	479
6. El modelo actual del átomo: orbitales y números cuánticos .....	351		
7. La distribución electrónica en el átomo .....	354		



Blas Cabrera

# INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA Y LA QUÍMICA



La comunidad científica tiene la necesidad de reunirse para comunicar, discutir y establecer interpretaciones consensuadas de sus investigaciones.

A principios del siglo XX, subvencionadas por el químico Ernest Solvay, se realizaron una serie de congresos que reunían a los físicos más eminentes de la época para discutir un determinado tema. En la foto aparecen los físicos que participaron en el congreso celebrado en octubre de 1930. Si observas la foto con atención, puedes apreciar que sólo hay una mujer (Mme. Curie). Esta foto en la actualidad, ¿tendría la misma cantidad de mujeres?; ¿cómo puedes interpretar este hecho?

En este congreso participó el físico español Blas Cabrera, segundo hombre sentado desde la derecha; ¿sabes quién era Blas Cabrera? ¿Cuántos científicos españoles conoces?

Nuestro objetivo en este tema es ayudarte a encontrar una respuesta a la pregunta: ¿cómo trabajan las personas que desarrollan el trabajo científico?

- 1. Algunos aspectos de la ciencia.**
- 2. El trabajo científico.**
- 3. Las magnitudes físicas y sus unidades.**
- 4. Las imprecisiones y los errores experimentales.**
- 5. La comunicación en la ciencia.**

# 1 Algunos aspectos de la ciencia



Fig. 1.1. La imagen del científico aislado y obsesionado presentada en el cine en algunas de sus producciones, es un estereotipo.

Dar una explicación clara y sencilla de la *naturaleza de la ciencia* es una tarea compleja por estar condicionada por los aspectos económicos, políticos y sociales del momento, lo que ha provocado y aún provoca grandes polémicas en la comunidad científica. Nosotros pretendemos ofrecer la visión más aceptada y desvinculada de las imágenes distorsionadas y superficiales que de ella se tienen.

Debido a la concurrencia de tantos factores dividiremos la explicación en distintos apartados.

## ● ¿Cuál es nuestra concepción sobre la actividad científica?

Somos conscientes de que vivimos en una sociedad en la que la ciencia y sus aplicaciones están presentes constantemente en nuestro entorno. Es difícil no escuchar cada día una noticia relacionada con nuevos descubrimientos científicos y sus aplicaciones, sobre las consecuencias de determinados productos sobre los ecosistemas, sobre los grandes avances tecnológicos y su puesta en práctica, etc. Todas estas actividades las desarrollan personas que reciben el calificativo de científicas. Pero, ¿cuál es nuestra idea de las personas que investigan?



Indica algunas características básicas que han de tener las personas para realizar investigaciones científicas.

Debemos evitar valoraciones superficiales que ofrezcan una imagen del científico o científica prototipo como el de una persona que trabaja sola, ajena a la sociedad, encerrada en su laboratorio y centrada únicamente en su trabajo. Al contrario, la actividad científica actual se realiza entre grupos coordinados de personas especializadas en distintas áreas científicas.

Por otra parte, *no debemos valorar las investigaciones científicas sólo por su utilidad inmediata*. La ausencia de aplicaciones prácticas, a corto plazo, de los logros científicos ha hecho desestimar el trabajo de la ciencia, sobre todo en épocas de inestabilidad económica. Todas las investigaciones abren nuevos caminos hacia el futuro, muchas veces no conocidos de antemano y en otras de manera imprevista.



## ¿Utilidad inmediata de la ciencia?

M. Faraday (1791-1867) no sólo se dedicó a la experimentación y a la docencia, sino que también le gustaba divulgar la ciencia al público en general. Cuentan que después de unas demostraciones sobre electromagnetismo una mujer le preguntó para qué servía todo aquello y él respondió: “Señora, ¿para qué sirve un recién nacido?” Una anécdota parecida se cuenta de Franklin. Pero para Faraday existe otra versión. Un parlamentario le preguntó también por la utilidad de sus experimentos, y Faraday le dijo: “Estoy seguro de que sus sucesores cobrarán impuestos por ello”.

Efectivamente, sus trabajos permitieron una revolución tecnológica y la energía eléctrica se hizo abundante y barata. Pero tanto la mujer como el parlamentario mostraban una preocupación frecuente: la utilidad inmediata de la experimentación científica. Nunca se sabe a dónde nos llevará un descubrimiento. En el caso de Faraday tanto la inducción electromagnética como la noción de campo han llevado más lejos de lo que nadie podía imaginar en aquel tiempo.



Fig. 1.2. Grandes grupos de científicos han estudiado la acción de ciertas sustancias que contienen oxígeno superactivo y la han incorporado al detergente "COTE".



Fig. 1.3. Representación de una posible situación en un supermercado.



Analiza las viñetas e indica:

a) ¿Qué imagen de la ciencia se usa en el anuncio del detergente para prestigiar el producto?; b) ¿cuál es ahora la imagen de la ciencia que tienen los clientes del supermercado?

Otro aspecto a considerar es que la actividad científica se realiza en un *determinado ámbito temporal y social*, de modo que la visión cultural de la realidad por parte de la sociedad también determina por diferentes motivos el avance de la ciencia (**interacción ciencia-sociedad-técnica**).



Hasta finales del s. XIX no existen mujeres relevantes en el desarrollo de la ciencia. Opina por qué crees que ha ocurrido esta situación. ¿Se repite este hecho en el s. XX y en el presente? Señala algunos nombres de científicas premios Nobel en diferentes campos de las ciencias.

Para evaluar el papel de las **mujeres** en el desarrollo de la ciencia debemos tener en cuenta la sociedad y la cultura de la que procedemos. En unas épocas se han impuesto unos roles injustos en los que se han diferenciado las labores de los hombres y de las mujeres que compartían un contexto social e histórico. Pero a pesar de las dificultades sociales y económicas algunas mujeres han conseguido grandes logros científicos.



Investiga sobre la vida, y responde las preguntas planteadas, y sobre la actividad de estas tres importantes científicas, cuya labor fue recompensada con el premio Nobel (máximo galardón científico mundial).

**Irène Curie**  
(1897 - 1956)



Fig. 1.4.

- ¿De quién era hija Irène?
- ¿Por qué eran importantes sus padres?
- ¿Qué estudios realizó?
- ¿Qué era el Instituto del Radium?
- ¿Con quién se casó?
- ¿Por qué obtuvo el Premio Nobel de Química? ¿Con quién comparte este Premio Nobel?
- Año y motivo de su muerte.

**Marie Goeppert-Mayer**  
(1906 - 1972)



Fig. 1.5.

- Año y lugar de nacimiento.
- Estudios terminados y lugar donde los realizó.
- ¿Por qué no tuvo un trabajo remunerado en la Universidad hasta 1960?
- ¿Por qué motivo obtuvo el Premio Nobel de Física?
- ¿Con quién compartió este descubrimiento?
- Año y motivo de su muerte.

**Rosalyn Sussman**  
(1921 - 1976)



Fig. 1.6.

- Año y lugar de nacimiento.
- Estudios terminados y lugar donde los realizó.
- ¿Cuáles fueron sus principales descubrimientos?
- ¿Por qué motivo obtuvo el Premio Nobel de Medicina?
- Año y motivo de su muerte.



Para la investigación puedes consultar las siguientes páginas web de internet:

<http://usuarios.lycos.es/mujeresenlaciencia/index.html>

<http://www.cientec.or.cr/equidad.html>

[http://www.quimicaweb.net/mujeres\\_fyq/index.htm](http://www.quimicaweb.net/mujeres_fyq/index.htm)



*Irène Curie era una persona preocupada por el progreso social y concienciada de la problemática de la mujer en su época. Irène afirmaba: "La mujer debe reclamar que el trabajo femenino se desarrolle libremente en todas las profesiones". Sin embargo, la propia Irène, al igual que su madre Marie Curie, no fueron aceptadas por la Académie des Sciences de París a pesar de su incuestionable labor científica.*

*¿Cuáles crees que fueron los posibles motivos para impedir que por primera vez una mujer accediera a la Académie des Sciences? ¿Crees que el trabajo de la mujer en la ciencia ha sido ejercido libremente?*

Una vez puesta de manifiesto y reformulada la concepción que sobre la ciencia y las personas que trabajan en ella se tiene habitualmente, intentaremos explicar dos aspectos básicos relacionados con la actividad científica: sus objetivos y procedimientos.

## ● El objetivo de la actividad científica

El ser humano se ha planteado conocer las causas y los mecanismos de los cambios del mundo que le rodea. Ahora bien, según la época, las preguntas han evolucionado desde las más generales e inmediatas a las más complejas y sutiles, en función de determinados intereses.

Para comprender y explicar los fenómenos naturales que integran nuestro universo, las personas que desarrollan actividades científicas proponen explicaciones que reciben el nombre de teorías científicas.

**Las teorías científicas** utilizan modelos explicativos que permiten comprender una serie de hechos conocidos y predecir otros nuevos. Un **modelo** presenta una visión esquemática y simplificada de los fenómenos con la intención de comprenderlos a través de analogías e imágenes mentales. Todo modelo tiene las limitaciones propias de la mente humana. Por ejemplo, el modelo del átomo es la representación mental que tenemos para justificar las propiedades de la materia, pero no garantiza que sea tal y como lo imaginamos. En este sentido, es fundamental diferenciar el modelo de la realidad compleja que intenta representar.



### Las teorías, los mapas del conocimiento científico

El conocimiento científico no es sólo la suma de todas las observaciones, experimentos, hipótesis, etc., que la comunidad científica acumula. Aunque un conglomerado semejante es contrastable y reproducible, sería incomprensible sin unos principios adecuados que relacionasen e interpretasen los contenidos; estos principios son las **teorías científicas**.

Con el objetivo de comprender la importancia de las teorías en el conocimiento, podemos establecer una analogía entre una teoría y un mapa. El **mapa** representa la información topográfica de una extensión de terreno, información incompleta y siempre sujeta a cambios. De la misma manera, una **teoría** es un intento de cuadrar la evidencia experimental, incompleta e imperfecta. Los mapas pueden realizarse a diversas escalas, que abarquen regiones mayores o menores, centrándose en más o en menos detalles locales. Las teorías científicas representan nuestro conocimiento en diversos niveles de generalidad: amplia como la teoría corpuscular o minuciosa como la teoría cuántica. De un mapa se puede extraer más información de la que se necesitó para hacerlo. También, una teoría es una fuente ilimitada de predicciones fiables.

## ● El proceso evolutivo de la ciencia

Todas las teorías aceptadas por la comunidad científica en cada época lo son por *su utilidad en las explicaciones y predicciones* que ofrecen para entender una realidad compleja. Además, están sometidas a un constante proceso de revisión, y sólo se sustituyen por otras teorías cuando las nuevas proporcionen más y mejores explicaciones.

Por ello, más que un proceso de crecimiento lineal de los conocimientos científicos debemos hablar de un **proceso evolutivo** con replanteamientos, destacando las épocas de cambio y establecimiento de nuevas concepciones científicas (llamados cambios de paradigmas científicos).

El objetivo inicial de la ciencia es elaborar teorías consensuadas que expliquen de forma racional el comportamiento de la naturaleza de la que formamos parte.



Fig. 1.7. Representación simbólica de los factores que influyen en la actividad científica.

## ● Los procedimientos de la actividad científica

La ciencia recurre a un conjunto de *procedimientos de investigación* muy diversos para intentar resolver los problemas por medio de explicaciones y soluciones lo más coherentes posibles.

Sin embargo, aunque las estrategias utilizadas en las investigaciones son distintas, todas poseen características comunes que llevan a poder afirmar que, en general, existe una **metodología científica**, como veremos en el apartado siguiente.

## ● La finalidad de las investigaciones

El proceso que lleva a establecer los problemas a investigar es muy complejo, puesto que sobre él inciden tanto aspectos socioeconómicos como culturales. Y por otra parte, no debemos olvidar que las investigaciones se plantean desde situaciones ideales, en las que establecemos un número concreto de variables. En consecuencia, debemos *establecer los límites de toda investigación* y evaluar sus conclusiones en función a su campo de validez.

Las investigaciones muchas veces responden a intereses muy concretos de las grandes empresas globalizadas o de potentes grupos internacionales, puesto que están condicionadas por la necesidad de obtener recursos económicos que permitan desarrollarlas. Por ello, los organismos nacionales e internacionales deben fomentar investigaciones que busquen soluciones coordinadas a problemas generales que afectan a todos los seres vivos que compartimos, y compartirán, nuestro planeta; por ejemplo, los problemas ambientales que actualmente se plantean desde distintas asociaciones y foros internacionales.

Debemos tener en cuenta que la ciencia realiza una interpretación cultural de la realidad y por tanto influida por múltiples intereses. Y precisamente, *este entorno social, político y cultural condiciona la actividad científica*.



Con el objetivo de que valores las posibles repercusiones de la actividad científica analiza la reflexión del insigne científico español Miguel Catalán: “Muchas personas hacen responsables a los físicos atómicos de las terribles catástrofes que la energía nuclear puede producir. Esta acusación es sin embargo injusta. En el fondo esa responsabilidad es igual que la responsabilidad que derive del uso de cualquier otro medio que la naturaleza ponga en nuestras manos. ¿No es verdad que el hombre emplea la palabra tanto para la verdad como para la mentira? En ese diferente empleo estriba la responsabilidad. La energía nuclear pueden usarla los hombres para su beneficio o para su perdición”.

¿La ciencia es buena o mala? ¿Cuál crees que es nuestra obligación como ciudadanos?

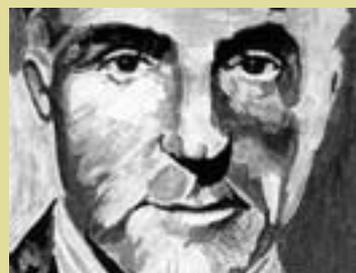


Fig. 1.8. Miguel Catalán fue uno de los científicos españoles más importante de principios de siglo XX. Pero, ¿por qué fue importante Miguel Catalán? ¿Cuántos científicos reconocidos españoles eres capaz de citar?

## 2 El trabajo científico

Las personas generan conocimientos científicos aunque no apliquen conscientemente un método riguroso. Este proceso de elaboración implica tres actividades básicas:

- El planteamiento del problema a resolver.
- La búsqueda de soluciones según los conocimientos previos (emisión de hipótesis).
- La comprobación y análisis de las soluciones propuestas.

Seguidamente explicaremos algunas características básicas de todo proceso de investigación.

### ● El planteamiento del problema

Todo proceso de investigación se inicia y tiene como finalidad resolver algún problema. Los problemas son interrogantes abiertos cuya solución requiere el poder delimitarlos y concretarlos adecuadamente. En palabras de Irène Curie, 1897 - 1956, (hija de la primera persona que ha recibido dos premios Nobel en Ciencias, Marie Skłodowska Curie): “Las preguntas son llaves para abrir nuevos campos, desde los que se dibujan el interés y esfuerzo de cada quien”.

### ¿Cómo surgen los problemas científicos?

El reconocimiento y la identificación de los problemas a investigar dependen de los conocimientos de las personas que los van a analizar. Por otra parte, el factor sociopolítico en el que vive el investigador y las teorías vigentes determinan el desarrollo de las diferentes líneas de investigación.

### ● La búsqueda de posibles soluciones. Emisión de hipótesis

Una de las fases más creativas del proceso de investigación es la búsqueda de posibles soluciones al problema planteado. Esta tarea comienza con un **trabajo bibliográfico** de recopilación y análisis de información sobre el problema a investigar, que nos ayuda a averiguar aspectos conocidos sobre el mismo y a formular hipótesis.

Las **hipótesis** son **suposiciones explicativas** de un determinado problema, que deben poder comprobarse.

Las **condiciones exigidas** para la formulación de las hipótesis son:

- Deben poseer una cierta **lógica interna** (sin aparentes contradicciones) y explicar el problema para el que fueron planteadas.
- Deben poder verificarse (**contrastarse**).

Para evaluar las hipótesis formuladas los científicos diseñan y realizan experimentos coherentes con las mismas.

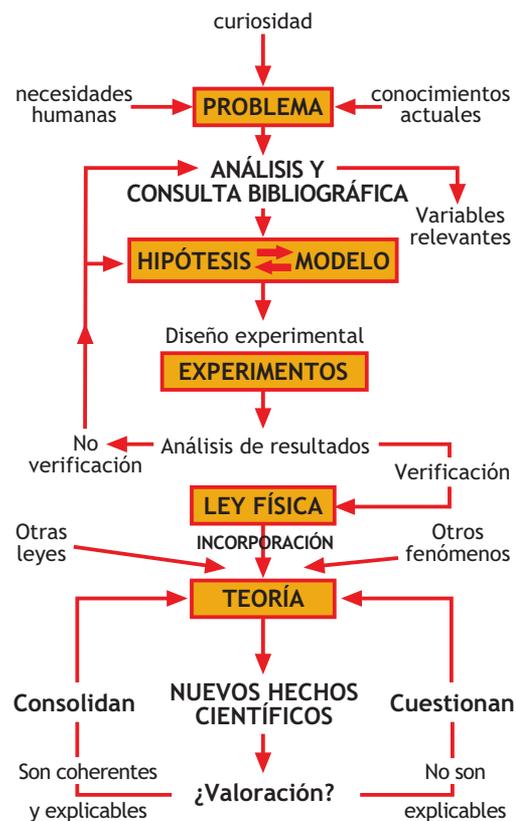


Fig. 2.1. Esquema orientativo del proceso general de una investigación científica.



¿Piensas que un proceso de investigación se inicia a partir de pacientes y cuidadoras observaciones, sin considerar los aspectos personales o subjetivos?

## ¿Qué entendemos por experimentos?

Un **experimento científico** es una observación cuantitativa (se obtienen datos), realizada en **condiciones preestablecidas y controladas** con el objetivo de comprobar las hipótesis, y que debe poder repetirlo cualquier otra persona en las mismas condiciones (**reproducible**).

Prácticamente nunca se produce un descubrimiento científico de repente o por casualidad. Los experimentos destinados a descubrir y establecer nuevas leyes han sido siempre diseñados con sumo cuidado para comprobar las ideas de quienes los realizan.

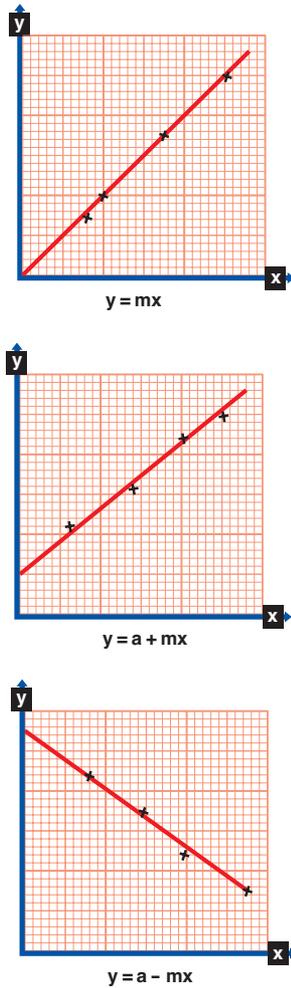
Para hacer un experimento hay que identificar las variables (magnitudes o factores) que influyen en el fenómeno a estudiar (**variables relevantes**).

Los experimentos generalmente se realizan mediante el método denominado **control de variables**. Este método consiste en la modificación de una variable (variable **independiente**), comprobando su influencia en otra (variable **dependiente**), mientras las restantes variables permanecen constantes (variables de **control**).

## Tratamiento gráfico de los resultados

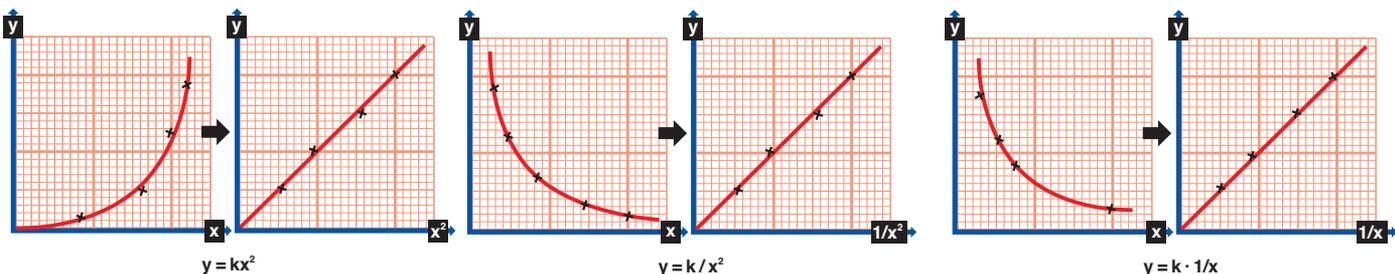
La mejor forma de comprobar la relación que hay entre las variables analizadas en un experimento es una **representación gráfica**. La variable independiente se representa en el eje Y y la dependiente en el eje X generalmente; si la gráfica es una recta, la relación matemática buscada (**ley física**) es inmediata, como se muestra en la figura 2.2

Si la línea no es una recta, realizando los cambios de variable adecuados, se puede conseguir que la gráfica final sea una recta. La figura 2.3 muestra tres ejemplos muy frecuentes de **linealización**.



**Fig. 2.2.** Tres posibles tipos de gráficas lineales. La ecuación general es:  $y = a + m \cdot x$  siendo "a" la ordenada en el origen (valor de y cuando  $x = 0$ ) y "m" la pendiente, que se determina a partir de la ecuación:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; x_2 > x_1$$



**Fig. 2.3.** Linealización de tres gráficas frecuentes.

# 3 Las magnitudes físicas y sus unidades

En todo experimento se precisa medir magnitudes físicas (propiedades cuantificables) mediante el uso de aparatos apropiados.

Una **medida** se expresa con un número y su unidad correspondiente. Así por ejemplo, si decimos que la masa (magnitud física) de un objeto es de 300 g,  $m = 300 \text{ g}$ , indicamos que en la medida de la masa de ese objeto hemos tomado de referencia la unidad gramo y que su masa es 300 veces mayor que la masa que corresponde a un gramo.

## ● Sistema de unidades internacional (SI)

Ahora bien, desde tiempos remotos ha sido necesario **establecer unidades** para medir, intercambiar o vender los productos; cada lugar usaba sus propias unidades que, con el transcurso del tiempo, se fueron extendiendo a zonas cada vez mayores. Consecuencia de ello fue la proliferación de unidades relacionadas con la misma magnitud. Por ejemplo, la longitud en Cataluña se medía en palmos, cuartos y cañas; mientras en Castilla lo hacían en varas, pies, pulgadas...; asimismo una misma denominación implicaba un valor distinto según el país o la región.



*¿Crees que es conveniente adoptar un sistema de unidades internacional? ¿Por qué? ¿Qué condiciones debe reunir este sistema?*

La necesidad de unificar el sistema de unidades utilizado en las medidas de magnitudes dio lugar a que el 20 de mayo de 1875 los representantes de 17 Estados firmaran una Convención y fundaran el Bureau Internacional de Pesas y Medidas con el objetivo de establecer un *sistema de unidades* perfectamente definido y común para todos los Estados (en la actualidad son 41 los países que pertenecen a la Convención). Fruto de la labor de la misma fue la elaboración en 1960 del **Sistema Internacional de Unidades**, cuya abreviatura es **SI**.

Este sistema es el oficial en el Estado español (Real Decreto 1317/1987).

El SI es ampliamente aceptado por la comunidad científica internacional como un sistema unificado de unidades físicas, y se basa en siete magnitudes, y sus unidades correspondientes, tomadas como **fundamentales**.

Llamamos **magnitud física** a todas las características de un sistema que podamos medir, para así conocerlas de forma cuantitativa.

**Medir** una magnitud es **compararla** con un valor concreto de esa misma magnitud tomado como referencia. Al valor concreto de la magnitud de referencia se le denomina **unidad**.



**Fig. 3.1.** El kilogramo patrón. Masa prototipo de platino e iridio.

Magnitud	Unidad	Definición	Símbolo
Longitud	metro	El metro es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo $1/299\,792\,458$ de segundo.	m
Masa	kilogramo	Un kilogramo es la masa del prototipo de platino e iridio que se conserva en la oficina de Pesos y Medidas de París.	kg
Tiempo	segundo	El segundo es la duración de $9\,192\,631\,770$ periodos de radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio $-133$ .	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	El amperio es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de 1 metro uno de otro, en el vacío, produciría entre estos dos conductores una fuerza de $2 \cdot 10^{-7}$ N por metro de longitud.	A
Temperatura	kelvin	El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.	K
Cantidad de sustancia	mol	El mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en $0,012$ kg de carbono $-12$ .	mol
Intensidad luminosa	candela	La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ hercios y de intensidad energética en dicha dirección de $1/163$ vatios por estereorradián.	cd

Símbolo	Nombre	Valor
E	exa	$10^{18}$
P	peta	$10^{15}$
T	tera	$10^{12}$
G	giga	$10^9$
M	mega	$10^6$
k	kilo	$10^3$
↓	↓	↓
c	centi	$10^{-2}$
m	mili	$10^{-3}$
μ	micro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$
p	pico	$10^{-12}$
f	femto	$10^{-15}$
a	atto	$10^{-18}$
<b>Aceptados pero no recomendados</b>		
h	hecto	$10^2$
da	deca	$10^1$
d	deci	$10^{-1}$

Fig. 3.2. Múltiplos y submúltiplos recomendados por el SI.

Las siete magnitudes fundamentales anteriores se complementan con las dos siguientes unidades **suplementarias**: ángulo plano con su unidad el radián, y el ángulo sólido y su unidad el estereorradián.

Unidades SI básicas o fundamentales		
MAGNITUD	NOMBRE	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

## Múltiplos y submúltiplos

Si las cantidades medidas son muy pequeñas en comparación con la unidad del SI, deberemos usar **submúltiplos** o potencias de diez con exponente negativo como factor de conversión. Si por el contrario las cantidades medidas son muy grandes en comparación a la unidad del SI, usaremos **múltiplos** o potencias de diez con exponente positivo como factor. En la tabla de la figura 3.2 se muestran los prefijos relativos a los múltiplos y submúltiplos recomendados por el SI, así como los factores de conversión.

## Magnitudes derivadas

A partir de las siete unidades fundamentales del SI y usando relaciones sencillas entre las magnitudes físicas podemos definir el resto de unidades. Algunas de estas unidades se nombran a partir de las unidades fundamentales ( $m^2$ ,  $m^3$ ,  $m/s...$ ), mientras que otras unidades tienen nombres propios, como por ejemplo los de la tabla adjunta.

Magnitud derivada	Unidad	Definición y relación usada	Símbolo
Fuerza	newton	Un newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo que tiene una masa de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado. $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$	N
Trabajo - Energía	julio	Un julio es el trabajo efectuado (o la energía transferida) por una fuerza de 1 N, cuyo punto de aplicación se desplaza un metro en la dirección de la fuerza. $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$	J
Potencia	vatio	Un vatio es la potencia que desarrolla un julio de energía por segundo. $1 \text{ W} = 1 \text{ J/1 s}$	W
Presión	pascal	Un pascal es la presión uniforme que, actuando sobre una superficie de $1 \text{ m}^2$ , ejerce una fuerza perpendicular sobre ella de 1 N. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/1 m}^2$	Pa

## Conversión de unidades

Si la magnitud física se expresa en unidades diferentes a las del SI, deberemos efectuar la conversión de unidades teniendo en cuenta la equivalencia entre ellas. En la siguiente tabla se exponen las equivalencias entre las unidades más frecuentes y la unidad del SI correspondiente.



Una avestruz alcanza una rapidez de 55 km/h, un leopardo de 1200 m/min y un león de 17 m/s. ¿Cuál de los animales mencionados es más rápido?

Magnitud	Longitud	Tiempo	Masa	Volumen	Fuerza	Energía	Potencia
Unidad SI	m	s	kg	$m^3$	N	J	W
Equivalencia con otras unidades	1 cm = $10^{-2}$ m 1 mm = $10^{-3}$ m 1 km = $10^3$ m	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86400 s	1 t = $10^3$ kg 1 g = $10^{-3}$ kg	1 L = 1 $dm^3$ 1 $dm^3 = 10^{-3} m^3$ 1 $cm^3 = 10^{-6} m^3$	1 kgf = 9,8 N	1 cal = 4,184 J 1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ J	1 CV = 735,5 W 1 HP = 745,8 W

### EJEMPLO

1

Realiza la conversión de las siguientes cantidades expresadas en unidades arbitrarias a unidades del SI.

Cantidad (unidad arbitraria)	Conversión de unidades al SI	Cantidad (SI)
$230 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$230 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \cdot \frac{10^3 \cancel{\text{m}}}{1 \cancel{\text{km}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} = \frac{230 \cdot 10^3}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$63,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$2,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$2,3 \frac{\cancel{\text{kgf}}}{\cancel{\text{cm}^2}} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \cancel{\text{kgf}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{cm}^2}}{10^{-4} \text{ m}^2} = \frac{2,3 \cdot 9,8}{10^{-4}} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	$2,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
$6 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$	$6 \frac{\cancel{\text{cal}}}{\cancel{\text{m}^2} \cdot \cancel{\text{h}}} \cdot \frac{4,184 \text{ J}}{1 \cancel{\text{cal}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} = \frac{6 \cdot 4,184}{3600} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s}}$	$6,97 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s}}$



Puedes ampliar información sobre las magnitudes, sus unidades y su medida en la página web:

<http://newton.cnice.mecd.es/1bach/medida/index.htm>

## ● Introducción al cálculo dimensional

Como ya sabes, el sistema de magnitudes físicas se divide en dos grupos: un conjunto de magnitudes físicas **fundamentales** y otro de magnitudes **derivadas** de las anteriores; a cada magnitud fundamental se le asigna una dimensión indicada entre corchetes. Así por ejemplo, en el SI a las magnitudes básicas en Mecánica, que para este curso son suficiente cuatro, se les asigna las dimensiones representadas por las letras mayúsculas siguientes: longitud [L], masa [M], tiempo [T] e intensidad de corriente [I].

Todas las magnitudes derivadas se expresan en función de las dimensiones de las fundamentales, mediante la denominada *fórmula dimensional*. Esta fórmula es una expresión del tipo

$$[\text{magnitud}] = L^a M^b T^c I^d$$

donde a, b, c y d son números racionales (enteros o fraccionarios, positivos o negativos) que indican la dependencia de la magnitud derivada con la fundamental.

Para conocer la fórmula dimensional de una magnitud derivada debemos *expresarla* en función de las magnitudes fundamentales de las que depende, pero teniendo en cuenta que los números carecen de dimensión. La tabla de la figura muestra las fórmulas dimensionales de algunas magnitudes derivadas.

Magnitud derivada	Rapidez	Aceleración	Fuerza	Trabajo	Carga eléctrica
Relación con la fundamental	$[v] = \frac{[\Delta x]}{[\Delta t]} = \frac{L}{T}$	$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{LT^{-1}}{T}$	$[F] = [m] \cdot [a] = MLT^{-2}$	$[W] = [F][\Delta x] = MLT^{-2} \cdot L$	$[\Delta Q] = [I] \cdot [\Delta t] = I \cdot T$
Fórmula dimensional	$LT^{-1}$	$LT^{-2}$	$MLT^{-2}$	$ML^2T^{-2}$	$IT$

## ● ¿Por qué es útil el cálculo dimensional?



9 Establece las fórmulas dimensionales de la densidad, la potencia, la cantidad de movimiento y la presión.



10 Verifica la corrección dimensional de las siguientes fórmulas:

- a)  $a = \frac{v^2}{r}$  ; b)  $x = vt + \frac{1}{2} at^2$   
 c)  $v = 2ax$ ; d)  $Ft = p$ .

El cálculo dimensional es una *herramienta* de la física que permite comprobar la corrección de una ecuación física. Toda ecuación física tiene que ser *homogénea*, es decir debe tener las mismas dimensiones en los dos miembros de la ecuación. Así por ejemplo, la ecuación  $F = mv$  es inadmisiblemente física, puesto que dimensionalmente es incorrecta:  $[F] \neq [mv] \rightarrow MLT^{-2} \neq MLT^{-1}$ .

En cambio, la ecuación  $v = v_0 + at$ , sí es correcta porque el producto  $a \cdot t$  tiene dimensiones de velocidad:  $LT^{-2} T = LT^{-1} = [v]$ .

La homogeneidad dimensional es una condición necesaria que debe verificar toda fórmula física; pero no es suficiente para garantizar la validez de la misma, ya que debe verificarse experimentalmente.

La homogeneidad de las ecuaciones físicas permite deducir el tipo de relaciones posibles entre las distintas magnitudes físicas, aunque no es posible determinar los valores numéricos existentes en estas relaciones.

A fin de explicar el mecanismo de deducción de posibles ecuaciones físicas usando el cálculo dimensional, realizamos un ejemplo demostrativo, cuyo análisis permite establecer el procedimiento a seguir.

## EJEMPLO 2

Un grupo de alumnos quiere estudiar los factores que influyen en el periodo de oscilación (tiempo que tarda en realizar una oscilación completa,  $T$ ) de un péndulo simple. Los alumnos suponen que el periodo depende de la longitud del hilo ( $\ell$ ), de la masa del cuerpo que oscila ( $m$ ) y del valor de la gravedad ( $g$ ). Utiliza el cálculo dimensional para estimar si las variables mencionadas son correctas, y establece el tipo de relación de las mismas con el periodo.

**Solución:** En principio podemos suponer que el tipo de relación general entre las variables indicadas y el periodo es de la forma:  $T = \text{constante} \cdot \ell^a \cdot m^b \cdot g^c$ , siendo  $a$ ,  $b$  y  $c$  los exponentes numéricos que nos indican la relación existente entre las variables. Nuestro objetivo, es usar el cálculo dimensional para determinar los valores de los exponentes. Por ello, realizaremos los siguientes pasos:

1. Obtener la fórmula dimensional de las magnitudes implicadas:

$$[T] = T; [\ell] = L; [m] = M; [g] = [\text{aceleración}] = LT^{-2}$$

2. Establecer la condición de homogeneidad dimensional de la ecuación supuesta:

$$[T] = [\text{constante} \cdot \ell^a m^b g^c] \rightarrow T = L^a M^b (LT^{-2})^c \rightarrow T = L^{a+c} M^b T^{-2c}$$

3. Desarrollar la condición de homogeneidad dimensional:

Ya que toda ecuación física debe ser dimensionalmente homogénea, la ecuación  $T = L^{a+c} M^b T^{-2c}$  debe verificar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$0 = a + c; 0 = b; 1 = -2c$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones podemos establecer el valor de los exponentes:

$$c = -1/2; a = 1/2; b = 0$$

Estos resultados significan que el periodo del péndulo es independiente de la masa del cuerpo que oscila (puesto que  $b = 0$ ), y depende de la longitud y del valor de la gravedad. Por lo tanto, podemos establecer la relación:

$$T = \text{constante} \cdot \ell^{1/2} m^0 g^{-1/2} \rightarrow T = \text{constante} \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

El cálculo realizado permite establecer que la relación anterior es correcta dimensionalmente, pero sin embargo no podemos calcular el valor de la constante ni saber si es válida, puesto que es posible no haber considerado alguna variable relevante. Por ello, la relación anterior debe comprobarse experimentalmente.



La frecuencia de vibración ( $f$ ) de una masa colgada de un muelle tiene de dimensión  $T^{-1}$ . Experimentalmente se ha comprobado que la frecuencia de vibración depende de la masa del cuerpo colgado  $m$ , ( $[m] = M$ ) y de la constante de rigidez del muelle  $k$ , ( $[k] = MT^{-2}$ ). Establece, usando el cálculo dimensional, la relación existente entre estas variables.

# 4 Las imprecisiones y los errores experimentales

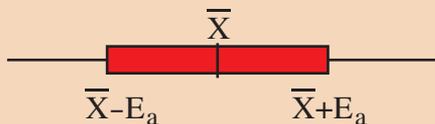
## MEDIDAS DIRECTAS E INDIRECTAS

**Medidas directas:** Son aquellas medidas que se obtienen al comparar directamente la magnitud con el instrumento adecuado de medida.

La medida de la distancia recorrida ( $\Delta s$ ) es una medida directa al obtenerla determinando la distancia entre dos puntos, siguiendo la trayectoria del móvil, directamente con un metro.

**Medidas indirectas:** Son aquellas que se obtienen aplicando una fórmula de cálculo a partir de valores que previamente se han medido.

La rapidez ( $v$ ) de un móvil es un ejemplo de medida indirecta, ya que se obtiene a partir de las medidas directas,  $\Delta s$  e  $\Delta t$ , y la aplicación de una relación entre ellas:  $v = \Delta s / \Delta t$ .



Aunque el verdadero valor de la magnitud medida es desconocido, su valor estará comprendido entre  $\bar{X} - E_a$  y  $\bar{X} + E_a$ .

La imprecisión absoluta debe expresarse con una sola cifra significativa.

En la realización de los experimentos debemos tener presente los posibles motivos por los que la medida se aleja o no coincide con el “valor real” o “valor esperado”.

El primer motivo es la **imprecisión** del propio aparato de medida. Así por ejemplo si medimos la longitud de un bolígrafo con una regla milimetrada y obtenemos  $L = 135 \text{ mm}$ , como la regla aprecia como máximo  $1 \text{ mm}$ , se dice que la **imprecisión absoluta** de la medida es  $\pm 1 \text{ mm}$ , y el valor de la medida se expresa:

$$L = 135 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$$

puesto que dicha regla no puede medir cantidades inferiores a  $1 \text{ mm}$ .

El segundo motivo de imprecisiones en la medida se debe al uso inadecuado de aparatos de medidas o a la utilización de técnicas incorrectas (**errores experimentales**).

## ● ¿Cómo expresar el resultado de una serie de medidas?

Una sola medida será insuficiente para estar seguros de la validez de la misma; por lo tanto deberemos repetir el proceso de medida obteniendo un conjunto de valores (el número de medidas necesarias dependerá de la dispersión en el valor de los resultados). Si admitimos el carácter aleatorio de los posibles errores accidentales, cada una de las medidas realizadas dará lugar a resultados que serán afectados unas veces de un error por exceso y otras de un error por defecto, y por tal motivo el valor representativo del conjunto de medidas será la **media aritmética** de los mismos:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X_i}{n}$$

A la determinación del valor representativo le debe de seguir el cálculo de la imprecisión absoluta ( $E_a$ ) que corresponde a la medida, con el objetivo de determinar su fiabilidad.

Consideraremos como **imprecisión absoluta** del valor representativo al mayor entre la sensibilidad del aparato de medida y la media aritmética de los valores absolutos de las diferencias de los resultados individuales respecto al valor representativo (imprecisión media).

La **imprecisión media** se calcula aplicando la expresión:

$$\Delta \bar{X} = \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \dots + |X_n - \bar{X}|}{n}$$

Debemos tomar los valores absolutos de las diferencias, puesto que los errores no se compensan sino que se acumulan.

El resultado final de una medida se indica con su imprecisión absoluta de la forma:

$$X = \bar{X} \pm E_a$$

### EJEMPLO 3

Supongamos que se mide lo que dura una oscilación de un péndulo formado por una esferilla atada a un hilo de longitud aproximada 1 m.

Cuatro alumnos han obtenido estos resultados:

$$t_1 = 1,85 \text{ s} \quad t_2 = 1,92 \text{ s} \quad t_3 = 1,90 \text{ s} \quad t_4 = 2,08 \text{ s}$$

que correctamente expresados serían:

$$t_1 = (1,85 \pm 0,01) \text{ s} \quad t_2 = (1,92 \pm 0,01) \text{ s} \quad t_3 = (1,90 \pm 0,01) \text{ s} \quad t_4 = (2,08 \pm 0,01) \text{ s}$$

¿Qué podríamos decir de las medidas? Es muy probable que la cuarta sea errónea (el mediador ha estado "lento"); por ello, la eliminaremos para los cálculos posteriores.

Para obtener el resultado, hallaremos el *valor medio* o *valor representativo*:

$$\bar{t} = (t_1 + t_2 + t_3) / 3 = 1,89 \text{ s}$$

Finalmente, calcularemos la imprecisión media:

$$\Delta\bar{t} = \frac{|\Delta\bar{t}_1| + |\Delta\bar{t}_2| + |\Delta\bar{t}_3|}{3} = \frac{|-0,04| + |0,03| + |0,01|}{3} = 0,03 \text{ s} \quad (\text{redondeando para ser coherente con la sensibilidad del aparato})$$

Puesto que la media de las desviaciones individuales es mayor que la sensibilidad del aparato de medida (0,01 s), el resultado es:

$$t = \bar{t} \pm \Delta\bar{t} = (1,89 \pm 0,03) \text{ s}$$

## Imprecisión relativa

La simple consideración de la imprecisión absoluta de un determinado resultado no es un buen índice de la calidad de la medida realizada. Es evidente que no es lo mismo cometer un error de un milímetro en la medida de un kilómetro que en la medida de un centímetro.

Con el objetivo de valorar la calidad de la medida realizada, se define la **imprecisión relativa** ( $E_r$ ) como la relación (cociente) entre la imprecisión absoluta ( $E_a$ ) y el valor representativo de la medida ( $X$ ) expresado en tanto por ciento:

$$E_r (\%) = \frac{E_a}{X} \cdot 100$$

Cuanto menor es la imprecisión relativa mayor es la calidad de la medida.



1

Mide el volumen de agua que contienen probetas de diferente capacidad máxima (500 mL, 250 mL, 100 mL y 10 mL) que te proporcionará tu profesor o profesora.

Expresa las correspondientes medidas con su imprecisión absoluta e indica cuál de ellas es la más precisa.

### ERRORES EN MEDIDAS INDIRECTAS

El procedimiento más sencillo para calcular los errores en medidas indirectas consiste en aplicar las siguientes reglas:

- El error absoluto de una suma o diferencia es igual a la suma de los errores absolutos:

$$\Delta(A \pm B) = \Delta A + \Delta B$$

- El error relativo de un producto o cociente es igual a la suma de los errores relativos:

$$\frac{\Delta(A/B)}{(A/B)} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$$

- Los números enteros y fraccionarios de resultado exacto carecen de error.

# 5 La comunicación en la ciencia

El avance tan espectacular de la ciencia durante los últimos siglos ha sido posible por el intercambio y compartición de información, lejos de las épocas en que los conocimientos eran ocultados y restringidos. Las personas que investigan son conscientes de la importancia de la información en el desarrollo de sus investigaciones, puesto que les permite conocer aspectos relacionados con las mismas, valorar nuevos aspectos útiles y verificar sus descubrimientos, para lo cual realizan congresos, reuniones, publican sus trabajos en revistas especializadas e incluso utilizan los últimos adelantos tecnológicos (videoconferencia, internet, etc.).

## ● ¿Cómo realizar un informe científico?

El **informe científico** es un documento en el que se exponen, contrastan y discuten los resultados de una investigación para su valoración y verificación, que como hemos comentado anteriormente es fundamental en el trabajo científico.

Todo informe debe responder a las siguientes preguntas: ¿Por qué se realizó la investigación? ¿Cómo se efectuó? ¿Qué resultados se han obtenido? ¿Cuál es el significado de los resultados? ¿Qué conclusiones podemos establecer?

Las respuestas a cada una de estas cuestiones deben ser la estructura del informe que, para su mejor lectura, se divide en distintos apartados.

APARTADOS DE UN POSIBLE INFORME CIENTÍFICO		
Apartado	OBJETIVO	ELEMENTOS
<b>Introducción. Planteamiento del problema.</b>	Responder a la pregunta ¿Por qué se realizó la investigación?, indicando el origen del problema y su relación con los conocimientos existentes. Debemos detectar y analizar las variables relevantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación del origen del problema y su definición.</li> <li>• Relación del problema con nuestros conocimientos.</li> <li>• Análisis de las variables relevantes del problema.</li> <li>• Exposición de las simplificaciones necesarias para abordar el problema.</li> </ul>
<b>Emisión de hipótesis</b>	Explicar nuestras posibles soluciones al problema planteado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de hipótesis, indicando la relación prevista entre las variables relevantes (estudio cualitativo).</li> </ul>
<b>Diseño experimental</b>	Explicar cómo se comprobaron las hipótesis formuladas, proporcionando información suficiente para que se pueda comprender y valorar el procedimiento empleado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicar el material empleado.</li> <li>• Explicar el procedimiento utilizado, las precauciones tomadas y las limitaciones del mismo.</li> </ul>
<b>Resultados</b>	Exponer los resultados obtenidos en los experimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentar los datos experimentales realizando tablas con un encabezado explicativo.</li> <li>• Diferenciar las distintas tablas de resultados en función de la hipótesis.</li> <li>• Indicar limitaciones (imprecisiones) de los resultados.</li> <li>• Realizar gráficas de los resultados.</li> </ul>
<b>Análisis de los resultados y conclusiones</b>	Explicar el significado de los resultados comprobando las hipótesis formuladas y planteando nuevos problemas a investigar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar los resultados obtenidos.</li> <li>• Comprobar las hipótesis.</li> <li>• Establecer leyes empíricas.</li> <li>• Estimar el campo de validez de nuestras conclusiones.</li> <li>• Plantear nuevos problemas surgidos de la investigación realizada.</li> </ul>



## Un ejemplo del método de control de variables: El periodo del péndulo simple



**Fig. 6.1.** El péndulo físico. Las primeras investigaciones sobre sus características físicas se atribuyen a Galileo.

**Fig. 6.2.** Cuadro de los posibles experimentos a realizar para estudiar el periodo de un péndulo.

- **Objetivo del experimento:** Un péndulo simple consiste en un cuerpo suspendido de un hilo inextensible que está sujeto a un punto fijo y que, al desplazarlo de su punto de equilibrio, oscila por acción de su peso alrededor del mismo. El movimiento de oscilación puede considerarse periódico, es decir, que se repite a intervalos iguales de tiempo. Nuestro objetivo es comprobar este movimiento y **establecer de qué factores depende el tiempo que tarda en realizar una oscilación completa, periodo (T).**

- **Identificación de las variables:** Un estudio cualitativo del movimiento del péndulo nos lleva a establecer que su periodo (T) puede depender de las siguientes variables: longitud del péndulo ( $\ell$ ), masa del cuerpo (m) y ángulo de desviación ( $\theta$ ).

- **Procedimiento de control de variables:** Para estudiar la influencia de una variable independiente sobre la variable dependiente debemos mantener constante el resto de variables (por ello se denominan de control) y comprobar cómo influye la variación de la independiente con la dependiente.

Así, por ejemplo, si queremos comprobar la influencia de la longitud ( $\ell$ ) sobre el periodo (T), debemos diseñar y realizar un experimento en el que variemos la longitud del péndulo, manteniendo constantes la masa y la desviación (variables de control), y comprobar la influencia de la longitud en el periodo, T; de la misma forma se procede con las otras variables, como se indica en la tabla de la figura 6.2.

EXPERIMENTO	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DE CONTROL	VARIABLE DEPENDIENTE
A	$\ell$	m, $\theta$	T
B	m	$\ell$ , $\theta$	T
C	$\theta$	$\ell$ , m	T

### REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

a) ¿Influye el ángulo del péndulo en el valor del periodo? Mide con cuidado la duración de 10 oscilaciones cuando el ángulo que forma el hilo con la vertical es:  $20^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $5^\circ$ . ¿Qué conclusión obtienes?

b) ¿Influye la masa del péndulo en el valor del periodo? Monta dos esferillas metálica de igual tamaño, una de acero y otra de aluminio en hilos de 1 m de longitud aproximadamente. Mide con cuidado, repitiendo la medida, la duración de 10 oscilaciones para un ángulo fijo, por ejemplo  $10^\circ$ , de los dos péndulos. ¿Qué conclusión obtienes?

c) Dependencia entre la variable independiente  $\ell$  y la variable dependiente T. Es evidente que el periodo de un péndulo depende de la longitud del hilo. Para obtener datos que relacionen el periodo (T) de oscilación del péndulo con su longitud ( $\ell$ ), mide el periodo de péndulos de diferente longitud.

A continuación para poder interpretar la relación representa el periodo T (eje Y) en función de la longitud ( $\ell$ ). Al analizar la gráfica comprobarás que esta relación no es lineal, pero para linealizarla te proponemos que representes el cuadrado del periodo  $T^2$  en función de la longitud ( $\ell$ ). Finalmente podemos comprobar que con la nueva propuesta obtenemos una gráfica lineal que corresponde a la ecuación  $T^2 = k \cdot \ell$ , siendo k la pendiente.

Se puede demostrar que para ángulos pequeños el periodo de un péndulo obedece a la ley física siguiente:  $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$ . Compara esta ecuación con la anteriormente citada. ¿Qué valor puedes asignarle a la aceleración de la gravedad, g?

## METODOLOGÍA CIENTÍFICA

- Explica de modo claro la diferencia entre una observación y un experimento científico.
- Explica la importancia de las teorías en el conocimiento científico.
- Analiza y comenta en la clase las siguientes afirmaciones:
  - Cuando las investigaciones científicas se hacen correctamente, el conocimiento que los científicos descubren no puede cambiar en el futuro.
  - Muchos modelos científicos (por ejemplo el modelo del átomo o de la molécula de ADN) son copias exactas de la realidad, y por ello son inmutables.
  - Los sentimientos personales y los valores morales no influyen en las decisiones de los científicos, pero sí lo hacen los datos experimentales.

- Haz una valoración de la siguiente definición del conocimiento científico: "El conocimiento científico es un conjunto de leyes, datos experimentales, hipótesis... estructurados en teorías que continuamente se están haciendo y rehaciendo, por tanto, siempre provisionales y sujetas a revisión, construidas por personas, y por ello, influenciadas por elementos personales y sociales, propios de la condición humana".

## MAGNITUDES Y UNIDADES. LA CONVERSIÓN DE UNIDADES

- Indica las unidades de las magnitudes siguientes: velocidad, superficie, volumen, masa, distancia recorrida y trabajo.
- Inventa una unidad para medir longitudes. ¿Qué ventajas e inconvenientes presenta? ¿Qué condiciones impondrías a las unidades para que su uso fuera útil?
- Una mesa rectangular tiene de dimensiones:  $a = (160,0 \pm 0,1)$  cm y  $b = (80,0 \pm 0,1)$  cm. Calcula su superficie, expresada en unidades del Sistema Internacional.
- Expresa las siguientes cantidades en unidades del Sistema Internacional:
  - 120 km/h
  - 100 kgf/cm<sup>2</sup>
  - 20 kcal/min
  - 50 000 L/h
  - 5 hm/(min)<sup>2</sup>
  - 22,7 · 10<sup>3</sup> km/d

## CÁLCULO DIMENSIONAL

- Sabemos que el trabajo y la energía tienen las mismas dimensiones; si la energía cinética se expresa por  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ , indica si esta expresión es correcta en sus dimensiones.
- Analiza si estas dos expresiones de la potencia son correctas:  $P = \frac{W}{\Delta t}$  y  $P = F v$ .

## CÁLCULO DE IMPRECISIONES

- Pesamos en una balanza una probeta vacía y obtenemos 98,0 g; después añadimos 40 cm<sup>3</sup> de un cierto líquido y la nueva pesada nos da 137,2 g. ¿Cuál es la densidad del líquido, expresada en unidades del SI?
- ¿Qué medida posee mayor calidad: la de un químico que pesa 0,200 g con una balanza que aprecia el miligramo o la de un tendero que pesa 2 kg de naranjas con una balanza que aprecia el gramo?
- ¿Con cuántas cifras decimales debemos tomar el número  $\pi$  para que su imprecisión relativa sea menor del 1%?
- Determina el valor representativo y la imprecisión absoluta de la siguiente serie de medidas:
  - 3,22 s;
  - 3,24 s;
  - 3,22 s;
  - 3,23 s;
  - 3,25 s.

## GRÁFICAS Y SU INTERPRETACIÓN

- Se han medido masas y volúmenes de trozos de mármol y se han obtenido los siguientes valores:

m/g	9	14	22	29	41
V/cm <sup>3</sup>	3,1	4,8	7,6	10,0	14,1

¿Qué relación puedes establecer entre ambas variables?

- Representa y dibuja la gráfica que relaciona la presión ejercida por el gas en función del volumen que ocupa.

P/atm	25	12,5	8,3	6,3	4,2	3,6	2,5
V/cm <sup>3</sup>	1	2	3	4	6	7	10

**UNA VEZ TERMINADO EL DESARROLLO DEL TEMA, DEBES SER CAPAZ DE:**

- Comprender el proceso de elaboración del conocimiento científico.
- Explicar las características de la metodología científica.
- Analizar los factores que inciden en el desarrollo de la actividad científica, con el fin de tener una visión global del desarrollo de la Física y la Química y de su papel social.
- Valorar el conocimiento científico, sus descubrimientos y repercusiones desde distintas perspectivas.
- Comprender la necesidad de adoptar un Sistema de Unidades Internacional.
- Conocer las magnitudes y unidades del Sistema Internacional de Unidades.
- Realizar correctamente la conversión de unidades al Sistema Internacional.
- Expresar correctamente el valor de una medida a partir de un conjunto de datos experimentales.
- Calcular la imprecisión absoluta y relativa de las medidas.
- Utilizar la imprecisión relativa como factor de calidad de una medida.
- Saber elaborar gráficas a partir de tablas de datos experimentales.
- Analizar gráficas experimentales y establecer la relación entre las magnitudes representadas.
- Elaborar informes científicos sobre experimentos.

**PARA PODER VALORAR TUS CAPACIDADES TE PROPONEMOS LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES:**

- 1** Explica qué es una teoría científica, sus características e importancia en el conocimiento científico. ¿Qué sucede cuando un determinado hecho contradice una teoría científica?
  
- 2** Realiza la conversión de unidades de las siguientes magnitudes al Sistema Internacional:
 

a) $v = 36 \text{ km/h}$	b) $\Delta t = 2 \text{ h } 35 \text{ min}$
c) $m = 4 \text{ } 358 \text{ g}$	d) $x = 38,5 \text{ hm}$
e) $\rho = 35 \text{ g/L}$	
  
- 3** Medimos varios veces el tiempo que tarda en vaciarse una bureta, con un cronómetro que aprecia la décima de segundo, obteniendo los siguientes valores:  
 $18,5 \text{ s}; 19,2 \text{ s}; 18,8 \text{ s}; 19,0 \text{ s}; 18,6 \text{ s}, 19,3 \text{ s}.$   
 Expresa correctamente la medida.
  
- 4** ¿Qué medida de la masa posee mayor calidad?:  
 a)  $m_A = (13,4 \pm 0,05) \text{ g}$                       b)  $m_B = (2,289 \pm 0,001) \text{ g}$
  
- 5** En un experimento físico destinado a relacionar dos variables, A y B, se han obtenido los siguientes datos experimentales:
 

<b>A/UI</b>	4,3	8,2	27,0	38,5	45,0
<b>B/UI</b>	91,4	83,6	46,0	23,0	10,0

  
 a) Representa la variable B en función de la variable A.  
 b) Analiza la gráfica y establece la relación que existe entre las dos variables.