

# Guía del profesor

1  
bachillerato

## Física y Química

Salvador Lorente  
Juan Quilez  
Eloy Enciso  
Fernando Sendra

 **CCIR**  
EDITORIAL



# Guía Didáctica I

bachillerato 1



## Física y Química

Salvador Lorente  
Juan Quilez  
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

Depósito legal: V-3246-2008

I.S.B.N.: 978-84-9826-433-3

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

La presente Guía del profesorado forma parte, con el Proyecto, de los Materiales Auxiliares que acompañan al Libro del alumnado de la Editorial ECIR.

Esta Guía no pretende ser un instrumento dirigista, sino que desea facilitar el trabajo de los docentes, así como justificar los contenidos, las actividades, los experimentos y los ejercicios propuestos en cada uno de los temas.

Los diferentes temas se tratan en la Guía del profesorado de acuerdo con el siguiente esquema general:

1. **INTRODUCCIÓN AL TEMA.** En ella se hace una breve presentación del papel del tema en la Unidad Didáctica correspondiente y del hilo conductor bajo el cual se desarrollan sus contenidos.
2. **CONTENIDOS.** Aparecen los diferentes epígrafes del tema, con sus correspondientes subapartados, como visión panorámica del contenido del tema.
3. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.** En una parrilla se muestran las capacidades a desarrollar en cada tema, diferenciando conceptos, procedimientos y actitudes.
4. **SOLUCIONARIO.** Este apartado es el núcleo fundamental de la Guía del profesorado y ofrece la justificación y, sobre todo, la solución pormenorizada de las diferentes actividades de desarrollo del tema y de los ejercicios propuestos al final del libro del alumnado, bien sean cuestiones, ejercicios numéricos o experimentos (facilitando en este caso información respecto al procedimiento más conveniente a seguir en el laboratorio). También se presenta la repuesta al ejercicio de autoevaluación que aparece en la última página de cada tema del libro del alumnado.
5. **CRITERIOS DE EVALUACIÓN.** Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, se establecen unos criterios de evaluación específicos del tema, con el fin de ayudar al profesorado en la tarea de evaluar el grado de aprendizaje de los alumnos.
6. **EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL.** Además de la prueba de autoevaluación que aparece en el libro del alumnado al final de cada tema, en esta guía sugerimos una serie de ejercicios como orientación al profesorado a la hora de confeccionar una prueba de evaluación sumativa para cada uno de los temas.
7. **RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA.** Se citan una serie de libros y de artículos de especial interés para analizar cuáles son los preconceptos que se necesitan al abordar el tema, cuáles son los errores conceptuales más frecuentes relacionados con el tema en cuestión, en qué orden se deben desarrollar los contenidos, cuál es el tratamiento didáctico aconsejable de algún aspecto del tema más conflictivo, etc. También se enumeran algunos programas de video que pueden servir de ayuda en una presentación motivadora de alguna parte del tema.

Esperamos que la información contenida en esta Guía del profesorado le sea útil en su tarea diaria, con lo cual habremos conseguido nuestro objetivo al elaborarla.

LOS AUTORES

Índice interactivo. Situar el cursor sobre el tema al que se desee ir y hacer clic.

# Índice

1	INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA Y QUÍMICA ....	5
2	CINEMÁTICA.....	14
3	DINÁMICA.....	35
4	LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA .....	57
5	CARGA Y CAMPOS ELÉCTRICOS .....	75
6	CORRIENTE ELÉCTRICA.....	89
7	LA TEORÍA CINÉTICO-MOLECULAR DE LA MATERIA.....	108
8	LA REACCIÓN QUÍMICA: ESTEQUIOMETRÍA .....	135
9	CINÉTICA QUÍMICA .....	152
10	LA ESTRUCTURA ATÓMICA Y EL SISTEMA PERIÓDICO.....	159
11	ENLACE QUÍMICO .....	175
12	LA QUÍMICA DEL CARBONO .....	186

## III.3 TEMPORALIZACIÓN

En función de la cantidad y diversidad de contenidos de cada tema, de su mayor o menor dificultad inicial y de la diversidad e importancia de los procedimientos que el tema lleva implícitos, puede realizarse una distribución teórica de los días lectivos del curso y asignar a cada tema un número concreto de clases que permita abarcar a lo largo del curso toda la programación siguiendo un ritmo de avance más o menos constante.

La tabla siguiente muestra una propuesta de temporalización por temas; a partir de ella, cada profesora o profesor que lo desee podrá adaptarla al número de evaluaciones de su Centro e incluso rellenar la última columna de la tabla para tener constancia de la fecha en la que debería terminar el desarrollo de cada tema.

TEMA	CLASES	TERMINACIÓN
1. Introducción a la Física y a la Química	6	
2. Cinemática	12	
3. Dinámica	16	
4. La energía y su transferencia	16	
5. Carga y campo eléctricos	6	
6. Corriente eléctrica	12	
7. La teoría cinético-molecular de la materia	8	
8. La reacción química: estequiometría	16	
9. Cinética química	4	
10. La estructura atómica y el sistema periódico	8	
11. Enlace químico	12	
12. La Química del carbono	8	

# INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA FÍSICA Y LA QUÍMICA



## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

En este tema inicial se trata el estudio de la naturaleza de la ciencia y sus limitaciones, estableciendo una reflexión sobre cómo se elabora y desarrolla el trabajo científico, insistiendo en el carácter temporal de las teorías científicas y en la interacción de la ciencia con su contexto social, económico, cultural y político.

Por otra parte, planteamos algunos elementos de análisis que permitan a los alumnos realizar una valoración crítica de la importancia del desarrollo científico, de sus aplicaciones y de sus consecuencias, mediante una serie de argumentos plurales y razonados que tengan en cuenta distintos aspectos. Con todo ello pretendemos ofrecer una imagen más actualizada de la ciencia (y en particular de la Física y Química) y de sus tareas, evitando presentar el conocimiento científico como un proceso lineal, acumulativo, carente de discrepancias y aislado del entorno social y político en el que se desarrolla.

A nivel didáctico consideramos conveniente realizar un proceso experimental de control de variables, que se concreta y explica para el caso del estudio del periodo del pé-

dulo simple. Este método debe aplicarse en la mayor parte de los experimentos que se proponen en este libro.

Por tratarse de un tema de introducción analizamos el concepto de magnitud y el sistema de unidades a utilizar (SI), haciendo especial hincapié en el proceso de conversión de unidades. Este apartado finaliza con una breve descripción del cálculo dimensional a la hora de validar una ecuación física, con un ejemplo resuelto de aplicación.

Desde el punto de vista experimental nos centramos en tres aspectos del proceso de obtención de datos:

- La medida de las magnitudes físicas, explicando las cualidades generales de los aparatos de medida.
- La imprecisión de las medidas, diferenciando la imprecisión absoluta de la relativa.
- La interpretación de las medidas, por medio del tratamiento gráfico de los datos y su análisis con el objetivo de establecer la ley empírica que los relaciona.

Por último, centramos nuestra atención en explicar el proceso de elaboración de un *informe científico*.

## 2. CONTENIDOS

### 1. Algunos aspectos de la ciencia

- ¿Cuál es nuestra concepción sobre la actividad científica?
- El objetivo de la actividad científica.
- El proceso evolutivo de la ciencia.
- Los procedimientos de la actividad científica.
- La finalidad de las investigaciones.

### 2. El trabajo científico

- El planteamiento del problema.
- La búsqueda de posibles soluciones. Emisión de hipótesis.
- Tratamiento gráfico de los resultados

### 3. Las magnitudes y sus unidades

- Sistema de unidades internacionales (SI).
- Múltiplos y submúltiplos.
- Magnitudes derivadas.
- Conversión de unidades.
- Introducción al cálculo dimensional.
- ¿Por qué es útil el cálculo dimensional?

### 4. Las imprecisiones y los errores experimentales

- ¿Cómo expresar el resultado de una serie de medidas?
- Imprecisión relativa.

### 5. La comunicación científica

- ¿Cómo realizar un informe científico?



### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Presentar una imagen dinámica y en constante revisión de la ciencia, en la que intervienen distintos aspectos.</div> <div>2. Conocer las características básicas del trabajo científico.</div> <div>3. Analizar críticamente los distintos aspectos relacionados con el desarrollo y aplicación de los conocimientos científicos.</div> <div>4. Diferenciar los conceptos de magnitud y unidad.</div> <div>5. Conocer las magnitudes y unidades del Sistema Internacional.</div> <div>6. Saber las cualidades básicas de los aparatos de medida.</div> <div>7. Interpretar el significado de las tablas con los datos experimentales.</div> <div>8. Establecer la relación entre los datos experimentales mediante su representación gráfica.</div> <div>9. Diferenciar la imprecisión absoluta de la relativa y sus significados.</div>	<div>1. Realizar un análisis de la naturaleza de la ciencia considerando distintos aspectos.</div> <div>2. Diseñar pequeñas investigaciones aplicando el método de control de variables.</div> <div>3. Expresar correctamente las magnitudes físicas en el Sistema Internacional.</div> <div>4. Realizar correctamente conversiones de unidades.</div> <div>5. Utilizar adecuadamente los aparatos de medida básicos de un laboratorio.</div> <div>6. Calcular la imprecisión absoluta de una serie de medidas.</div> <div>7. Usar la imprecisión relativa para valorar la calidad de una medida.</div> <div>8. Dibujar correctamente gráficas a partir de tablas de datos.</div> <div>9. Obtener la ley empírica que relaciona las variables representadas en una gráfica.</div> <div>10. Realizar informes científicos de trabajos experimentales realizados.</div>	<div>1. Valorar los distintos aspectos de la ciencia.</div> <div>2. Apreciar el trabajo científico como un proceso dinámico y en el que inciden distintos aspectos.</div> <div>3. Valorar los conocimientos científicos y sus aplicaciones desde distintas perspectivas.</div> <div>4. Realizar argumentaciones razonadas y abiertas sobre las implicaciones y las consecuencias del trabajo realizado por los científicos.</div> <div>5. Respetar las interpretaciones y opiniones diferentes a las propias.</div> <div>6. Comprender la necesidad de adoptar un convenio de unidades.</div> <div>7. Valorar la importancia de la divulgación de información en el avance científico.</div>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** Procurar cuestionar la idea de que la actividad científica es propia del género masculino, exclusiva de ciertas mentes privilegiadas o también el estereotipo del científico aislado en un laboratorio y centrado únicamente en su trabajo que a menudo suelen presentar los alumnos, tal como sucede en el imaginario colectivo.

Estas ideas tienen su razón de ser, aunque no sean correctas, ya que debemos tener presente que los nombres de las personas que han realizado grandes descubrimientos científicos, y aparecen en los libros de texto, son generalmente masculinos, y que por otra parte algunas producciones de cine o televisión ofrecen esta falsa y recurrente imagen del científico aislado y loco (ver comentario Fig.1); también contribuye a afianzar esta misma creencia la plasmación de las anécdotas que presentan ciertos libros sobre las peculiaridades de científicos destacados.

**A.2.** El análisis de las viñetas presentadas en esta actividad propicia unos juicios contradictorios sobre la actividad científica; por una parte se presenta la ciencia y su actividad como un elemento de garantía y seguridad de determinados productos (Fig. 1.2) y por otra parte la incorporación de ciertos productos sintéticos elaborados basándose en los conocimientos científicos se valora negativamente y con connotaciones despectivas del área científica que las desarrolla (en este caso de la Química) (Fig. 1.3). Conviene reflexionar con seriedad sobre la causa de estas diferentes y contrarias valoraciones de las aplicaciones cotidianas de la ciencia.

**A.3.** Existe una asociación de la ciencia con disciplinas relacionadas con el mundo físico y no con las humanidades. Así por ejemplo, la física, la química y las matemáticas se califican como disciplinas "altamente" científicas; la medicina y la botánica son científicas pero situadas por el alumnao en un nivel inferior, mientras que la sociología, la economía y la lingüística se cuestiona considerarlas científicas. Sin embargo, todas las disciplinas mencionadas son científicas, aunque poseen distintos campos de estudio.

Por esta razón, las disciplinas científicas no eran consideradas apropiadas ni al alcance de las mujeres. Estos prejuicios fueron difícilmente superados a lo largo del siglo XX en nuestra cultura y, parece, que se van abandonando en este comienzo de siglo.

Respecto a los nombres de científicas, salvo el nombre de Marie Curie, creemos que pocos o ninguno se van a citar.

**A.4.** Es una actividad que permite realizar una búsqueda bibliográfica y establecer un fructífero diálogo sobre el papel y la importancia que las mujeres alcanzaron en el pasado siglo en el campo de las diferentes ciencias.

**A.5.** Esta actividad puede, y debe, completar la discusión iniciada en la anterior por ser las científicas más conocidas y por la polémica que suscitó su rechazo a aceptarlas como académicas, a pesar de haber logrado ya sus premios Nobel. Estos prejuicios van camino de superación en nuestra cultura, pero están muy lejos de alcanzarse en la mayor parte de la Tierra. A la vista de todo ello, el trabajo de la mujer en la ciencia se encuentra bastante limitado y, por tanto, no se permite su libre acceso y se restringe su libertad de elección de trabajo o actividad.

**A.6.** Suponemos que la frase de Miguel Catalán es lo suficiente clarificadora como para no requerir interpretación. No obstante, hay que insistir en que la ciencia nos lleva al conocimiento y luego a las aplicaciones del mismo, las cuales dependen del momento histórico en que tienen lugar.

Un ejemplo paradigmático lo constituye la energía nuclear y su uso: para curar enfermedades como el cáncer, irradiar alimentos para seguir su curso en los organismos, obtener energía primaria..., y para su aplicación en los conflictos bélicos entre otros.

Nuestra obligación como ciudadanos es estar informado con conocimiento del fundamento científico y, así, actuar con criterio a la hora de opinar sobre los usos de las mismas.

**A.7.** Pretende concienciar a los alumnos de la importancia de los conocimientos y concepciones del observador en la identificación del problema, y su posterior investigación. Hay que tener en cuenta que unas investigaciones se han iniciado por el interés del investigador o de la empresa con la que trabaja y otras, por el contrario, se han rechazado por la escasa atención que le prestaron. Es decir, que las valoraciones personales muchas veces son las determinantes en una investigación.

**A.8.** La elección de una unidad debe de ser consensuada por un amplio grupo de personas, poseer un patrón fácilmente reproducible y ser coherente con el uso de otras unidades.

**A.9.** Es una actividad perfecta para ver la necesidad de reducir todos los valores a una misma unidad, ya que de lo contrario no se pueden comparar; eso mismo pasa con las monedas de los diferentes países en el momento de establecer el precio de un objeto en cada moneda. En este caso lo más práctico es pasar los tres valores a la unidad internacional que es el m/s. Al realizar las correspondientes operaciones la rapidez del avestruz es de 15,28 m/s, la del leopardo



20 m/s y la del león la que ya sabemos de 17 m/s; por tanto el más rápido es el leopardo, seguido del león y del avestruz. Estos datos son muy importantes para conocer la capacidad de huida de un animal respecto a otros en su lucha por la supervivencia.

**A.10.** Como la densidad es el cociente entre la masa y el volumen, su fórmula dimensional es  $ML^{-3}$ ; la potencia es el trabajo dividido por el tiempo, y su fórmula dimensional es  $ML^{-2}T^{-3}$ ; la cantidad de movimiento es el producto de la masa por la velocidad y su dimensión es  $MLT^{-1}$ ; la presión es el

cociente entre la fuerza y la superficie de aplicación de la fuerza, y su dimensión es  $ML^{-1}T^{-1}$

**A.11.** Todas las fórmulas son correctas, es decir tienen las mismas dimensiones los dos miembros de la igualdad.

**A.12.** Al probar la relación entre  $k$  y  $m$  vemos que tiene que ser el cociente entre  $k$  y  $m$ , es decir,  $k/m$ ; aunque el resultado es  $T^{-2}$ , que es un exponente doble que el de la frecuencia, esto nos indica que esta relación debe ser la raíz cuadrada o lo que es lo mismo,  $f = \sqrt{k/m}$ .

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

### METODOLOGÍA CIENTÍFICA

1. Los experimentos son observaciones realizadas en condiciones controladas, cuantificadas y reproducibles y una observación no.
2. Las teorías permiten relacionar y estructurar el conjunto de conocimientos actuales, a la vez que nos orientan para alcanzar nuevos conocimientos.
3. Todas las afirmaciones son falsas. Con la afirmación a) nos oponemos a un conocimiento revisable y evaluable; con la afirmación b) reducimos la realidad a los modelos inventados para explicar determinados aspectos de la misma y finalmente con la afirmación c) no tenemos en cuenta el carácter social y humano asociado a la actividad científica.
4. Creemos que es una definición apropiada del conocimiento científico.

### MAGNITUDES Y UNIDADES. LA CONVERSIÓN DE UNIDADES

5. m/s (derivada); m<sup>2</sup> (derivada); m<sup>3</sup> (derivada); kg (fundamental); m (fundamental); J (derivada).
6. La elección de una unidad debe de ser consensuada por un amplio grupo de personas, poseer un patrón fácilmente reproducible y ser coherente con el uso de otras unidades.
7. Cálculo de la superficie:  
 $S = a \cdot b = 160 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} = 12800 \text{ cm}^2$   
Cálculo de la imprecisión relativa:  
 $\Delta S/S = \Delta a/A + \Delta b/b = 1/160 + 1/80 = 0,01875$   
Cálculo de la imprecisión absoluta:  
 $\Delta S = 0,01875 \cdot 12800 \text{ cm}^2 = 24 \text{ cm}^2$   
La imprecisión absoluta debe expresarse con una única cifra significativa, permitiéndose que sean dos cuando la primera es un uno y la segunda es menor de cinco. Por ello,  $\Delta S = 20 \text{ cm}^2$ .  
Expresión de la medida:  
 $S = (12800 \pm 20) \text{ cm}^2$ . Esta cifra en el SI es  $(1,28 \pm 0,02) \text{ m}^2$ .
8. a) 33,3 m/s; b)  $9,8 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ ; c)  $1,39 \cdot 10^3 \text{ W}$ ; d)  $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ ; e)  $1,39 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}^2$ ; f)  $2,67 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ .

### CÁLCULO DIMENSIONAL

9. y 10. Son correctas dimensionalmente.

### CÁLCULO DE IMPRECISIONES

11.  $M_{\text{líquido}} = 137,2 \text{ g} - 98,0 \text{ g} = 39,2 \text{ g}$   
 $M_{\text{líquido}} = 39,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ;  $V_{\text{líquido}} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ;  
 $d = 980 \text{ kg/m}^3$ .

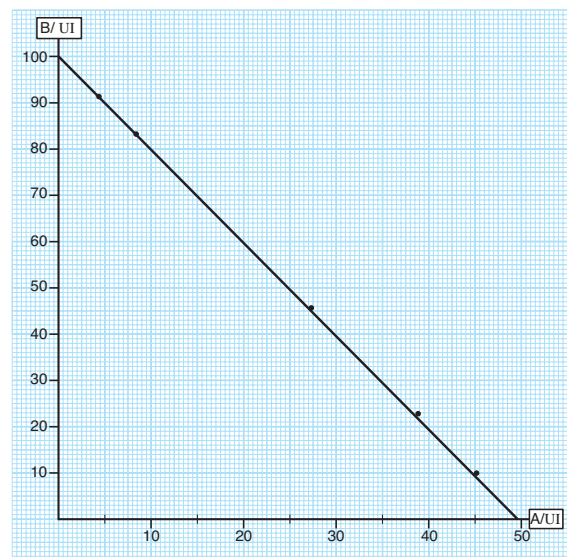
12. Al hallar la imprecisión relativa de cada medida, el químico  $0,001/0,2 = 5 \cdot 10^{-3}$ ; el tendero  $1/2000 = 5 \cdot 10^{-4}$ ; luego es de más calidad la medida del tendero.
13. Con dos cifras decimales es suficiente ya que la imprecisión relativa es  $0,01/3,14 = 3,2 \cdot 10^{-3}$ .
14. Se hace como el ejercicio resuelto número 3 y el resultado es:  $(3,23 \pm 0,01) \text{ s}$ .

### GRÁFICAS Y SU INTERPRETACIÓN

15. Podemos establecer que el cociente de la masa y del volumen  $m/V = 2,3$ ; o lo que es lo mismo que la densidad de ese material es  $2,3 \text{ g/cm}^3$ , por tanto  $m \text{ (g)} = 2,3 V \text{ (cm}^3\text{)}$ , representa una relación lineal de pendiente 2,3.
16. La gráfica es una curva que aumenta con V y disminuye con P. Ecuación  $P \cdot V = 25 \text{ atm} \cdot \text{L}$ .

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN

1. La primera parte de la pregunta está explícito en el libro. Cuando un hecho experimental contradice una teoría, normalmente es porque los datos no son correctos: hay que revisar el experimento para detectar posibles fallos y si éste persiste quizá habrá que revisar la teoría; esta teoría será sustituida por otra cuando la acumulación de hechos experimentales den lugar a una teoría que los explique mejor.
2. a) 10 m/s; b) 9300 s; c) 4,358 kg; d) 3850 m; e) 35000 kg/m<sup>3</sup>.
3.  $\Delta t = (18,9 \pm 0,3) \text{ s}$ .
4. Posee mayor calidad la medida de la masa b que tiene una imprecisión relativa del 0,04 % y la a del 0,37 %.
5. Es una línea recta de pendiente negativa, que indica una proporcionalidad inversa entre A y B:  $B = 100 - 2 A$ .



## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos criterios de evaluación específicos para este tema.

Los alumnos y las alumnas deben ser capaces de:

- Explicar y diferenciar procesos propios de la metodología científica.
- Emitir hipótesis que expliquen fenómenos físicos adecuados a su nivel de aprendizaje.
- Diseñar experimentos destinados a comprobar las hipótesis formuladas.
- Realizar cambios de unidades físicas.
- Determinar la calidad de una medida a partir de la determinación de la imprecisión relativa.
- Calcular el valor y la imprecisión de una medida indirecta sencilla.
- Realizar una presentación gráfica de los valores de las magnitudes indicadas en una tabla de datos.
- Hacer lineal una gráfica sencilla, realizando el cambio de variables adecuado.
- Analizar una representación gráfica y establecer la ley empírica que relaciona las magnitudes representadas.
- Elaborar informes de investigaciones con una estructura correcta.

6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

En función de las capacidades a desarrollar y de los criterios de evaluación indicados, se proponen las siguientes actividades ilustrativas de posibles ejercicios para la evaluación final del tema.

- 1. Explica la diferencia entre una observación y un experimento.
- 2. Explica cómo comprobarías si la masa de un cuerpo influye en su tiempo de caída libre.
- 3. Sabiendo que un sólido flota en un líquido cuando su densidad es menor a la del líquido, determina cuál de los siguientes sólidos flotan en aceite de soja  
( $d = 0,93\text{ g/cm}^3$ ):  
a)  $d_1 = 700\text{ g/L}$ ; b)  $d_2 = 0,9\text{ kg/L}$ ;  
c)  $d_3 = 2000\text{ kg/m}^3$ .
- 4. Para medir la masa de un cuerpo, pesamos cinco veces el cuerpo en una balanza que aprecia centésimas de gramo. Las medidas obtenidas son:  
3,85; 3,87; 3,86; 3,85; 3,86 g.  
Expresa correctamente la masa del cuerpo.
- 5. Cuando se expresa una medida por la relación  $d = (92,159 \pm 0,005)\text{ m}$ , ¿qué se quiere indicar? Si pesamos una muestra de 10 g con una balanza que aprecia hasta diez miligramos, ¿cómo escribirías la masa?
- 6. Al medir las dimensiones de una hoja DIN A4, obtenemos los siguientes valores:  
 $a = (210 \pm 1)\text{ mm}$ ;  $b = (297 \pm 1)\text{ mm}$   
Calcula y expresa correctamente la superficie de la hoja.
- 7. Una longitud mide 50,03 cm, pero nosotros tomamos 50 cm; ¿qué imprecisión cometemos?
- 8. Se ha determinado la longitud de onda de una radiación, obteniéndose las siguientes cantidades: 587,0 nm; 588,1 nm; 589,4 nm; 590,0 nm. Determina su valor.
- 9. Indica cuál de las siguientes medidas posee mayor calidad:

- a)  $m_1 = (340,74 \pm 0,01)\text{ g}$ ;
- b)  $m_2 = (2,0000 \pm 0,0001)\text{ g}$ .

10. Con el objetivo de estudiar cómo influye la fuerza aplicada (F) sobre el alargamiento de un resorte elástico ( $\Delta L$ ) se ha realizado un experimento y se han obtenido los siguientes datos:

Fuerza (N)	Alargamiento (m)
5	0,01
15	0,03
25	0,05
40	0,07
60	0,11

- a) Realiza un representación gráfica de la fuerza en función del alargamiento.
  - b) Analiza la gráfica y establece la ley empírica.
  - c) ¿Qué fuerza deberemos aplicar al resorte para que incremente su longitud 5 cm más?
11. Representa los valores de la magnitud A frente a los B que se muestran en la tabla adjunta.

A (UI)	B(UI)
1	20
2	10
5	4
10	2
20	1

Sugiere el cambio de variables que transforme la curva obtenida en una línea recta y verifica si ocurre así.



## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros

BROWN, H.F. (1988). *La nueva filosofía de la ciencia*. Madrid: Tecnos.

DIXON, B. (1990). *Enciclopedia Futuro ciencia*. Tomo 5. Barcelona: Editorial Grijalbo.

CHALMERS, A.F. (1982). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.

COLLINS, H. y PINCH, T. (1996). *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Madrid: Crítica

FERNANDEZ-RAÑADA, A. (1994). *Física básica*. Madrid: Alianza.

GIL, D. (1982) *La investigación en la aula de Física y Química*. Madrid: Anaya.

GRAU, R. y GABALDÓN, C. (1996). *Investigar: Una aproximación al treball científic*. Biblioteca de la classe. Barcelona: Graó.

GUY, C. (1994). *Educación mentes curiosas: El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.

HEMPEL, C. G. (1984). *Filosofía de la ciencia Natural*. Madrid: Alianza.

LÓPEZ, J.L. (1984). *Método e hipótesis científicos*. México: Trillas.

POZO, J.L. y GÓMEZ, M.A. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.

SÁNCHEZ-RON, J.M. (1996). *Diccionario de la ciencia*. Barcelona: Planeta.

SÁNCHEZ-RON, J.M. (2001). *El jardín de Newton. La ciencia a través de su historia*. Barcelona: Edita Crítica.

SOLSONA, N. (1997). *Mujeres Científicas de todos los tiempos*. Madrid: Talasa.

VIENNOT, L. (1996). *Razonar en física*. Madrid: A. Machado Libros (aprendizaje).

YURÉN, M.T. (1981). *Leyes, teorías y modelos*. México: Trillas.

ZIMAN, J. (1986). *Introducción al estudio de las ciencias*. Barcelona: Ariel.

ZIMAN, J. (1981). *La credibilidad de la ciencia*. Madrid: Alianza.

### Artículos

CAAMAÑO, A. (1992) Los trabajos prácticos en Ciencias experimentales. *Aula de Innovación Educativa*, n.º 9.

CAAMAÑO, A. (1998). Nomenclatura, símbolos y escritura de las magnitudes fisicoquímicas. *Alambique*, 17. pp 47 -57.

DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. Números monográficos 2 (Los trabajos prácticos, 1994), 3 (La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad, 1995), 8 (Naturaleza e historia de la ciencia, 1996), 12 (lenguaje y comunicación, 1997). *Alambique*. Editorial Graó.

DUMON, A. (1992). Formar estudiantes en el método experimental: ¿Utopía o problema superado? *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1). pp 25 -31.

GONZÁLEZ, E. M. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, volumen 10 (2). pp 206-211.

HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, volumen 12, (3). pp 299-311.

SARDÀ, J. y SANMARTÍ, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), pp 405-422.

SOLBES, J. y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp 151-162.

VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M. A. (1999). Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (3), pp 377-395.

# CINEMÁTICA

## 2

### 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

El conocimiento de cómo se mueven los cuerpos ha sido un problema central a lo largo de la historia de la ciencia. Ya unos 400 años aC., en la antigua Grecia, se habían desarrollado apreciables conocimientos acerca del movimiento de los objetos. En este sentido, los estudios astronómicos jugaron un papel relevante, de modo que la observación sistemática del cielo nocturno había proporcionado datos e interpretaciones suficientes para establecer diversas concepciones acerca del universo. La filosofía de Aristóteles (384 - 322 aC), en su intento de comprender qué es el universo y cómo está formado, integraba una concepción acerca de cómo y por qué se mueven los cuerpos tanto en la Tierra como fuera de ella. Esta filosofía se mantuvo vigente hasta los siglos XVI y XVII, en los que se estableció científicamente la visión moderna del movimiento de los cuerpos, tanto en lo referente a su descripción como a sus causas. De entre todos los científicos que ayudaron a construir nuestro conocimiento actual, dos de ellos destacan sobre el resto: Galileo Galilei (1554 - 1642) e Isaac Newton (1642 - 1727). Estos aspectos históricos se tratan con detalle en un apartado específico del tema y en un lectura al final del capítulo.

En este tema nos centraremos en el *estudio descriptivo del movimiento*, dejando para el siguiente el establecimiento de las causas de su variación. Esta descripción tiene interés ya que su conocimiento puede permitir el estudio de distintas situaciones de la vida cotidiana relacionadas con los siguientes aspectos: medios de transporte (movimientos de aviones, trenes, barcos, coches, etc.); estudio de fenómenos astronómicos (movimientos de planetas, cometas, estrellas, etc.) o meteorológicos (predicciones de la formación y evolución de huracanes y tornados, etc.); puesta en órbita de satélites de comunicaciones y el control de su trayectoria o el lanzamiento de transbordadores espaciales en misiones de acoplamiento con otras naves o de construcción de estaciones orbitales; prácticas deportivas (jabalina, tiro con arco, baloncesto, automovilismo, ciclismo, etc.) o militares (lanzamiento de proyectiles, etc.). Es evidente que un estudio profundo de todas las situaciones mencionadas requiere un conocimiento que excede generalmente el nivel que puede alcanzarse en un curso introductorio. Sin embargo, las magnitudes y ecuaciones que vamos a introducir son las básicas a la hora de enfrentarse a cualquier problema cinemático.



Iniciaremos el tema definiendo dos magnitudes fundamentales para el estudio del movimiento: la *velocidad* y la *aceleración*. Para facilitar una mejor comprensión de los conceptos cinemáticos simplificaremos inicialmente nuestro estudio describiendo el movimiento de los objetos que se mueven en línea recta. Posteriormente, estudiaremos casos de cuerpos cuyo movimiento no es rectilíneo, como pueden ser el movimiento parabólico y el circular.

Es evidente que este tema presenta una cierta dificultad para nuestro alumnado. El lenguaje matemático y gráfico necesario para su estudio les resulta complejo (trabajo con vectores, cálculo de la pendiente de una recta y su significado, conocer la ecuación de un parábola; relacionar ecuaciones matemáticas con sus correspondientes

representaciones gráficas, etc.). Por ello, se ha considerado importante tratar en el tema estos aspectos a partir de distintas situaciones que propicien su aprendizaje significativo. En consecuencia, además de los ejercicios numéricos tradicionales se han incluido varias actividades y ejercicios cualitativos. Además, la forma de razonar de nuestro alumnado y sus conocimientos previos deben ir cambiando paulatinamente para aproximarlos al conocimiento científico. Ello lleva tiempo, con una constante labor de ayuda por parte del profesorado. El hilo conductor del tema, así como los problemas planteados, los ejercicios resueltos y los propuestos tratan de facilitar el aprendizaje de las capacidades a desarrollar en este tema.

## 2. CONTENIDOS

1. *¿Se puede saber de una forma absoluta si un cuerpo se encuentra en reposo o en movimiento?*
2. *Magnitudes necesarias en el estudio del movimiento*
  - Posición, desplazamiento y espacio recorrido.
  - Velocidad y rapidez.
  - Velocidad instantánea.
  - Aceleración.
3. *Movimiento rectilíneo uniforme*
4. *Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado*
  - Ecuación de la velocidad.
  - Ecuación del desplazamiento.
  - Educación vial.

- Estudio de un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado particular: la caída libre de cuerpos.
5. *Las aportaciones de Galileo al desarrollo de la cinemática*
  6. *Movimiento en dos o tres dimensiones*
    - Vector de posición y velocidad.
    - Velocidad relativa.
    - Movimiento de proyectiles: el tiro parabólico.
  7. *Movimiento circular*
    - Rapidez angular.
    - Ecuaciones del movimiento circular.
    - Aceleración normal o centrípeta.

**Complemento:** El siglo XVII y la nueva física.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

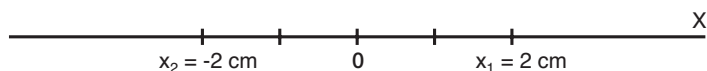
CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Distinguir entre magnitudes escalares y vectoriales, y dar ejemplos de cada uno de los dos tipos de magnitud.</li> <li>2. Saber definir las siguientes magnitudes: desplazamiento, velocidad y aceleración. En este sentido, será necesario distinguir entre distancia recorrida y desplazamiento y entre velocidad media y rapidez media.</li> <li>3. Conocer las magnitudes que se mantienen constantes y las que varían en un movimiento uniforme y en un movimiento uniformemente acelerado.</li> <li>4. Conocer el significado de las gráficas <math>x = f(t)</math>, <math>v = f(t)</math> y <math>a = f(t)</math> para un movimiento uniforme y para un movimiento uniformemente acelerado. Ello implica conocer el significado de la pendiente de la recta que se obtiene en la representación <math>x = f(t)</math> de un movimiento uniforme y de la recta que se obtiene en la gráfica <math>v = f(t)</math> en un movimiento uniformemente acelerado.</li> <li>5. Distinguir entre rapidez angular y rapidez lineal, conociendo la relación existente entre ambas.</li> <li>6. Comprender que cualquier movimiento que no se produce en línea recta es acelerado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representar de forma cualitativa las gráficas <math>x = f(t)</math>, <math>v = f(t)</math> y <math>a = f(t)</math> para ejemplos sencillos de la vida diaria que correspondan a movimientos rectilíneos uniformes y uniformemente acelerados. De forma análoga, interpretar las gráficas <math>x = f(t)</math>, <math>v = f(t)</math> y <math>a = f(t)</math> para ejemplos sencillos de la vida diaria que correspondan a movimientos rectilíneos uniformes y uniformemente acelerados.</li> <li>2. Utilizar adecuadamente las ecuaciones de los movimientos estudiados para calcular posiciones, desplazamientos, distancias recorridas, velocidades y aceleraciones en distintos problemas en los que se parte de unas condiciones iniciales y se quiere saber el valor de estas magnitudes transcurrido un cierto tiempo.</li> <li>3. Analizar adecuadamente un movimiento que se produzca en dos dimensiones que resulte de la composición de otros dos. Por ejemplo, la composición de dos movimientos uniformes o la composición de un movimiento uniforme y otro uniformemente acelerado.</li> <li>4. Saber descomponer un vector en sus componentes (ejemplo, velocidad inicial en un tiro oblicuo) y saber sumar vectores.</li> <li>5. Resolver problemas que impliquen la utilización adecuada de las ecuaciones del movimiento circular uniforme y del movimiento circular uniformemente acelerado.</li> <li>6. Analizar el significado de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interesarse por la observación crítica de la realidad y su interpretación, apoyándose en ideas físicas.</li> <li>2. Valorar la importancia que en el trabajo científico tienen el rigor y la precisión, tanto en el razonamiento como en la realización de experimentos.</li> <li>3. Tomar conciencia de la propia responsabilidad y prudencia en la conducción de vehículos.</li> <li>4. Valorar aspectos clave de la historia de la ciencia en la construcción del conocimiento científico.</li> <li>5. Reconocer la necesidad de establecer hipótesis y estrategias fundamentadas en el estudio de los problemas científicos.</li> </ol>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1, A.2. y A.3.** En estas tres actividades se trata de poner de manifiesto la necesidad de elección de un sistema de referencia para realizar un estudio cinemático. Quizás, en la actividad A.3. existan algunas dificultades por parte de los alumnos. Ya que la A.23. es análoga, se puede volver a hacer hincapié en ese momento acerca de los aspectos tratados inicialmente.

**A.4.**



**A.5.** a)  $x_P = -4 \text{ cm}$ ;  $x_Q = 2 \text{ cm}$ ;  $x_R = 5 \text{ cm}$ ;

b) 1)  $\Delta x = x_R - x_Q = 5 - 2 = 3 \text{ cm}$

2)  $\Delta x = x_Q - x_R = 2 - 5 = -3 \text{ cm}$

(En ambos casos se ha recorrido la misma distancia: 3 cm).

3)  $\Delta x = x_Q - x_P = 2 - (-4) = 6 \text{ cm}$ .

4)  $\Delta x = x_P - x_Q = -4 - 2 = -6 \text{ cm}$ .

(En ambos casos se ha recorrido la misma distancia: 6 cm).

5)  $\Delta x = x_P - x_Q = -6 \text{ cm}$ .

6)  $\Delta x = x_Q - x_P = 6 \text{ cm}$ .

(En ambos casos se ha recorrido la misma distancia: 12 cm).

**A.6.** a)  $x_0 = 10000 \text{ m}$ ;  $x_f = 0$ ;  $v = -30 \text{ m/s}$ .

$$v_{m1} = \frac{\Delta x_1}{t_1}$$

$$t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_{m1}} = \frac{x_f - x_0}{v_{m1}} = \frac{0 - 10000}{-30} = 333,3 \text{ s}$$

b)  $v_{m2} = \frac{\Delta x_2}{t_2} = \frac{50000 \text{ m}}{1800 \text{ s}} = 27,7 \text{ m/s}$

c)

$$\text{rapidez media} = \frac{10000 + 50000 + 50000}{(333,3 + 120 + 1800 + 600 + 1800)} = 23,64 \text{ m/s}$$

$$v_{m3} = \frac{\Delta x_3}{t_3} =$$

$$\frac{0 - 10000}{(333,3 + 120 + 1800 + 600 + 1800)} = -2,15 \text{ m/s}$$

**A.7.**  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

a)  $a_{m1} = \frac{4,9 \text{ m/s}}{0,5 \text{ s}} = 9,8 \text{ m/s}^2$

b)  $a_{m2} = \frac{27,7 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = 4,63 \text{ m/s}^2$

c)  $a_{m3} = \frac{20 \text{ m/s}}{2} = 10 \text{ m/s}^2$

**A.8.**

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(13,88 - 33,33) \text{ m/s}}{6,5 \text{ s}} = -2,99 \text{ m/s}^2$$

**A.9.**  $\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{30 - 50}{2,5 - 0} = -8 \text{ m/s}$   
 $x = 50 - 8 t$

**A.10.** Fig. 3.1.:  $x = 4 + \frac{2}{3} t$

Fig. 3.2.:  $x = 50 - 8 t$

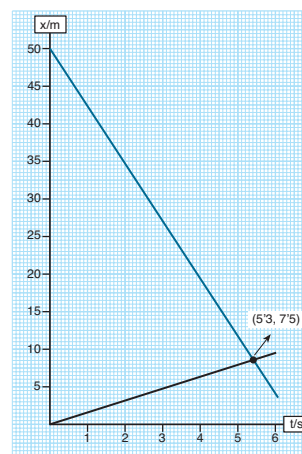
En el punto en el que se cruzan se cumplirá:

$$4 + \frac{2}{3} t = 50 - 8 t$$

$$8 t + \frac{2}{3} t = 46$$

$$26 t = 138$$

$$t = 5,3 \text{ s}$$



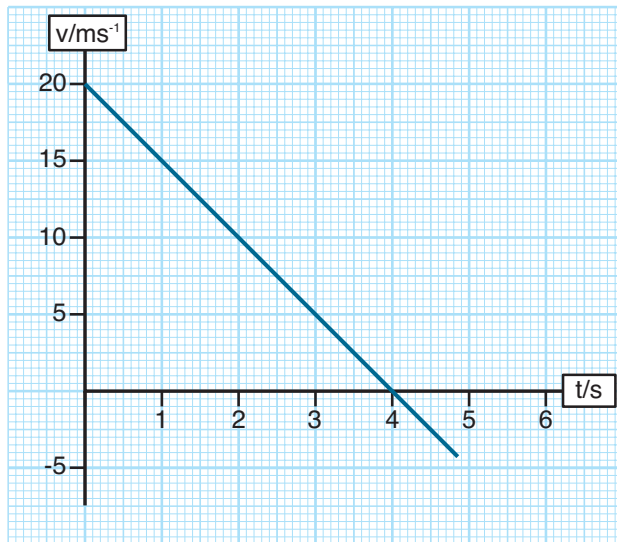
**A.11.** Podemos interpretar la fig. 3.3 de la siguiente forma: durante un cierto tiempo, la alumna se dirige al instituto con velocidad constante. Se detiene a buscar el bacadillo en la mochila y, como no lo encuentra, vuelve rápidamente a su casa, en donde permanece un tiempo breve mientras recoge el almuerzo, saliendo corriendo hacia el instituto para no llegar tarde.

**A.12.**

1	x	x	x	x	x	x	x	x	(casa → instituto)
2	x		x		x		x		(vuelta a casa)
3	x			x				x	(casa → instituto)

**A.13. y A.14.** Probablemente, a los alumnos no les resulte fácil encontrar como ejemplo la caída libre. A pesar de haber estudiado este movimiento en cursos anteriores puede que todavía resulte problemático: algunos alumnos siguen afirmando que los cuerpos caen más deprisa cuanto más pesados son, siendo la velocidad de caída proporcional al peso. Algunos de los experimentos sencillos que se proponen en la página 40 se pueden realizar en este momento.

**A.15.**  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ ;  $a = -5 \text{ m/s}^2$



**A.16. a)**  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(40 - 20) \text{ m/s}}{(30 - 15) \text{ s}} = \frac{4}{3} \text{ m/s}^2$

$$v = \frac{4}{3} t$$

b)  $v_1 = \frac{4}{3} \cdot 25 = \frac{100}{3} \text{ m/s}$

$v_2 = 55 \text{ m/s}$ ;  $55 = \frac{4}{3} t$ ;  $t = 41,25 \text{ s}$ .

**A.17.**

- a) x x x x x  
b) x x x x x

**A.18.**  $v = 200 \text{ km/h} = 55,5 \text{ m/s}$ .

$$v = v_0 + a t$$

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ 0 &= 55,5 + a t \\ 1400 &= 55,5 t + \frac{1}{2} a t^2 \end{aligned} \right\}$$

$$a = -\frac{55,5}{t}$$

$$1400 = 55,5 t + \frac{1}{2} \left( -\frac{55,5}{t} \right) t^2$$

$$1400 = 55,5 t + \frac{1}{2} (-55,5) t$$

$$1400 = \frac{55,5 t}{2}$$

$$a = -\frac{55,5}{50,4} = -1,10 \text{ m/s}^2$$

**A.19. a)**  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(0 - 50) \text{ m/s}}{(10 - 0) \text{ s}} = -5 \text{ m/s}^2$

b)  $v = v_0 + a t$ ;  $v = 50 - 5 t$

1)  $v = 50 - 5 \cdot 8 = 10 \text{ m/s}$ .

2)  $v = 50 - 5 \cdot 12 = -10 \text{ m/s}$ .

c)  $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

$$\Delta x = 50 t - \frac{1}{2} 5 t^2$$

1)  $\Delta x = 50 \cdot 8 - \frac{1}{2} 5 \cdot 8^2 = 240 \text{ m}$

2)  $\Delta x = 50 \cdot 12 - \frac{1}{2} 5 \cdot 12^2 = 240 \text{ m}$

d) Observa que coinciden las posiciones, pero en cada caso el espacio recorrido ha sido distinto.

En el primer caso el espacio recorrido coincide con el cambio de posición.

Para calcular el espacio recorrido en el segundo caso tenemos que tener en cuenta que a partir de  $t = 10 \text{ s}$ , el valor de la velocidad es negativo. Este cambio de sentido de la velo-

ciudad quiere decir que vuelve al punto de origen. Por tanto, para saber el espacio total recorrido evaluaremos en primer lugar el cambio de posición de 0 a 10 s y, posteriormente, de 10 a 12 s.

$$\Delta x_{0-10} = 50 \cdot 10 - \frac{1}{2} 5 \cdot 10^2 = 250 \text{ m.}$$

(recorre 250 m en los 10 primeros segundos, alejándose del origen)

$$\Delta x_{10-12} = - \frac{1}{2} 5 \cdot 2^2 = -10 \text{ m.}$$

(recorre 10 m en los 2 siguientes segundos, acercándose al origen).

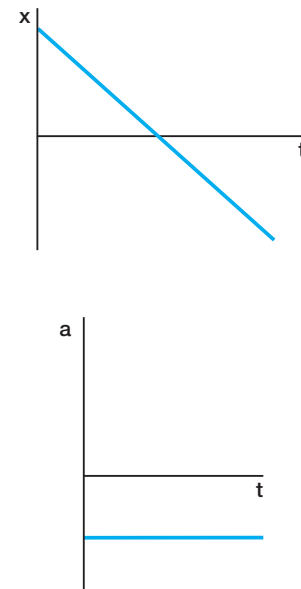
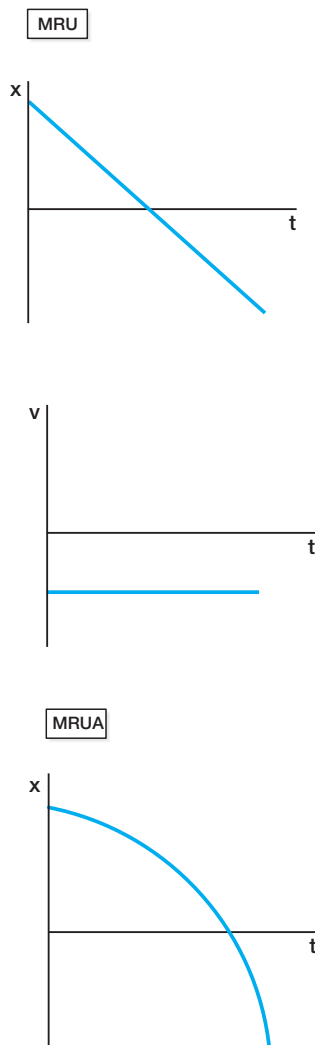
El espacio total recorrido será  $250 + 10 = 260 \text{ m}$

$$e) \Delta x = 50 \cdot t - \frac{1}{2} 5 \cdot t^2$$

$$v = 50 - 5t$$

$$a = -5 \text{ m/s}^2$$

**A.20.**



**A.21.** Ecuación del movimiento del coche:

$$x_c = \frac{1}{2} 1,3 t^2$$

Ecuación del movimiento de la moto:

$$x_m = 13,88 \cdot t$$

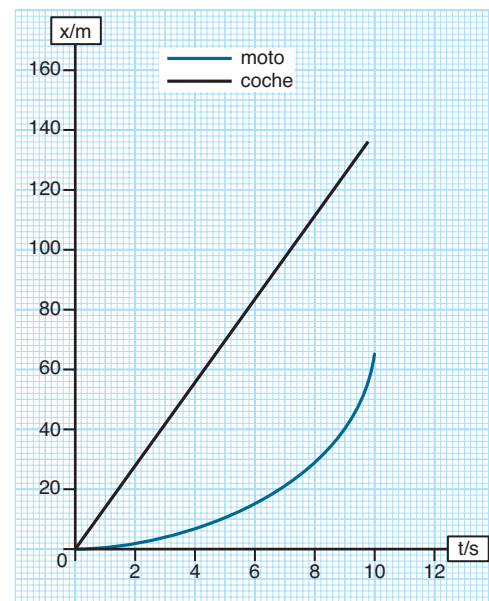
A los 10 s las posiciones de cada móvil son:

$$x_c = \frac{1}{2} 1,3 \cdot 10^2 = 65 \text{ m.}$$

$$x_m = 13,88 \cdot 10 = 138,8 \text{ m.}$$

La distancia que separa a ambos móviles es de 73,8 m.

A.(moto/coche)



**A.22.** Ecuación del movimiento del cuerpo que se deja caer:

$$y_1 = 50 - 4,9 t^2$$

Su posición cuando  $t = 2$  s, es:

$$y_1 = 50 - 4,9 \cdot 4 = 30,4 \text{ m.}$$

A partir de este instante, su ecuación de movimiento es:

$$y_1 = 30,4 - 4,9 t^2$$

Y la ecuación del movimiento del cuerpo que se lanza verticalmente es:

$$y_2 = 20 t - 4,9 t^2$$

En el punto de cruce se cumplirá que  $y_1 = y_2$ :

$$30,4 - 4,9 t^2 = 20 t - 4,9 t^2$$

$t = 1,52$  s, por lo que la posición de ambos móviles es de 19,08 m.

La velocidad de cada móvil en ese instante se calcula de forma inmediata:

1) Cuerpo que cae ( $t = 3,52$  s):

$$v_1 = v_{1,0} + a t$$

$$v = -9,8 \cdot 3,52 = -34,5 \text{ m/s}$$

2) Cuerpo que ha sido lanzado desde el suelo ( $t = 1,52$  s):

$$v_2 = v_{2,0} + a t$$

$$v_2 = 20 - 9,8 t = 5,1 \text{ m/s.}$$

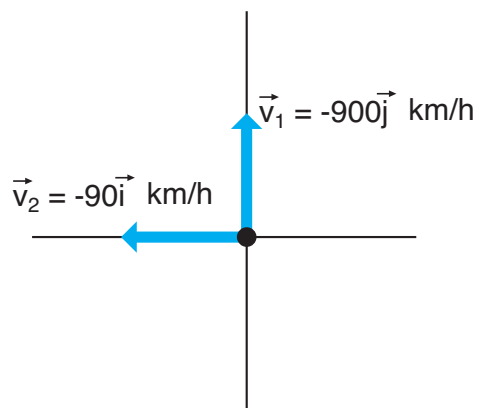
**A.23.**  $v_1 = 120 \text{ km/h.}$

$v_2 = 125 \text{ km/h.}$

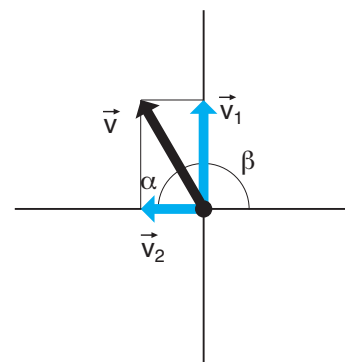
$v_3 = 115 \text{ km/h.}$

**A.24.**

$$\vec{v} = \vec{v}_2 + \vec{v}_1 = (-90 \vec{i} + 900 \vec{j}) \text{ km/h}$$



$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 = (-90\vec{i} + 900\vec{j}) \text{ km/h}$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{|\vec{v}_1|}{|\vec{v}_2|} = \frac{900}{90} = 10$$

$$\alpha = 84,3^\circ$$

$$\beta = 95,7^\circ$$

**A.25.**

$$\vec{v}_0 = (10 \sqrt{2} \vec{i} + 10 \sqrt{2} \vec{j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{r} = (10 \sqrt{2} \vec{i} + 10 \sqrt{2} \vec{j}) t - 4,9 \vec{j} t^2$$

$$\vec{r} = 10 t \vec{i} + (10 \sqrt{2} t - 4,9 t^2) \vec{j}$$

$$r_x = 10 \sqrt{2} t; \quad r_y = 10 \sqrt{2} t - 4,9 t^2$$

Se cumple que:

$$10 = 10 \sqrt{2} t; \quad t = 0,7 \text{ s}$$

Calculemos en ese instante a qué altura se encuentra:

$$r_y = 10 \sqrt{2} t - 4,9 t^2 = 10 \sqrt{2} \cdot 0,7 - 4,9 (0,7)^2$$

$$r_y = 7,5 \text{ m} < 8 \text{ m (no logra superar la valla).}$$

**A.26.**

x                      x                      x                      x                      x

x

x

x

x

x

x = avión.

x = paquete.

A.27. Ecuación del movimiento del paquete:

$$\vec{r} = 500 \vec{j} + 250 t \vec{i} - 4,9 t^2 \vec{j}$$

$$\vec{r} = 250 t \vec{i} + (500 - 4,9 t^2) \vec{j}$$

$$r_x = 250 t; r_y = 500 - 4,9 t^2$$

Cuando llegue al suelo  $r_y = 0$ :

$$0 = 500 - 4,9 t^2; t = 10,1 \text{ s.}$$

La distancia recorrida es:

$$r_x = 250 \cdot 10,1 = 2525 \text{ m.}$$

A.28. A igualdad de rapidez ( $v$ ), cuanto menor es el radio ( $r$ ), mayor es la rapidez angular ( $\omega$ ).

$$\text{A.29. } \Delta\theta = \omega \cdot t = 10 \cdot 600 = 6000 \text{ rad.}$$

$$\Delta s = \Delta\theta \cdot R = 6000 \cdot 0,15 = 900 \text{ m.}$$

$$\text{A.30. } \omega_0 = 500 \text{ rpm} = 16,6 \text{ p rad/s.}$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{0 - 16,6 \pi}{10} = -1,66 \pi \text{ rad/s}^2$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\Delta\theta = 16,6 \pi \cdot 10 - \frac{1,66}{2} \pi \cdot 100 = 83 \pi \text{ rad}$$

$$n.^\circ \text{ de vueltas} = 41,5.$$

A.31. Se trata de introducir esta aparente contradicción mediante su discusión con el alumnado.

$$\text{A.32. a) } \omega_0 = 500 \text{ rpm} = 16,6 \text{ p rad/s}$$

$$v_0 = \omega_0 \cdot R = 16,6 \text{ p} \cdot 0,12 = 6,26 \text{ m/s.}$$

$$\text{b) } a_n = \frac{v^2}{R} = 326,36 \text{ m/s}^2$$

$$\text{c) } \Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{0 - 16,6 \pi}{4} = -4,15 \pi \text{ rad/s}^2$$

$$\Delta\theta = 16,6 \pi \cdot 4 - \frac{4,15}{2} \pi \cdot 16 = 33,2 \pi \text{ rad}$$

$$n.^\circ \text{ de vueltas} = 16,6$$

## 4.2. SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Escalares: presión, temperatura, energía y masa.

Vectoriales: velocidad, aceleración, fuerza y desplazamiento.

$$2. \text{ a) } \Delta x = x_2 - x_1 = -30 \text{ m} - 20 \text{ m} = -50 \text{ m.}$$

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-50 \text{ m}}{10 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}$$

$$\text{b) } \Delta x = x_2 - x_1 = 70 \text{ m} - (-30 \text{ m}) = 100 \text{ m}$$

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

3. Movimiento uniforme: a, b, g, i y j.

Movimiento uniformemente acelerado: d, e, f y h.

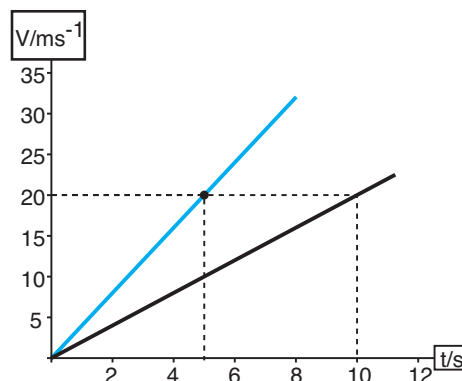
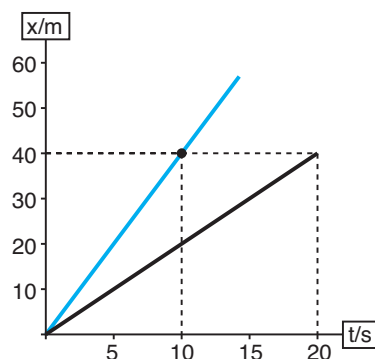
En las gráficas d, e y f, la pendiente de la recta es la aceleración.

En las gráficas g, i y j, la pendiente de la recta es la velocidad.

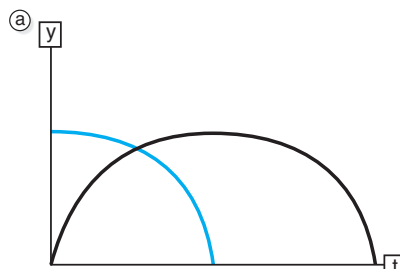
4. a) Doble.

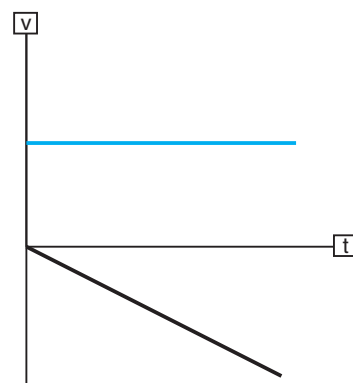
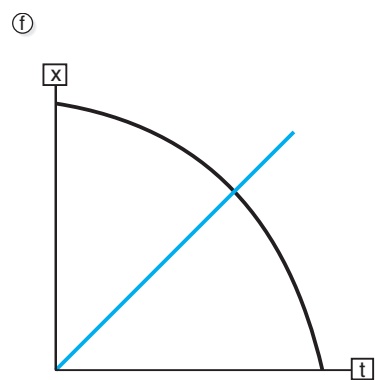
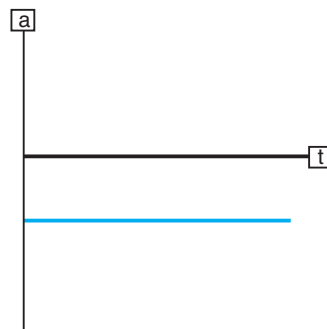
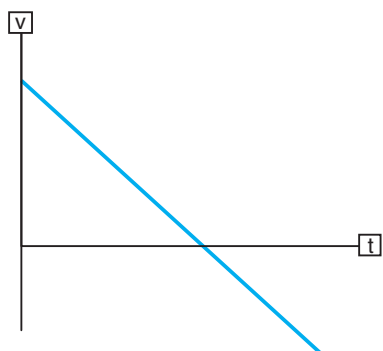
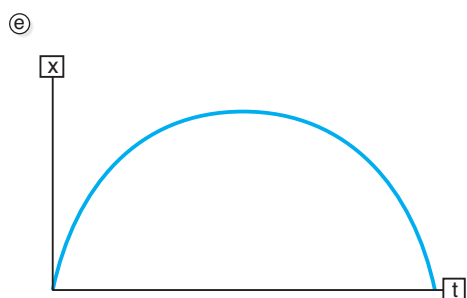
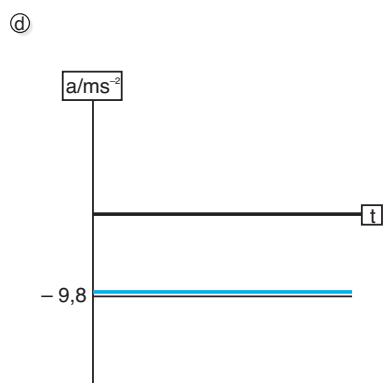
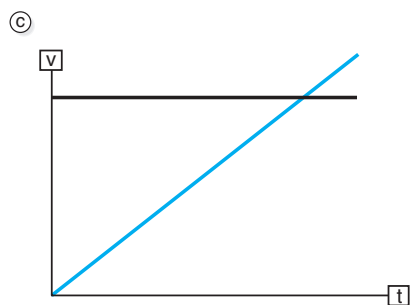
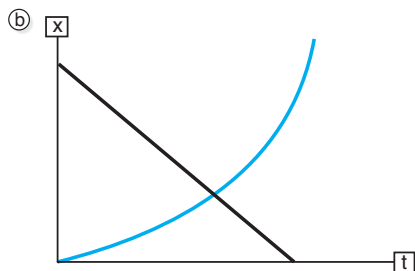
b) La tercera parte; la tercera parte.

5.



6.





7. a)

0 - 6 s: MUA.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{6 - 0} = \frac{25}{3} \text{ m/s}^2$$

6 - 10 s: MU.

$v = 50 \text{ m/s}$ .

10 - 20 s: MUA.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 50}{20 - 10} = -5 \text{ m/s}^2$$

b) 0 - 6 s:  $v = v_0 + a t$ ;

$$v_0 = 0; \quad a = \frac{25}{3} \text{ m/s}^2$$

$$v = \frac{25}{3} t$$



$$6 - 10 \text{ s: } v = 50 \text{ m/s.}$$

$$10 - 20 \text{ s: } v = v_0 + a t;$$

$$v_0 = 50 \text{ m/s; } a = -5 \text{ m/s}^2$$

$$v = 50 - 5 t.$$

c) En la ecuación:  $v = \frac{25}{3} t$ , si  $v = 20 \text{ m/s}$ , el valor de  $t$  es:  $t = 2,4 \text{ s}$ .

d) En la ecuación  $v = 50 - 5 t$ , si  $v = 20 \text{ m/s}$ , el valor de  $t$  es:  $t = 6 \text{ s}$ ; como  $t_0 = 10 \text{ s}$ , el tiempo total transcurrido es de  $16 \text{ s}$ .

$$e) 0 - 6 \text{ s: } \Delta x_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{25}{3} \cdot 6^2 = 150 \text{ m}$$

$$6 - 10 \text{ s: } \Delta x_2 = v \cdot t = 50 \cdot 4 = 200 \text{ m.}$$

$$10 - 20 \text{ s: } \Delta x_3 = 50 \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^2 = 250 \text{ m}$$

$$\Delta x_t = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = 150 + 200 + 250 = 600 \text{ m}$$

$$\Delta x_t = 600 \text{ m.}$$

#### 8. 0 - 5: MUA

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(20 - 60) \text{ m/s}}{(5 - 0) \text{ s}} = -8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta x_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta x_1 = 60 \cdot 5 + \frac{1}{2} (-8) \cdot 25 = 300 - 100 = 200 \text{ m}$$

$$5 - 15 \text{ s: MU}$$

$$v = 20 \text{ m/s.}$$

$$\Delta x_2 = v \cdot t = 20 \cdot 10 = 200 \text{ m.}$$

$$\Delta x_t = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 200 + 200 = 400 \text{ m.}$$

$$b) 0 - 5 \text{ s: MUA}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(50 - 0) \text{ m/s}}{(5 - 0) \text{ s}} = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta x_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 5^2 = 125 \text{ m.}$$

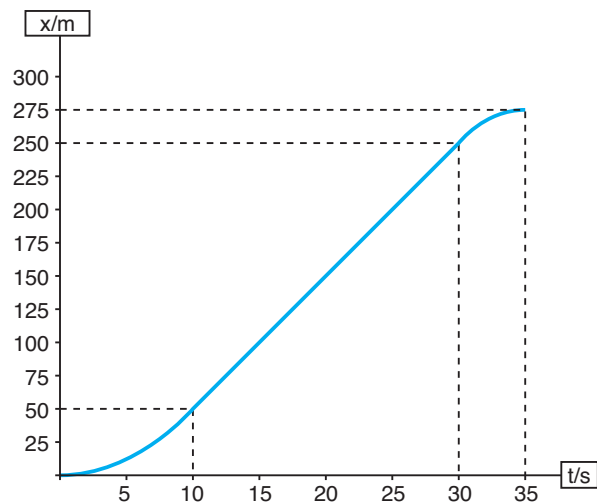
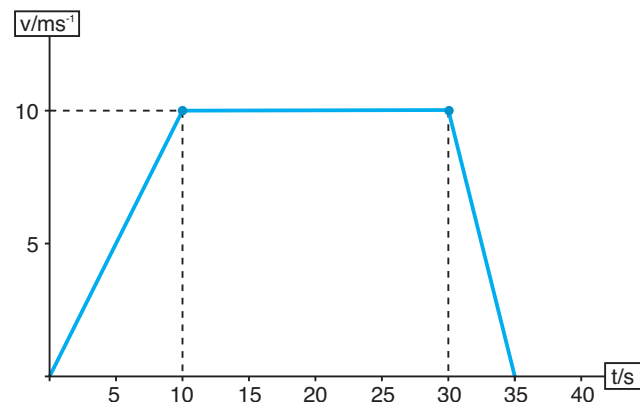
$$5 - 15 \text{ s: MU}$$

$$v = 50 \text{ m/s.}$$

$$\Delta x_2 = v \cdot t = 50 \cdot 15 = 750 \text{ m.}$$

$$\Delta x_t = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 125 + 750 = 875 \text{ m.}$$

#### 9. a)



$$b) x_1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 10^2 = 50 \text{ m.}$$

$$x_2 = 10 \cdot 20 = 200 \text{ m.}$$

$$x_3 = 10 \cdot 5 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 = 275 \text{ m.}$$

$$x_t = x_1 + x_2 + x_3 = 50 + 200 + 25 = 275 \text{ m}$$

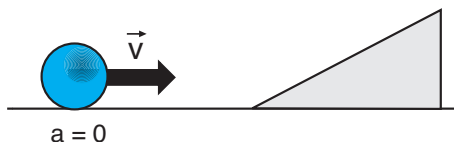
10. En la caída libre, la posición y la velocidad son independientes de la masa del cuerpo. Para ambos móviles, la correcta representación, tanto en la subida como en la bajada (por tratarse de un MRUA) es la siguiente:

1	2
x	x
x	x
x	x
x	x

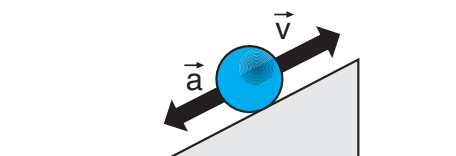


11.

Plano horizontal



Plano inclinado



12.  $g = -9,8 \text{ m/s}^2$

13. Cualquier movimiento curvilíneo.

En un movimiento circular uniforme, a pesar de que no cambia el módulo de la velocidad, sí que lo hace su dirección y sentido.

14. a) Falsa. La aceleración posee siempre el mismo valor:  $g = -9,8 \text{ m/s}^2$ .

b) Falsa. La posición de un cuerpo en caída libre es independiente de su masa.

c) Falsa. Existe una aceleración normal, cuyo valor se puede obtener de la expresión:

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

d)  $v = w \cdot R$ ;  $\omega = \frac{v}{R}$ ; a igualdad de  $v$ , cuanto mayor es el valor del radio,  $R$ , menor es la velocidad angular  $w$ .

e) Falsa. La pelota la recoge el jugador que la ha lanzado.

f) Falsa. La aceleración es constante.

g) Falsa. Por tratarse de un MUA, a intervalos de tiempo iguales recorre cada vez una mayor distancia.

15. a) Sí. En el punto más alto de la trayectoria de un objeto que ha sido lanzado verticalmente hacia arriba.

b) Rapidez.

c) Sí. Se trata de una situación análoga al movimiento de subida de un cuerpo, que ha sido lanzado verticalmente hacia arriba.

16.  $x = 20 t - 5 t^2$ .

Posición para  $t_1 = 1 \text{ s}$ :

$$x_1 = 20 \cdot 1 - 5 \cdot 1^2 = 15 \text{ m}$$

Posición para  $t_2 = 2 \text{ s}$ :

$$x_2 = 20 \cdot 2 - 5 \cdot 2^2 = 20 \text{ m}$$

Posición para  $t_3 = 3 \text{ s}$ :

$$x_3 = 20 \cdot 3 - 5 \cdot 3^2 = 15 \text{ m}$$

Posición para  $t_4 = 4 \text{ s}$ :

$$x_4 = 20 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 = 0 \text{ m}$$

Posición para  $t_5 = 5 \text{ s}$ :

$$x_5 = 20 \cdot 5 - 5 \cdot 5^2 = -25 \text{ m}$$

Se trata de un MUA

$$(v_0 = 20 \text{ m/s}; a = -10 \text{ m/s}^2).$$

Inicialmente, el móvil se aleja del origen, disminuyendo constantemente su velocidad. A partir del instante en el que  $v = 0$ , el móvil cambia de sentido:

$$v = v_0 + a t.$$

$$0 = 20 - 10 t; \quad t = 2 \text{ s}.$$

El móvil se aleja del origen hasta  $t = 2 \text{ s}$  ( $v = 0$ ;  $x_2 = 20 \text{ m}$ ). Posteriormente, cambia de sentido volviendo al origen ( $t = 4 \text{ s}$ ;  $x_4 = 0$ ), recorriendo en el siguiente segundo 25 m ( $x_5 = -25 \text{ m}$ ). Por tanto, la distancia total recorrida será de 65 m.

17.

$$\begin{array}{ll} x_{0A} = 0 & x_{0B} = 5000 \text{ m} \\ v_{0A} = 0 & v_{0B} = 0 \\ a_A = 0,5 \text{ m/s}^2 & a_B = 0,25 \text{ m/s}^2 \end{array}$$


Móvil A:

0 - 60 s: (MUA)

Posición:

$$x_A = x_{0A} + v_{0A} \cdot t + \frac{1}{2} a_A \cdot t^2$$

$$x_A = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 60^2 = 900 \text{ m}$$

Velocidad:

$$v_A = v_{0A} + a \cdot t$$

$$v_A = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ m/s}$$

60 - 90 s: (MU)

Posición:

$$x_A = x'_{0A} + v_A \cdot t$$

$$x_A = 900 + 30 \cdot 30 = 1800 \text{ m}$$

Velocidad constante:

$$v = 30 \text{ m/s.}$$

Móvil B:

0 - 90 s: (MUA)

Posición:

$$x_B = x_{0B} + v_{0B} \cdot t + \frac{1}{2} a_B \cdot t^2$$

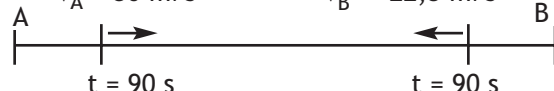
$$x_B = 5000 - \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 90^2 = 3987,5 \text{ m}$$

Velocidad:

$$v_B = v_{0B} + a_B \cdot t$$

$$v_B = -0,25 \cdot 90 = -22,5 \text{ m/s}$$

A partir de  $t = 90$  s, ambos móviles se mueven con un movimiento uniforme.

$$\begin{array}{ll} x_A = 1800 \text{ m} & x_B = 3987,5 \text{ m} \\ v_A = 30 \text{ m/s} & v_B = -22,5 \text{ m/s} \end{array}$$


Por tanto, a partir de  $t = 90$  s, las ecuaciones del movimiento de cada uno de los dos móviles son:

$$x_A = 1800 + 30 t$$

$$x_B = 3987,5 - 22,5 t$$

En el punto en el que ambos móviles se cruzan se cumple que:

$$x_A = x_B$$

$$1800 + 30 t = 3987,5 - 22,5 t$$

$$52,5 t = 2187,5$$

$$t = 41,6 \text{ s}$$

$$x_A = 1800 + 30 t = 1800 + 30 \cdot 41,6 = 3050 \text{ m}$$

$$x_B = 3987,5 - 22,5 t = 3987,5 - 22,5 \cdot 41,6 = 3050 \text{ m}$$

18. Se trata de un MUA.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 15}{10 - 0} = -1,5 \text{ m/s}^2$$

$$v = v_0 + a t = 15 - 1,5 t.$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 15 t - \frac{1}{2} \cdot 1,5 t^2$$

19. Suponemos que  $v_0 = 0$ ; si se trata de un MUA se cumplirá que  $x = \frac{1}{2} a t^2$ .

Al representar  $x = f(t)$ , obtenemos una parábola. Podemos calcular el valor de la aceleración representando  $x = f(t^2)$ ; se obtiene una recta cuya pendiente tiene el siguiente valor:  $\Delta x / \Delta t^2 = 1$ . Ya que se cumple

que:  $\frac{1}{2} a = \text{pendiente}$ , obtenemos finalmente

$$a = 2 \text{ m/s}^2.$$

20. A una velocidad de 25 m/s, en 0,5 s (antes de frenar) recorre una distancia de  $\Delta x = v \cdot t = (25 \text{ m/s}) (0,5 \text{ s}) = 12,5 \text{ m}$ .

Calculemos el tiempo adicional que tarda en detenerse. Ya que la velocidad final es nula, tenemos:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_F - v_0}{a} = \frac{(0 - 25) \text{ m/s}}{-4 \text{ m/s}^2} = 6,25 \text{ s}$$

En este tiempo, la distancia recorrida será:

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta x = 25 \cdot 6,25 + \frac{1}{2} (-4) \cdot (6,25)^2 = 78,125 \text{ m}$$

Por tanto, la distancia total recorrida hasta que se ha detenido ha sido:

$$12,5 + 78,125 = 90,625 \text{ m.}$$

En consecuencia, no se ha detenido antes de llegar a la posición del niño.

21. Un posible diseño implicaría medir velocidades instantáneas de forma que se pudiese construir una tabla de valores velocidad-tiempo. Si la representación de estos valores en una gráfica  $v = f(t)$  proporciona una recta, se tratará de un MUA. El valor de la aceleración se obtiene calculando la pendiente de la recta obtenida.

Un método alternativo, que no tiene el inconveniente de medir velocidades instantáneas, supone medir el tiempo que tarda el avión en alcanzar ciertas posiciones de la pista. De esta forma se puede construir una tabla de valores posición-tiempo. La representación  $x = f(t)$  proporcionará una parábola en el caso de que se trate de un MUA. Se puede determinar el valor de la aceleración representando  $x = f(t^2)$  y calculando el valor de la pendiente de la recta obtenida, ya que se cumple: pendiente =  $1/2 a$ ; es decir:  $a = 2 \cdot$  pendiente (recordaremos que ya que  $v_0 = 0$ , se cumple  $x = 1/2 a t^2$ ).

22.  $v_0 = 20 \text{ m/s.}$

$$x_0 = 0.$$

$$g = -9,8 \text{ m/s}^2$$

Ecuación de movimiento:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$x = 20 t - 4,9 t^2$$

Ecuación de la velocidad:

$$v = v_0 + g t$$

$$v = 20 - 9,8 t.$$

a) En el instante que alcanza la altura máxima,  $v = 0$ :

$$0 = 20 - 9,8 \cdot t; t = \frac{20}{9,8} = 2,04 \text{ s}$$

$$b) x = 20 \cdot 2,04 - 4,9 \cdot (2,04)^2 = 20,4 \text{ m.}$$

$$c) v = -20 \text{ m/s}$$

$$d) t = 4,08 \text{ s.}$$

Se obtienen los mismos resultados si  $m = 2 \text{ kg}$

23. Tomamos como origen de coordenadas la base del pozo.

Ecuación de movimiento:

$$y = 20 t - 4,9 t^2$$

Para  $y = 15 \text{ m}$ , obtenemos dos valores del tiempo, según la siguiente ecuación de segundo grado:

$$15 = 20 t - 4,9 t^2$$

$$4,9 t^2 - 20 t + 15 = 0$$

$t_1 = 0,99 \text{ s}$  y  $t_2 = 3,09 \text{ s}$ , por lo que el tiempo transcurrido es:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3,09 - 0,99 = 2,1 \text{ s.}$$

24. Tomamos como origen de coordenadas el punto desde el que se lanza el segundo cuerpo:

$$\text{pelota } P_1: y_1 = 50 - 4,9 t^2$$

$$\text{pelota } P_2: y_2 = 15 t - 4,9 t^2$$

En el punto en el que ambas pelotas tienen la misma posición ( $y_1 = y_2$ ) debe cumplir la siguiente igualdad:

$$50 - 4,9 t^2 = 15 t - 4,9 t^2$$

$$50 = 15 t; t = \frac{50}{15} = 3,3 \text{ s}$$

Calculemos la posición de ambos móviles para  $t = 3,3 \text{ s}$ :

$$y_1 = y_2 = -4,4 \text{ m}$$

Se trata de un punto situado 4,4 m por debajo del lugar de lanzamiento de la segunda pelota.

25. Ecuación del movimiento del saco:

$$y = y_0 + 3 t - 4,9 t^2$$

Cuando llegue al suelo:

$$y = 0$$

$$0 = y_0 + 3 \cdot 5 - 4,9 \cdot 5^2$$

$$y_0 = 107,5 \text{ m.}$$

26. Llegan con igual velocidad. La velocidad con la que llega la primera piedra al punto de lanzamiento es idéntica a la velocidad con la que se lanza la segunda.

27. Calculemos la posición de la segunda piedra cuando su velocidad sea de  $15 \text{ m/s}$ :

$$v_{F2} = v_{02} + g t_2$$

$$-15 = 9,8 t_2$$

$$t_2 = \frac{-15 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,53 \text{ s}$$

Transcurrido este tiempo, su posición será:

$$y_2 = y_{02} + v_{02} t + \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$y_2 = -4,9 t^2 = -4,9 \cdot (1,53)^2 = 11,47 \text{ m}$$

Calculemos ahora la posición de la primera piedra cuando han transcurrido 2,53 s:

$$y_1 = y_{01} + v_{01} t + \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$y_1 = -4,9 (2,53)^2 = -31,36 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia que separa a ambas piedras es:

$$y_2 - y_1 = -11,47 - (-31,36) = 19,89 \text{ m}.$$

28. La ecuación del movimiento de la piedra es:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = 20 t - 4,9 t^2$$

Calculemos el valor de t cuando y = 16 m:

$$16 = 20 t - 4,9 t^2$$

$$4,9 t^2 - 20 t + 16 = 0$$

Resolviendo se obtiene:

$$t_1 = 1,09 \text{ s y } t_2 = 2,98 \text{ s}$$

Subida:

$$v = v_0 + g t_1 = 20 - 9,8 \cdot 1,09 = 9,29 \text{ m/s}.$$

Bajada:

$$v = v_0 + g t_2 = 20 - 9,8 \cdot 2,98 = -9,29 \text{ m/s}.$$

29. Tomaremos como origen de coordenadas el punto de lanzamiento del paquete de café. La velocidad de lanzamiento del mismo es  $v_0$ . La ecuación de el movimiento del citado paquete es:

$$y = v_0 t - 4,9 t^2.$$

A partir de los datos del problema podemos plantear el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} y &= v_0 \cdot 0,69 - 4,9 (0,69)^2 \\ y &= v_0 \cdot 2,37 - 4,9 (2,37)^2 \\ y &= 0,69 v_0 - 2,33 \\ y &= 2,37 v_0 - 27,52 \end{aligned} \right\}$$

$$0,69 v_0 - 2,33 = 2,37 v_0 - 27,52$$

$$1,68 v_0 = 25,19$$

$$v_0 = 15 \text{ m/s}$$

Una vez conocida la velocidad de lanzamiento, la altura a la que se encuentra el cliente se calcula de forma inmediata:

$$y = 8,02 \text{ m}.$$

30. Se trata de un sistema inercial, por lo que si tomamos la posición inicial de las llaves  $y_0 = 0,80 \text{ m}$ ; la del suelo  $y = 0$  y la velocidad inicial de las llaves  $v_0 = 0$ , podemos escribir:

$$0 = 0,80 - 4,9 t^2$$

$$t = 0,4 \text{ s}$$

31. De nuevo, tomamos como posición inicial de las llaves  $y_{0L} = 0,80 \text{ m}$  y la del suelo del ascensor  $y_{0A} = 0 \text{ m}$ ; la velocidad inicial de las llaves y del suelo del ascensor es nula.

La aceleración de las llaves es:

$$a_L = -9,8 \text{ m/s}^2.$$

La del ascensor es:

$$a_A = 1 \text{ m/s}^2 \text{ (cuando sube).}$$

$$a'_A = -1 \text{ m/s}^2 \text{ (cuando baja).}$$

Podemos escribir por tanto:

#### LLAVES

$$y_L = y_{0L} + v_{0L} t + \frac{1}{2} a_L t^2$$

$$y_L = 0,8 - 4,9 t^2$$

#### ASCENSOR

$$y_A = y_{0A} + v_{0A} t + \frac{1}{2} a_A t^2$$

$$y_A = 0,5 t^2$$

En el momento en el que las llaves impacten con el suelo, se cumplirá:

$$y_L = y_A, \text{ es decir } 0,8 - 4,9 t^2 = 0,5 t^2.$$

Resolviendo:

$$t = \sqrt{\frac{0,8}{5,4}} = 0,38 \text{ s}$$

De forma análoga, cuando baja el ascensor con  $a = -1 \text{ m/s}^2$ , podemos escribir:

$$0,8 - 4,9 t^2 = -0,5 t^2.$$

Resolviendo:

$$t = \sqrt{\frac{0,8}{4,4}} = 0,42 \text{ s}$$

Si se rompe el cable:  $a_A = -9,8 \text{ m/s}^2$ , por lo que las llaves no llegan a tocar el suelo del ascensor durante la caída.

32. Vuelve a caer también a tus pies.

33. a) El tiempo que tarda en cruzar el río sólo depende de la velocidad de la lancha y no de la del río.

Por tanto podemos escribir:

$$125 = 0,83 t$$

$$t = 150 \text{ s.}$$

b) El tiempo será el mismo.

$$c) \operatorname{tg} a = \frac{3}{5} = 0,6.$$

$$a = 30^\circ 57' 47''.$$

d) La distancia recorrida río abajo, sólo depende de la velocidad de la corriente.

Por tanto, podemos escribir:

$$y = 1,38 \cdot 150 = 208,3 \text{ m.}$$

e) La distancia recorrida, río abajo, será la misma que en el apartado anterior.

$$34. \text{ a) } \vec{r}_0 = 20 \vec{j} \text{ m}$$

$$|\vec{v}_0| = 20 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_0 = (10\sqrt{3} \vec{i} + 10 \vec{j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{g} = -9,8 \vec{j} \text{ m/s}^2$$

Ecuación del movimiento:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

$$\vec{r} = 20 \vec{j} + (10\sqrt{3} \vec{i} + 10 \vec{j}) t - 4,9 \vec{j} t^2$$

$$\vec{r} = 10\sqrt{3} t \vec{i} + (20 + 10 t - 4,9 t^2) \vec{j}$$

La distancia recorrida viene dada por la ecuación:

$$r_x = 10\sqrt{3} t$$

Para calcular el valor de  $t$  hacemos uso del valor de  $r_y$  cuando impacta con el suelo ( $r_y = 0$ ):

$$r_y = 20 + 10 t - 4,9 t^2$$

$$0 = 20 + 10 t - 4,9 t^2$$

Resolviendo:

$$t = 3,28 \text{ s}$$

de donde obtenemos de forma inmediata el valor de  $r_x$ :

$$r_x = 10\sqrt{3} \cdot 3,28 = 56,81 \text{ m}$$

$$b) \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t$$

$$\vec{v} = (10\sqrt{3} \vec{i} + 10 \vec{j}) - 9,8 \vec{j} t$$

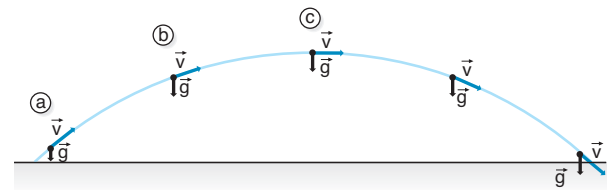
Si  $t = 2 \text{ s}$ :

$$\vec{v} = 10\sqrt{3} \vec{i} + 10 \vec{j} - 9,8 \vec{j} \cdot 2 =$$

$$= 10\sqrt{3} \vec{i} + 10 \vec{j} - 19,6 \vec{j}$$

$$\vec{v} = (10\sqrt{3} \vec{i} - 9,6 \vec{j}) \text{ m/s}$$

35.



36. Ecuación del movimiento del balón:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

$$\vec{r}_0 = 2,72 \vec{j} \text{ m}$$

$$\vec{v}_0 = v_{0x} \vec{i} + v_{0y} \vec{j}$$

$$v_{0x} = |\vec{v}_0| \cos 30^\circ = 8 \frac{\sqrt{3}}{2} = 4\sqrt{3}$$

$$v_{0y} = |\vec{v}_0| \sin 30^\circ = 8 \frac{1}{2} = 4$$

$$\vec{v}_0 = (4\sqrt{3} \vec{i} + 4 \vec{j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{g} = -9,8 \vec{j} \text{ m/s}^2$$

Por tanto, podemos escribir:

$$\vec{r} = 2,72 \vec{j} + (4\sqrt{3} \vec{i} + 4 \vec{j}) t - 4,9 \vec{j} t^2$$

Ordenando términos tenemos:

$$\vec{r} = 4\sqrt{3} t \vec{i} + (2,72 + 4 t - 4,9 t^2) \vec{j}$$

Es decir:

$$\vec{r} = 4\sqrt{3} t \vec{i} ; r_y = 2,72 + 4 t - 4,9 t^2$$

Calculemos el valor de  $t$  cuando  $r_x = 5 \text{ m}$ :

$$5 = 4\sqrt{3} t ; t = 0,72 \text{ s.}$$

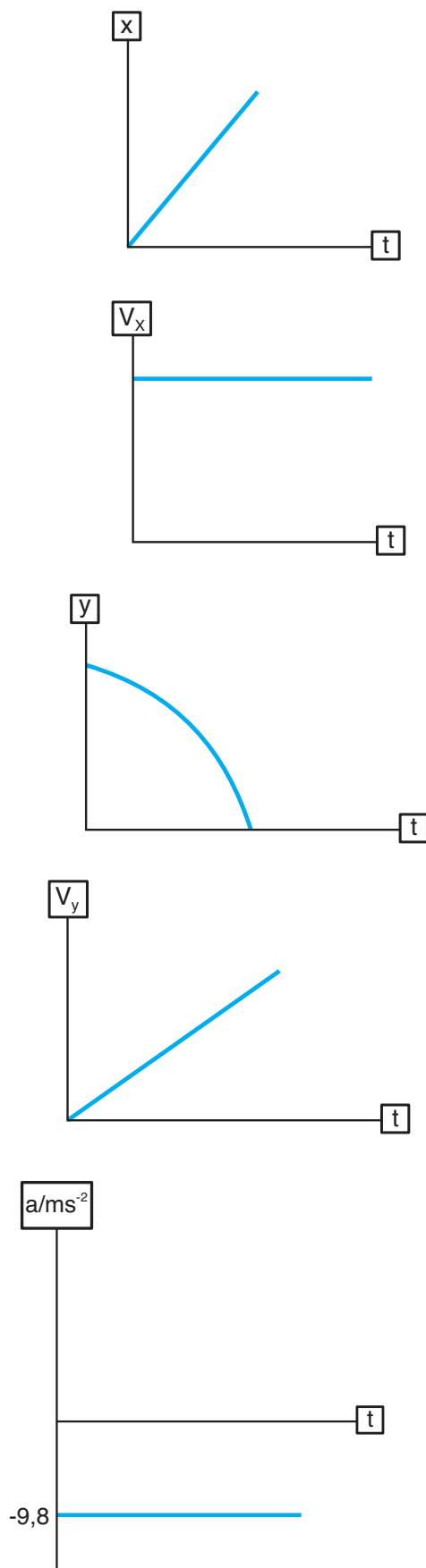
Calculemos el valor de  $r_y$  cuando  $t = 0,72 \text{ s}$ :

$$r_y = 2,72 + 4 \cdot 0,72 - 4,9 (0,72)^2$$

$$r_y = 3,05 \text{ m}$$

por lo que se produce canasta y gana el partido.

37.



38. Tardan el mismo tiempo en llegar al suelo. Ver figura 5.10.

41. Ecuación del movimiento:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

$$\vec{r} = |\vec{v}_0| \cos \alpha t \vec{i} + (|\vec{v}_0| \sin \alpha t - 4,9 t^2) \vec{j}$$

$$r_x = |\vec{v}_0| \cos 45^\circ t$$

$$r_y = |\vec{v}_0| \sin 45^\circ t - 4,9 t^2$$

Se cumple que cuando vuelve a tocar el suelo  $r_x = 8$  y  $r_y = 0$ , es decir:

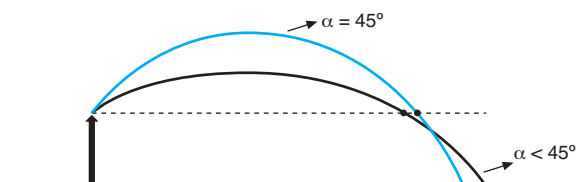
$$\left. \begin{aligned} 8 &= |\vec{v}_0| \frac{\sqrt{2}}{2} t & ; & \quad |\vec{v}_0| = \frac{16}{\sqrt{2} t} \\ 0 &= |\vec{v}_0| \frac{\sqrt{2}}{2} t - 4,9 t^2 \end{aligned} \right\}$$

$$0 = 8 - 4,9 t^2$$

$$4,9 t^2 = 8$$

$$t = \sqrt{\frac{8}{4,9}} = 1,27 \text{ s}$$

42. a) Sólo cuando el punto de lanzamiento y el punto de impacto se encuentran a la misma altura, el alcance es máximo si el ángulo de lanzamiento es de  $45^\circ$ . Cuando el punto de lanzamiento está elevado con respecto al punto de impacto, el alcance máximo se consigue para un ángulo inferior a  $45^\circ$ .



b) El alcance máximo responde a la siguiente ecuación:

$$r_x = |\vec{v}_0| \cos \alpha t$$

Si  $|\vec{v}_0|$  y  $\alpha$  se mantienen constantes, logrará un mayor alcance cuanto mayor sea el tiempo de vuelo.

La ecuación de la altura del móvil en función del tiempo es:

$$r_y = |\vec{v}_0| \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

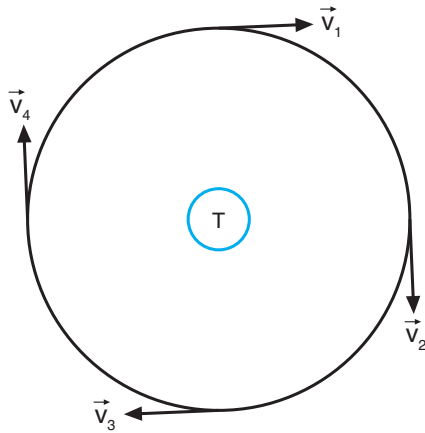
Cuando impacte con el suelo se cumplirá:

$$0 = |\vec{v}_0| \sin \alpha - \frac{1}{2} g t$$

$$t = \frac{2 |\vec{v}_0| \sin \alpha}{g}$$

Es decir, cuanto menor sea el valor de  $g$ , mayor será el tiempo de vuelo y por tanto, mayor será el alcance.

44. Si el movimiento no se produce en línea recta, existe aceleración, al cambiar la dirección y el sentido del vector velocidad.
- 45.



Se trata de un movimiento acelerado.

46.  $\omega_0 = 30 \text{ rpm} = \pi \text{ rad/s}$ .

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_F - \omega_0}{\Delta t} = \frac{(0 - \pi) \text{ rad s}^{-1}}{s} = -\frac{\pi}{10} \text{ rad s}^{-2}$$

$$\frac{\pi}{10} \text{ rad s}^{-2}$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\theta = \pi \cdot 10 + \frac{1}{2} \left( -\frac{\pi}{10} \right) \cdot 10^2 = 5 \pi \text{ rad}$$

$$n^\circ \text{ de vueltas} = 2,5.$$

47. a)

$$\omega = \frac{2\pi}{5} \text{ rad/s}$$

$$v_1 = \omega \cdot R_1 = \left( \frac{2\pi}{5} \right) \cdot 0,05 = 2\pi \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$v_2 = \omega \cdot R_2 = \left( \frac{2\pi}{5} \right) \cdot 0,09 = 3,6\pi \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

b)  $\theta = \omega \cdot t = \frac{2\pi}{5} \cdot 120 = 48 \pi \text{ rad}$

$$n^\circ \text{ de vueltas} = 24.$$

48.  $a_n = 8,70 \text{ m/s}^2$ .

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{a_n \cdot R} = \sqrt{8,70 (6370 + 400) \cdot 10^3}$$

$$v = 7674,6 \text{ m/s}.$$

b)  $v = \omega \cdot R$ .

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{7674,6}{6770000} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$$

c)  $\omega = \frac{\theta}{t}$

$$t = \frac{\theta}{\omega} = \frac{2\pi}{1,13 \cdot 10^{-3}} = 5542,6 \text{ s}$$

49. a)  $a_n = \frac{v^2}{R}$

Cuanto mayor es el valor de  $R$ , menor es la aceleración normal.

b)  $a_{n1} = \frac{v_1^2}{R}$

$$a_{n2} = \frac{v_2^2}{R} = \frac{(2v_1)^2}{R} = \frac{4 v_1^2}{R} = 4 a_{n1}$$

c)  $v_1 = 11,11 \text{ m/s}$ .

$$a_{n1} = \frac{(11,11)^2}{40} = 3,086 \text{ m/s}^2$$

$$v_2 = 22,22 \text{ m/s}.$$

$$a_{n2} = \frac{(22,22)^2}{40} = 12,345 \text{ m/s}^2$$

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

1. Ver resumen de la página 38 y A. 20.

2. a)  $v_0 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ .

$$y_0 = 0.$$

$$y_f = -15 \text{ m}.$$

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$-15 = 20 t - 4,9 a t^2$$

$$4,9 t^2 - 20 t - 15 = 0$$

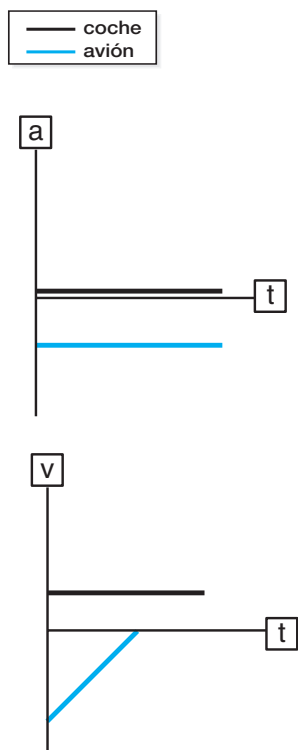
$$t = 4,72 \text{ s}.$$

b)  $v = v_0 + a t$

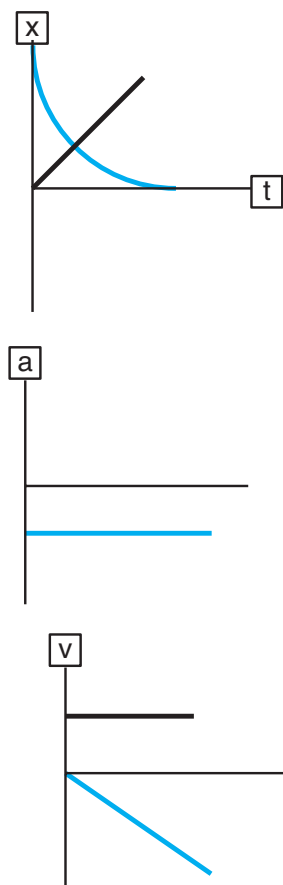
$$v = 20 - 9,8 t = -26,25 \text{ m/s}.$$



3. a)



b)



$$4. \quad |\vec{v}_0| = 34 \text{ km/h} = 9,4 \text{ m/s}$$

$$v_{0x} = |\vec{v}_0| \cos 40^\circ = 7,2 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = |\vec{v}_0| \sin 40^\circ = 6,1 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_0 = (7,2 \vec{i} + 6,1 \vec{j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

$$\vec{r} = (7,2 \vec{i} + 6,1 \vec{j}) t - 4,9 \vec{j} t^2$$

$$\vec{r} = 7,2 t \vec{i} + (6,1 t - 4,9 t^2) \vec{j}$$

$$\begin{cases} r_x = 7,2 t \\ r_y = 6,1 t - 4,9 t^2 \end{cases}$$

a) Distancia de salto:  $r_x = 7,2 t$ ; para calcular el valor de  $t$ :  $r_y = 0$ .

$$0 = 6,1 - 4,9 t^2$$

$$t = 1,1 \text{ s.}$$

$$r_x = 7,2 \cdot 1,1 = 7,92 \text{ m.}$$

b) Altura máxima.

En ese punto se cumple que  $v_y = 0$ :

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

$$\vec{v} = (7,2 \vec{i} + 6,1 \vec{j}) - 9,8 \vec{j} t =$$

$$= 7,2 \vec{i} + (6,1 - 9,8 t) \vec{j}$$

$$\begin{cases} v_x = 7,2 \\ v_y = 6,1 - 9,8 t \end{cases}$$

Calculamos el valor de  $t$  en el punto de altura máxima:

$$0 = 6,1 - 9,8 t$$

$$t = 0,6 \text{ s.}$$

El valor de la altura máxima lo obtenemos a partir de  $r_y$ :

$$r_y = 6,1 t - 4,9 t^2$$

$$r_y = 6,1 \cdot 0,6 - 4,9 (0,6)^2$$

$$r_y = 1,89 \text{ m.}$$

$$5. \quad \omega = 60 \text{ rpm} = 2 \pi \text{ rad/s.}$$

$$a) \quad v = \omega \cdot R = 2 \pi \cdot 0,15 = 0,3 \pi \text{ m/s.}$$

$$b) \quad \omega_F = 0.$$

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{0 - 2\pi}{10} = -\frac{\pi}{5} \text{ rad/s}^2$$

$$\Delta \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\Delta \theta = 2\pi \cdot 10 - \frac{\pi}{10} \cdot 10^2 = 10 \pi \text{ rad}$$

$$n^\circ \text{ de vueltas} = 5.$$

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Interpretar gráficas  $x = f(t)$ ,  $v = f(t)$  y  $a = f(t)$  de situaciones reales que correspondan a movimientos uniformes y uniformemente acelerados.
2. Representar las gráficas  $x = f(t)$ ,  $v = f(t)$  y  $a = f(t)$  de movimientos de la vida real (uniformes y uniformemente acelerados).
3. Resolver problemas que correspondan a distintas situaciones cinemáticas en la caída libre.
4. Resolver situaciones cinemáticas que supongan la superación de concepciones aristotélicas (ejemplos: situaciones en las que sólo cambie la masa de los cuerpos; dibujo de los vectores aceleración y velocidad en diferentes instantes; marcar con cruces la posición de móviles distintos a intervalos de tiempo iguales, etc.).
5. Saber utilizar las distintas ecuaciones cinemáticas para resolver problemas reales sencillos (ejemplos: calcular la distancia de frenado; cruce de móviles que se mueven en sentidos opuestos, etc.).
6. Calcular el alcance y la altura en un movimiento parabólico; aplicación a situaciones de la vida diaria.
7. Conocer la contribución de Galileo al nacimiento de la física moderna.

## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

En función de las capacidades a desarrollar y de los criterios de evaluación indicados, se proponen las siguientes actividades ilustrativas de posibles ejercicios para la evaluación final del tema.

1. Un móvil que se mueve en línea recta con una velocidad inicial de 30 m/s posee una aceleración de  $-2 \text{ m/s}^2$ .
  - a) Escribe la ecuación del movimiento y la de la velocidad.
  - b) Representa  $x = f(t)$  y  $v = f(t)$ .
  - c) Calcula su posición y velocidad en los siguientes instantes: 1)  $t = 10 \text{ s}$ ; 2)  $t = 15 \text{ s}$ ; 3)  $t = 20 \text{ s}$ .
2. Se lanzan verticalmente hacia arriba dos objetos de masas  $m_1 = 1 \text{ kg}$  y  $m_2 = 10 \text{ kg}$  con la misma velocidad inicial. Dibuja para cada uno de ellos, de forma relativa, las trayectorias que siguen y, sobre ellas, representa los vectores velocidad y aceleración en cada uno de los siguientes casos: a) cuando empiezan a subir; b) poco después de haber sido lanzados; c) cuando alcanzan el punto de altura máxima; d) cuando empiezan a bajar; e) cuando alcanzan de nuevo el punto de lanzamiento.
3. Una de las piezas propulsoras de un cohete se desprende cuando éste está subiendo verticalmente hacia arriba con una velocidad de 300 km/h cuando se encuentra a una altura de 500 m. Calcula el tiempo que tarda la citada pieza en llegar al suelo y la velocidad con la que lo hace.
4. Un helicóptero que se mueve con trayectoria paralela al suelo a una velocidad de 200 km/h y que se encuentra a una altura de 200 m deja caer un paquete de víveres cuando se encuentra sobre el punto en el que en el suelo están esperando las provisiones. Calcula el tiempo que tarda en caer el paquete y la distancia del objetivo a la que impactará sobre el suelo.
5. Se puede considerar que el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra es circular uniforme. Sabiendo que nuestro satélite tarda 28 días en dar un vuelta completa a la Tierra y que se encuentra a una distancia media de 284 000 km, calcula, en unidades del SI, su rapidez angular y lineal, así como su aceleración angular.

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRÁFICOS DE CONSULTA

### Programas de vídeo

*Fuerza y fricción. Gravedad.* Colección El ojo científico. Metrovideo.

En estos programas, como en todos los de la colección *El ojo científico*, el locutor va haciendo preguntas animando a los oyentes a aplicar sus conocimientos a problemas reales.

*Las cosas se mueven, I y II.* Didascalía. (30').

Con un nivel elemental, se presentan las variables que intervienen en el movimiento y los tipos de movimiento.

*Fuerzas y movimiento.* Colección de 7 programas. Áncora.

Pueden seleccionarse algunos fragmentos para ilustrar conceptos contenidos en esta UD.

*Física II.* San Pablo Films. (25').

La primera parte del programa trata con sencillez el carácter relativo del movimiento, los tipos de movimiento y la fuerza. La segunda parte ya trata del trabajo, la potencia y la energía.

*La ley de la caída de los cuerpos.* Arait Multimedia. (27').

Este programa, como los dos siguientes, pertenece a la conocida serie "El universo mecánico y más allá". Por ello, su calidad científica y visual es muy buena y aunque el nivel científico puede ser algo elevado para este curso, siempre se pueden seleccionar fragmentos muy interesantes.

Contenido: Caída libre con y sin rozamiento, aportaciones de Leonardo y Galileo, ecuaciones del movimiento, velocidad, aceleración, concepto de derivada.

*La ley de la inercia.* Arait Multimedia. (28').

Contenido: Galileo, Copérnico y las lunas de Júpiter. La ley de la inercia y Descartes. La caída de un objeto y el proceso a Galileo.

*Las leyes de Newton.* Arait Multimedia. (28').

Contenido: Fuerza, aceleración, peso. La inercia. cantidad de movimiento. Acción y reacción. Trayectoria de proyectiles.

*Lleis de Newton.* Open University. (25'). En catalán.

Contenido: Caída de los cuerpos y rozamiento. Segunda ley de Newton. Acción mutua entre masas. Cohetes. Choques. Objetos en órbita.

### Libros

AUTORES VARIOS, 1993. *Fuerzas y movimiento.* Col. Ciencia visual. Altea. Madrid.

BAIG, A. y AGUSTENCH, M., 1987. *La revolución científica en los siglos XVI y XVII.* Col. BREDA. Alhambra. Barcelona.

BELTRÁN, A., 1983. *Galileo: el autor y su obra.* Barcano-va. Barcelona.

Biblioteca Salvat de Grandes Biografías: *Galileo.* nº 40. Madrid/Barcelona.

CASSIDY, D.; HOLTON, G. y RUTHERFORD, J. 2002. *Understanding Physics.* Springer. New York.

COHEN, I.B., 1983. *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas.* Alianza. Madrid.

GALILEI, G. *Consideraciones y demostraciones sobre dos nuevas ciencias.* Editora Nacional. Madrid, 1981.

GALILEI, G. *Diálogos sobre los dos sistemas máximos.* Alianza. Madrid.

GIANCOLI, D.C. 1991. *Física.* Preutice-Hall. México.

GRUP RECERCA-75. *Forces i moviment.* ICE Universitat Politècnica de Barcelona.

HARMAN, P.M. 1987 *La revolución científica.* Crítica. Barcelona.

HOLTON, G. y BRUSH, S. 1981. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas.* Reverté. Barcelona.

HOLTON, G. y BRUSH, S. 2001. *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond.* Rutgers University Press. New Brunswick.

MacLACHLAN, J. 1997. *Galileo Galilei. First Physicist.* Oxford University Press. Oxford.

PSSC . *Física.* Reverté. Barcelona, 1975.

SEARS, F.W. ; ZEMANSKY, M.W. y YOUNG, H.D. 1988. *Física universitaria.* Addison-Wesleg. Wilmington

TIPLER, P.A. 1999. *Physics for scientists and engineers.* Freeman. Nueva York.

TRUEDELL, C., 1975. *Ensayos de la historia de la mecánica.* Tecnos. Madrid.

## Artículos

ACEVEDO, J.A. y otros, 1989. Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 7 (1), págs. 27-34.

AZCÁRATE, C., 1984. La nueva ciencia del movimiento de Galileo: una génesis difícil. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol.2,3, pp.203-209.

CARRASCOSA, J. y GIL, D., 1992. Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 10, 3, pp. 314-328.

CASADELLÁ, J. y BIBILONI, M., 1985. La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las difi-

cultades de su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, pp.217-224.

HEWSON, P.W., 1990 La enseñanza de “Fuerza y movimiento” como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol.8,2, pp.175-172.

LABURU, C.E. y PESSOA, A.M., 1992. Investigación del desarrollo y aprendizaje de la noción de aceleración en adolescentes. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol.10,1, pp.63-72.

SEBASTIÁ, J.M., 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2,3, pp. 161-169.

# DINÁMICA

# 3

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

El tema ha sido estructurado en tres bloques generales o ejes conceptuales:

- En primer lugar establecemos el **concepto de fuerza** como una consecuencia de la **interacción entre cuerpos**. Para ello, iniciamos el bloque con una lectura sobre la evolución del concepto de fuerza a lo largo de la historia; con ello planteamos un recurso didáctico que permita desarrollar una reflexión en el grupo clase sobre las concepciones alternativas propias y las visiones que fueron históricamente construidas y superadas. Consideremos que es conveniente incidir en el concepto de **fuerza como una magnitud descriptiva de la interacción entre cuerpos**, y no como una propiedad independiente de cada cuerpo, y por tanto no acumulable.

Otro aspecto a estudiar es el **carácter vectorial de la fuerza** como rasgo distintivo frente a otras magnitudes escalares como la masa y la energía, que puede dar lugar a ciertas confusiones habituales en el alumnado (asociar fuerza a los cuerpos en vez de energía o no diferenciar masa y peso). Las características vectoriales de la fuerza se exponen explicando la determinación de su valor (dinamómetros), su representación (vectores) y el cálculo de la fuerza resultante de un sistema de fuerzas (suma vectorial de fuerzas).

- En segundo lugar, **caracterizamos el estado de movimiento** de los cuerpos introduciendo y explicando el concepto de la **magnitud vectorial cantidad de movimiento**.

- Por último, asociamos la **acción de las fuerzas** sobre los cuerpos (causa) con el **cambio de su estado de movimiento** (efecto), analizando las tres leyes de Newton. La primera ley se enuncia de modo que evitemos asociar la masa de los cuerpos con la inercia (propiedad por la que un cuerpo mantiene su estado de movimiento a menos que sea obligado a variarla por una acción externa), en la segunda ley establecemos la relación entre el efecto (cambios del estado de movimiento) y la causa (fuerzas exterior resultante), y por último en la tercera ley insistimos en el concepto de interacción con el objetivo de relacionar las fuerzas que aparecen sobre los cuerpos que interaccionan, aspecto analizado en la lectura: ¿Pueden los cuerpos acelerarse a sí mismos?

Este planteamiento general se acompaña del estudio de los tres tipos de fuerzas (peso, tensión y fuerza de rozamiento) más frecuentes en los sistemas dinámicos a estudiar. Merece especial atención el estudio de la fuerza de rozamiento, en el que explicamos su origen como una fuerza de contacto (de naturaleza electromagnética), y exponemos un estudio experimental que permite establecer una fórmula operativa para su cálculo, delimitando la validez de la fórmula a casos de deslizamientos entre sólidos. También hemos insistido en el cálculo y representación de la fuerza de rozamiento en sistemas con sólidos que deslizan.

La aplicación de las leyes de Newton a sistemas dinámicos se explica diferenciando tres posibles situaciones:

- Existe una fuerza resultante constante que actúa de forma indefinida sobre los cuerpos. En este caso exponemos dos ejemplos (ejemplos 10 y 11) conjuntamente con una tabla que establece unas pautas de resolución para este tipo de problemas. Un caso de especial interés es cuando la fuerza resultante es perpendicular a la dirección de la velocidad, denominada centrípeta. En cuyo caso deberemos diferenciar las fuerzas reales, originadas por las interacciones con otros cuerpos, de la fuerza resultante (centrípeta) responsable del cambio de dirección del cuerpo.

- Existe una fuerza resultante que sólo actúa un corto intervalo de tiempo sobre el cuerpo. Esta situación se estu-

dia introduciendo el concepto vectorial de impulso mecánico, explicando su importancia para poder interpretar ciertas situaciones reales que impliquen la acción de fuerzas instantáneas.

- No existe fuerza resultante sobre el sistema. En ese caso se verifica el principio de conservación de la cantidad de movimiento. Debido a la importancia de dicho principio, se ha explicado su aplicación a diferentes situaciones y la interpretación de ciertos fenómenos (retroceso de armas, determinación de la rapidez...) usando el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

## 2. CONTENIDOS

### 1. Concepto de fuerza

- Evolución histórica del concepto de fuerza; ¿por qué se mueven los cuerpos?
- Carácter vectorial de la fuerza; ¿cómo representar las fuerzas?

### 2. Cálculo de las fuerzas

- Medida del valor de las fuerzas.
- Diagrama puntual de fuerzas.
- Cálculo de la fuerza resultante de un sistema de fuerzas.

### 3. La cantidad de movimiento

### 4. Las leyes de la dinámica: leyes de Newton

- Primera ley de Newton: principio de inercia.
- Segunda ley de Newton: principio fundamental de la dinámica.
- Tercera ley de Newton: relación entre cuerpos que interaccionan.

### 5. Estudio de diferentes tipos de fuerzas

- La fuerza peso.
- La tensión.
- La fuerza de rozamiento entre sólidos que deslizan.

### 6. Aplicación de las leyes de Newton a situaciones dinámicas

### 7. La fuerza en movimientos circulares: concepto de fuerza centrípeta

### 8. Concepto de la magnitud vectorial impulso mecánico

### 9. Principio de conservación de la cantidad de movimiento

- Enunciado y análisis del principio.
- Aplicación del principio.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Asociar la fuerza a una consecuencia de la interacción entre cuerpos.</div> <div>2. Reconocer el carácter vectorial de la fuerza.</div> <div>3. Comprender que en las situaciones de equilibrio existen fuerzas aplicadas que se compensan entre sí.</div> <div>4. Comprender la definición de cantidad de movimiento.</div> <div>5. Enunciar y explicar el significado de las tres leyes de Newton.</div> <div>6. Asumir que en toda interacción hay implicadas dos fuerzas opuestas, actuando cada una sobre un cuerpo distinto.</div> <div>7. Identificar la fuerza como causa de los cambios del estado de movimiento.</div> <div>8. Comprender el significado de la ley de gravitación universal.</div> <div>9. Reconocer el origen y las características de la fuerza de rozamiento entre sólidos.</div> <div>10. Comprender el concepto de impulso mecánico.</div> <div>11. Comprender el significado e importancia del principio de conservación de la cantidad de movimiento.</div>	<div>1. Representar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo realizando diagramas de fuerzas.</div> <div>2. Calcular la fuerza resultante de un sistema de fuerzas aplicando el cálculo vectorial.</div> <div>3. Calcular la cantidad de movimiento de un sistema teniendo en cuenta que es vectorial.</div> <div>4. Elaborar estrategias de resolución de problemas en los que tengamos que aplicar la segunda ley de Newton.</div> <div>5. Diseñar experimentos donde sea necesario hacer control de variables, para comprobar las leyes de Newton o los factores que influyen en el rozamiento.</div> <div>6. Calcular la fuerza peso de un cuerpo en distintas situaciones.</div> <div>7. Representar y calcular la fuerza de rozamiento entre sólidos que deslizan.</div> <div>8. Aplicar el concepto de impulso para realizar estimaciones cualitativas y cuantitativas de las magnitudes implicadas en interacciones instantáneas.</div> <div>9. Establecer en qué condiciones se verifica el principio de conservación de la cantidad de movimiento.</div> <div>10. Aplicar el principio de conservación de la cantidad de movimiento a sistemas simples.</div> <div>11. Explicar fenómenos corrientes usando el principio de conservación de la cantidad de movimiento.</div>	<div>1. Reconocer la importancia de los modelos y de su contrastación con hechos empíricos.</div> <div>2. Valorar la coherencia en las explicaciones que dan las teorías científicas capaces de interpretar fenómenos aparentemente muy diferentes.</div> <div>3. Motivar al alumnado en la búsqueda de información histórica de las explicaciones científicas.</div> <div>4. Valorar el proceso de diseño de experimentos y de discusión de resultados en el trabajo científico.</div> <div>5. Propiciar la observación y la interpretación de los fenómenos dinámicos que ocurren en nuestro entorno.</div>



## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** Actividad propuesta para comprobar si el alumnado asocia la fuerza con el movimiento del cuerpo sobre el que actúa.

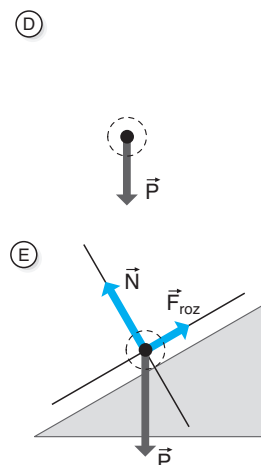
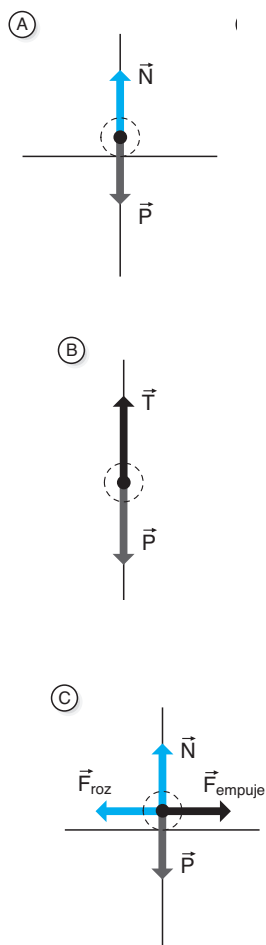
**A.2.** El preconcepto de fuerza como causa del movimiento lleva a responder “verdadero” en algunos de los apartados.

a) Falsa; podemos poner como ejemplo un cuerpo que se mueve a velocidad constante.

b) Falsa; así por ejemplo en la trayectoria parabólica de un proyectil la fuerza va dirigida hacia el centro de la Tierra mientras que la trayectoria es curva.

c) Falsa; como ejemplo podemos citar el lanzamiento vertical de un cuerpo, cuando alcance la máxima altura su velocidad será nula y sin embargo sobre él sigue actuando la fuerza peso.

**A.3.** El objetivo de la actividad es identificar las fuerzas como consecuencia de las interacciones entre cuerpos. Los diagramas solicitados pueden representarse de la siguiente forma:



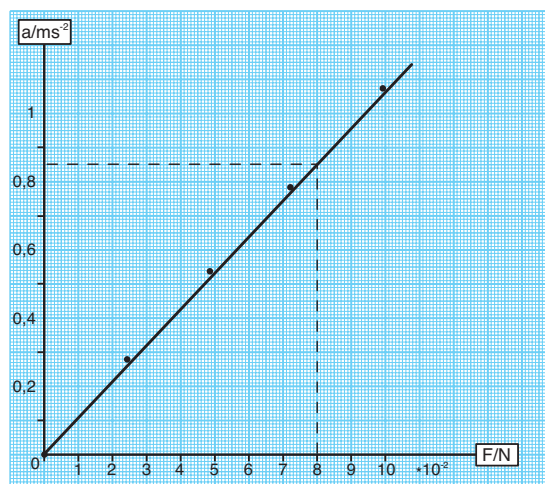
**A.4.** El efecto del impacto depende la masa y de la velocidad de la bola. Para bolas de igual masa el efecto será tanto más considerable cuanto mayor sea la velocidad, y para bolas con igual velocidad el efecto se incrementará con su masa.

**Experimento 1.** El experimento de Atwood

a) Completar la tabla:

F/ N	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$7,35 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$
a / ms <sup>-2</sup>	0,28	0,53	0,78	1,06

b) La aceleración del sistema es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre el sistema.



Ecuación general: puesto que obtenemos una línea recta que pasa por el origen, establecemos la ecuación:

$$a = \text{cte} \cdot F$$

Cálculo de la pendiente:

$$\text{cte} = \frac{(0,85 - 0) \text{ m / s}^2}{(8 \cdot 10^{-2} - 0) \text{ N}} = 10,62(1 / \text{kg})$$



c) La masa total del sistema obtenemos calculando la pendiente de la gráfica ( $10,62 \text{ kg}^{-1}$ ) y comparando con la expresión  $a = F / m$ , obtenemos que  $m = 0,094 \text{ kg} = 94 \text{ g}$ .

d) La fuerza necesaria para que el sistema posea esta aceleración es de  $0,094 \text{ N}$ , y ello corresponde a un  $\Delta m = 9,6 \text{ g}$ .

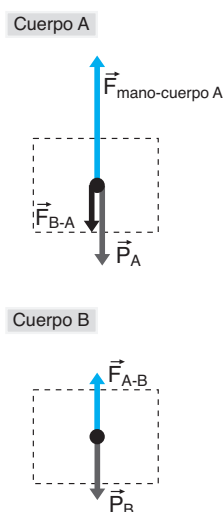
**A.5.** La constante de la ecuación depende de la masa del cuerpo sobre el que aplicamos la fuerza. Una situación cotidiana que corresponde a una fuerza de  $1 \text{ N}$  sería, por ejemplo, el soportar el peso de  $100 \text{ g}$  (aproximadamente el peso de un huevo).

A partir de la fórmula  $|\vec{F}_e| = m \cdot |a|$  podemos definir el **Newton** como: un Newton equivale al valor de la fuerza resultante que aplicada a un cuerpo libre de  $1 \text{ kg}$  de masa le proporciona una aceleración constante de valor  $1 \text{ m/s}^2$ .

**A.6.** Cuando la niña y el hombre interaccionan experimentan simultáneamente una fuerza, cada uno de ellos, de igual módulo y dirección pero de sentidos opuestos. Puesto que el efecto de una fuerza depende de la masa del cuerpo sobre el que actúa, cabe suponer que la niña experimentará una mayor aceleración, por ser menor su masa

**A.7.** Actividad de revisión y recapitulación, que sirve para valorar el nivel de asimilación de los conceptos explicados, y evaluar la evolución de las ideas iniciales del alumnado.

**A.8.**

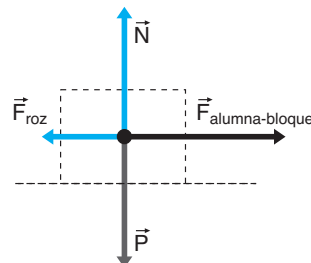


Estimación de los módulos, suponiendo que los cuerpos se encuentran en equilibrio:

$$\left. \begin{array}{l} F_{AB} = P_B \\ F_{AB} = F_{BA} \\ F_{\text{mano-A}} = F_{BA} + P_A \\ F_{\text{mano-A}} = P_B + P_A \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Equilibrio cuerpo B} \\ \text{Fuerzas de interacción} \\ \text{Equilibrio cuerpo A} \end{array}$$

**A.9.** Aplicando el concepto de interacción entre la alumna y el bloque establecemos que el bloque realiza sobre la niña una fuerza de igual dirección, del mismo valor ( $180 \text{ N}$ ) y de sentido opuesto.

El diagrama de fuerzas es:



Fuerza	Interacción
$\vec{F}_{\text{roz}}, \vec{N}$	Superficie-cuerpo
$\vec{P}$	Tierra-cuerpo
$\vec{F}_{\text{alumna-bloque}}$	Alumna-cuerpo

**A.10.** Actividad propuesta para verificar si los alumnos y alumnas comprenden el concepto de interacción.

**A.11.** Considerando el sistema atleta - planeta sólo actúa la interacción gravitatoria entre ellos. Y en consecuencia sobre el atleta sólo actúa la  $\vec{F}_{\text{planeta-atleta}}$  y sobre el planeta  $\vec{F}_{\text{atleta-planeta}}$ . Estas dos fuerzas siempre tienen la misma dirección, línea que los une, sentidos opuestos puesto que son de atracción y están aplicadas una al centro del planeta y la otra al atleta; y de idéntico valor.

**A.12.** La única fuerza que actúa sobre el cuerpo en caída libre es la fuerza de atracción gravitatoria. Esta fuerza la establece la ley de gravitación universal:

$$\vec{F} = -G \frac{M_p \times m}{r^2} \vec{j}$$

Siendo  $r = R_p + h$ , suponiendo que  $h \ll R_p$  (situación lógica) establecemos que  $r = R_p$ .

En la caída del cuerpo debe verificarse la segunda ley de Newton:

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = -G \frac{M_p \times m}{R_p^2} \vec{j} = m \times \vec{a}_{\text{calda}}$$

Despejando la aceleración de caída establecemos:

$$\vec{a}_{\text{calda}} = -G \frac{M_p}{R_p^2} \vec{j} = \vec{g}_{\text{planeta}}$$

Al analizar la expresión podemos comprobar que la aceleración de caída no depende de la masa del cuerpo que cae.

**A.13.** a) El valor de la fuerza peso viene proporcionado por la ley de gravitación universal, aplicándola a las dos situaciones de referencia obtenemos:

Situación 1: Superficie de la Tierra ( $r = R_T$ )

$$\vec{F}_1 = -\frac{M_T \times m}{R_T^2} \vec{j}$$

Situación 2: Satélite en órbita ( $r = R_T + h$ )

$$\vec{F}_2 = -G \frac{M_p \times m}{r^2} \vec{j}$$

Si dividimos ambas expresiones para establecer la relación, obtenemos:

$$\frac{F_1}{F_2} = \left( \frac{r}{R_T} \right)^2$$

Puesto que  $r = 10\,368\text{ km}$  y  $R_T = 6378\text{ km}$ , la relación entre ambos peso es:

$$\vec{P}_{\text{superficie}} = 2,64 \cdot \vec{P}_{\text{órbita}}$$

b) La interacción entre la Tierra y el satélite da lugar a dos fuerzas con las siguientes características:

- Distinto punto de aplicación, una actúa sobre el satélite y la otra sobre el centro de la Tierra.
- La misma dirección (línea que une el centro de la Tierra con el satélite) y sentidos opuesto (son fuerzas de atracción).
- El mismo valor que se calcula aplicando la ley de gravitación universal:

$$|\vec{F}_{T-s}| = |\vec{F}_{s-T}| = G \frac{M_T \times m}{r^2}$$

Como no sabemos el valor de  $G$ , hacemos uso del valor de la gravedad en la superficie terrestre estableciendo:

$$G \times M_T = g_0 \times R_T^2$$

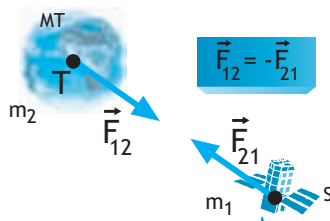
Por tanto:

$$|\vec{F}_{T-s}| = |\vec{F}_{s-T}| = \frac{g_0 \times R_T^2 \times m}{r^2}$$

Substituyendo valores obtenemos:

$$|\vec{F}_{T-s}| = |\vec{F}_{s-T}| = 9094,7\text{ N}$$

La fuerzas de interacción son representadas en el siguiente dibujo:



**A.14.** En primer lugar debemos determinar la velocidad con que llega a la base del plano. Para ello realizamos un estudio dinámico de la caída por el plano inclinado. El cuerpo en su caída está sometido a la acción de tres fuerzas: el peso ( $\vec{P}$ ), la normal ( $\vec{N}$ ) y la fuerza de rozamiento ( $\vec{F}_{roz}$ ). Si descomponemos las fuerzas sobre el eje paralelo a la superficie del plano y aplicamos la segunda ley de Newton, en esa dirección, establecemos:

$$m \cdot a = P_{\text{tang}} - F_{roz} = P \sin 30^\circ - \mu \cdot N,$$

siendo  $N = P \cdot \cos 30^\circ$ ;  $P = m \cdot g$

En consecuencia:

$$a = g \cdot (\sin 30^\circ - \mu \cdot \cos 30^\circ) = 4,05\text{ m/s}^2.$$

El espacio recorrido en su descenso se calcula a partir de la relación trigonométrica del  $\sin 30^\circ$ :

$$\sin 30^\circ = 2 / \Delta x; \Delta x = 2 / \sin 30^\circ = 4\text{ m}.$$

Como el movimiento del cuerpo por el plano inclinado es MRUA, siendo  $v_0 = 0$ , establecemos:

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta x}{a}} = 1,41\text{ s}$$

Y su velocidad al llegar a la base es:

$$V = 4,05\text{ m/s}^2 \cdot 1,41\text{ s} = 5,71\text{ m/s}.$$

En el plano horizontal el cuerpo se detiene por acción de la fuerza de rozamiento. Por ello, la aceleración de frenada es:

$$a_{\text{frenada}} = \frac{F_{roz}}{m} = -\frac{\mu \cdot N}{m} = -\frac{\mu \cdot m \cdot g}{m} = -\mu \cdot g = -0,98 \frac{m}{s^2}$$

Y puesto que el movimiento es MRUA, el tiempo que tarda en detenerse es:

$$0 = 5,71\text{ m/s} - 0,98\text{ m/s}^2 \cdot t_{\text{parada}} \rightarrow t_{\text{parada}} = 5,83\text{ s}.$$

El espacio recorrido durante ese tiempo es:

$$\Delta x_p = 5,71 \cdot 5,83 - \frac{1}{2} \cdot 0,98 \cdot 5,83^2 = 16,63\text{ m}.$$

La distancia recorrida en el plano horizontal hasta detenerse es 16,63 m, y ésta distancia no depende del valor de la masa del cuerpo.

**A.15.** Las “fuerzas internas” son de interacción entre cuerpos integrantes del sistema. En consecuencia, tienen igual dirección, módulo y sentido opuesto, aunque están aplicados a cuerpos distintos. Por ello al sumar todas las fuerzas internas, éstas se anulan por parejas, correspondientes a los cuerpos que interaccionan. Es decir,  $\vec{F}_{ij} + \vec{F}_{ji} = 0$

**A.16.** El estudio dinámico de los dos cuerpos nos permite establecer el siguiente sistema de ecuaciones.

Estudio del cuerpo  $m = 1\text{ kg}$ .

$$m \cdot a = m \cdot g - T; 1 \cdot a = 9,8 - T \text{ (ecuación 1)}$$

Estudio del cuerpo  $M = 2 \text{ kg}$ .

$$M \cdot a = T - F_{\text{roz}} = T - \mu M \cdot g$$

$$2 \cdot a = T - 0,2 \cdot 2 \cdot 9,8$$

$$2 \cdot a = T - 3,92 \text{ (ecuación 2)}$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$a = 1,96 \text{ m/s}^2; T = 7,84 \text{ N}$$

**A.17.** Si aplicamos la fuerza en la misma dirección que la velocidad, produciremos un cambio en su valor, es decir el cuerpo sólo experimentará aceleración tangencial, dando lugar a un movimiento rectilíneo, acelerado o retardado. Si, en cambio, las direcciones de la velocidad y la fuerza son distintas, la trayectoria dejará de ser rectilínea.

**A.18.**

Dibujo	Idea asociada
1 (Incorrecto)	Asocia la fuerza con el movimiento.
2 (Incorrecto)	Necesidad de justificar la “no aparente” caída del cuerpo; por ello dibuja fuerzas que se equilibren.
3 (Incorrecto)	Identifica la fuerza peso, pero mantiene la asociación de una fuerza con el movimiento.
4 (Correcto)	Identifica la fuerza como una consecuencia de la interacción.

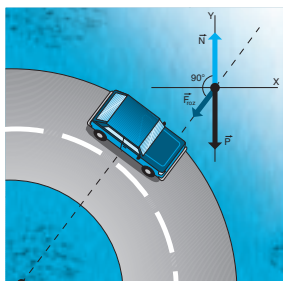
**A.19.** Tomando como sistema de referencia el centro de la Tierra, la Luna posee un movimiento circular uniforme.

a)  $a_{\text{normal}} = 4 \cdot \pi^2 \cdot r / T^2 = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$

b)  $|\vec{F}_{\text{TL}}| = |\vec{F}_{\text{LT}}| = m_{\text{Luna}} |\vec{a}_{\text{normal}}| = 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$ .

c) La siguiente cuestión nos permite reflexionar sobre el movimiento de la Luna respecto al centro de la Tierra, en el que se superponen dos movimientos, el de avance y el de caída libre

**A.20.** Consideremos el caso más simple: un vehículo que toma una curva en un plano horizontal. Para que el vehículo pueda girar debe existir una fuerza resultante que obligue al vehículo a variar su dirección. Para ello, el conductor gira el volante y con él la dirección de las ruedas delanteras.



Si analizamos las interacciones en que participa el vehículo al tomar la curva, identificaremos las fuerzas:  $\vec{N}$  y  $\vec{F}_{\text{roz}}$  (interacción suelo-vehículo) y la fuerza peso ( $\vec{P}$ , interacción-Tierra - vehículo). De todas ellas, la única fuerza que puede hacer que el vehículo cambie de dirección es la fuerza de rozamiento (ver figura). Por tanto, en esta situación la fuerza de rozamiento actúa de fuerza centrípeta.

$$m \cdot \frac{v_{\text{máx}}^2}{R} = \mu \cdot mg; \frac{v_{\text{máx}}^2}{R} = \mu g \rightarrow v_{\text{máx}}^2 = \mu g R \rightarrow$$

$$V_{\text{máx}} = \sqrt{\mu g R}, \text{ siendo } R \text{ el radio de la curva}$$

Realizando cálculos:

$$v = \sqrt{0,5 \cdot 9,8 \cdot 25} = 11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Si analizamos la expresión obtenida establecemos las siguientes conclusiones:

- La existencia de una rapidez máxima, límite del valor de la velocidad, para poder tomar una curva.
- El valor de la rapidez máxima depende del coeficiente de fricción y del radio de la curva. De modo que cuanto mayor sea el radio de la curva, mayor será la rapidez límite para no salirse de ella.
- Una disminución del coeficiente de fricción, por la existencia de hielo o aceite en el asfalto o por el mal estado de los neumáticos, implica una disminución de la rapidez límite. En el caso extremo de que  $R = 0$ , la rapidez máxima para girar sería  $v_{\text{máx}} = 0 \text{ m/s}$ . Es decir, sería imposible girar.

Para resolver el caso del motorista tendremos en cuenta el razonamiento expuesto en el ejemplo 13. Y en base al mismo aplicamos la ecuación:

$$v = \sqrt{g R \left( \frac{\cos \alpha + \mu_e}{\sin \alpha} \right)}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$V_{\text{máxima, motorista}} = 20,45 \text{ m/s}$$

**A.21.** Aplicamos la fórmula  $|\vec{F}| = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

Sin cojín:

$$|\vec{F}| = |40 \text{ kg} \cdot 13,9 \text{ m/s} / 0,10 \text{ s}| = 5560 \text{ N}$$

Con cojín:

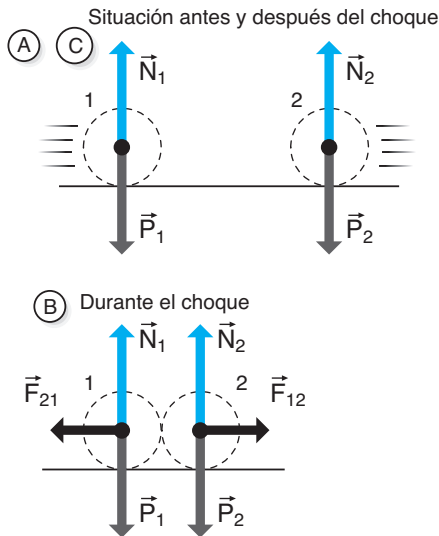
$$|\vec{F}| = |40 \text{ kg} \cdot 13,9 \text{ m/s} / 1 \text{ s}| = 556 \text{ N}$$

La presencia del cojín supone una reducción del 90 % de la fuerza media ejercida sobre la caja torácica.

A.22. Aplicando la fórmula operativa del impulso mecánico y tomando el eje x como la dirección del movimiento del balón, obtenemos:

$$\vec{F} = \frac{m \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{0,43 \times \left( 11,11 \frac{m}{s} - 0 \right) \vec{i}}{6 \cdot 10^{-3} s} = 796,22 \vec{i} N$$

A.23.



A.24. En primer lugar determinamos la rapidez del bloque después de incrustarse el balón:

$$|\vec{v}_2| = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1 m}{2 s} = 0,5 \frac{m}{s}$$

Después aplicamos el principio de conservación de cantidad de movimiento, siendo:

$$\vec{P}_{\text{inicial}} = m_b \cdot \vec{v}_b$$

$$\vec{P}_{\text{final}} = (m_B + m_b) \vec{v}_2$$

Puesto que:  $\vec{P}_{\text{inicial}} = \vec{P}_{\text{final}}$ , establecemos:

$$\vec{v}_b = \vec{v}_2 \frac{(m_B + m_b)}{m_b} = \frac{210 \cdot 10^{-3} kg}{10 \cdot 10^{-3} kg} \times 0,5 \vec{i} \frac{m}{s} = 10,5 \vec{i} \frac{m}{s}$$

A.25. Aplicando el principio de conservación de cantidad de movimiento establecemos la ecuación:

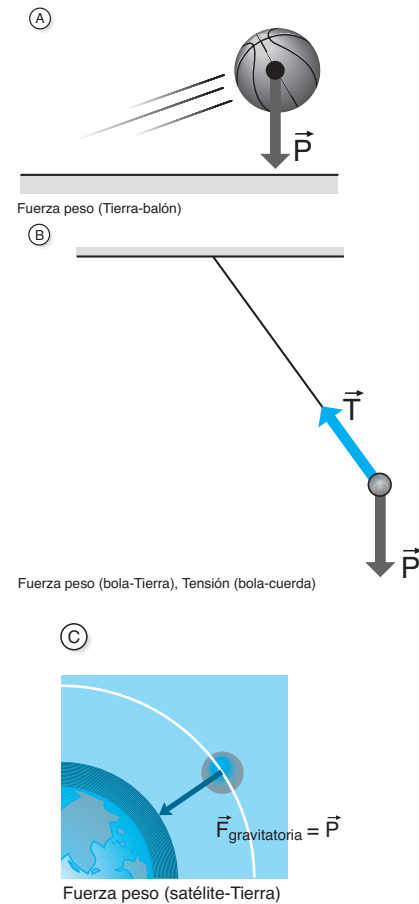
$$0 = 450 g \cdot \vec{v}_{\text{calamar}} + 50 g \cdot 36 \vec{i} \cdot \frac{km}{h}$$

Despejando la velocidad del calamar, obtenemos:

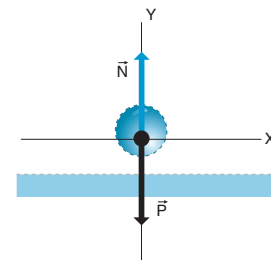
$$\vec{v}_{\text{calamar}} = -4 \vec{i} km/h$$

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

1.

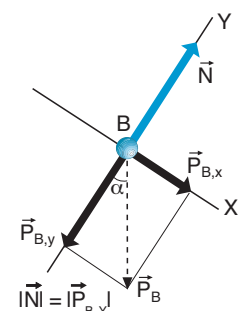


2. a) Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son:



Puesto que las fuerzas están equilibradas la fuerza resultante es nula y el cuerpo no cambiará su estado de movimiento.

b) En este caso las fuerzas aplicadas al cuerpo son las representadas en el diagrama:



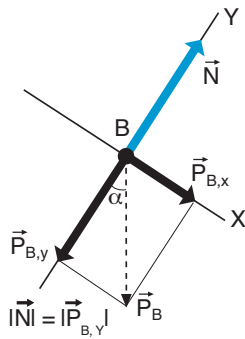
Y puesto que actúa una fuerza resultante ( $\vec{P}_{B,x}$ ), constante y opuesta a la velocidad del cuerpo, el tipo de movimiento es MRUA con aceleración de sentido opuesto a la velocidad.

3. a)  $\vec{F}_{resultante} = \vec{T}$ , el cuerpo se moverá con MRUA.

b) Si se rompe la cuerda, la fuerza resultante será nula y el cuerpo mantendrá su estado de movimiento, dando lugar a un movimiento rectilíneo uniforme.

4. a) Como la aceleración de caída no depende de la masa debe tardar el mismo tiempo en caer que Juan,  $\Delta t = 1,82 \text{ s}$ .

b) Las fuerzas que actúan sobre la persona que cae son en el peso (interacción Tierra-persona) y la normal (interacción persona - superficie). El diagrama de fuerzas es:



La fuerza resultante es la componente tangencial del peso. Es decir,  $\vec{F}_{resultante} = \vec{P}_{B,x}$

c). Como la fuerza resultante es constante el movimiento es: MRUA.

d) Para calcular el valor de la aceleración de caída aplicamos la segunda ley de Newton en la dirección de la superficie del tobogán:

$$m \cdot g \cdot \sin 30^\circ = m \cdot a \rightarrow a = g \cdot \sin 30^\circ = 4,9 \text{ m/s}^2.$$

e) Para calcular el tiempo teórico de caída, calculamos el espacio recorrido al bajar del tobogán:

$$\Delta x = \frac{3 \text{ m}}{\sin 30^\circ} = 6 \text{ m}$$

Como el movimiento es MRUA, se verifica la ecuación:

$$\Delta x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Dejando el tiempo, obtenemos:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta x}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \text{ m}}{4,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,56 \text{ s}$$

La diferencia entre el tiempo teórico y el experimental puede justificarse por la existencia de la acción de una fuerza de rozamiento y por imprecisiones experimentales.

5. La báscula indicará el valor de la fuerza de interacción de la persona con la superficie (N). El valor de la normal se deduce aplicando la segunda ley de Newton a la persona, respecto un sistema de referencia situado en el suelo de la Tierra (supuesto inercial), obteniendo:

$$\text{a) } N = P ; \text{ b) } N = m (g+a); \text{ c) } N = P$$

6. a) Cálculo de la aceleración de la pulga:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2 \text{ m/s} / 1 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 2000 \text{ m/s}^2.$$

b) Suponiendo que la fuerza de impulso es constante y aplicando la segunda ley de Newton, obtenemos:

$$F_{media} = m a = 2 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ N}.$$

c). La pulga posee un movimiento de caída libre, y por ello aplicaremos las ecuaciones:

Siendo las condiciones iniciales:

$$v_{y,0} = 2 \text{ m/s}; Y_0 = 0 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que cuando alcanza la altura máxima  $v_y = 0 \text{ m/s}$ , calculamos el tiempo de ascensión:  $t = 0,20 \text{ s}$ .

Sustituyendo dicho tiempo en la ecuación de la altura calculamos:  $\Delta y = v \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 = 20,4 \text{ cm}$ , lo cual supone que la pulga ha realizado un salto de 102 veces su altura.

$$\begin{cases} \text{ecuación velocidad : } v_y = v_{y,0} - 9,8 t \\ \text{ecuación altura : } Y = Y_0 + v_{y,0} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 9,8 t^2 \end{cases}$$

7. El estudio dinámico del sistema permite establecer los siguientes diagramas:

Cuerpo A	Cuerpo B
Identificación de las fuerzas. El cuerpo A interacciona con la mano ( $\vec{F}$ ), con la Tierra ( $\vec{P}_A$ ), con la superficie ( $\vec{N}_A$ ) y con el cuerpo B ( $\vec{F}_{BA}$ ).	Identificación de las fuerzas. El cuerpo B interacciona con la Tierra ( $\vec{P}_B$ ), con la superficie ( $\vec{N}_B$ ) y con el cuerpo A ( $\vec{F}_{AB}$ ).
Diagrama puntual de fuerzas:	Diagrama puntual de fuerzas:

Para aplicar la segunda ley de Newton a cada uno de los cuerpos, tomamos de referencia un sistema de ejes cartesianos centrado en el centro de cada uno de los cuerpos. Y puesto que los cuerpos se desplazan horizontalmente, las fuerzas aplicadas según el eje vertical se anulan, es decir:

$$\vec{P}_A + \vec{N}_A = 0 \quad \text{y} \quad \vec{P}_B + \vec{N}_B = 0.$$

Para el eje horizontal, eje X, deducimos las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cuerpo A: } \vec{F} + \vec{F}_{BA} = m_A \vec{a}_A \quad \text{Cuerpo B: } \vec{F}_{AB} = m_B \vec{a}_B$$

Los cuerpos tienen la misma aceleración,  $\vec{a}_A = \vec{a}_B = \vec{a}$  y las fuerzas de interacción entre ambos cuerpos,  $\vec{F}_{BA}$  y  $\vec{F}_{AB}$ , tienen el mismo valor, que denominaremos  $F_{\text{int}}$ .

Al expresar las fuerzas en función del vector unitario del eje X,  $\vec{i}$ , obtenemos las ecuaciones:

$$(1) F \vec{i} - F_{\text{int}} \vec{i} = m_A \vec{a} \quad (2) F_{\text{int}} \vec{i} = m_B \vec{a}.$$

Si sumamos las ecuaciones (1) y (2) obtenemos;  $F \vec{i} = (m_A + m_B) \vec{a}$ . Por lo tanto:

$$\vec{a} = \frac{F \vec{i}}{(m_A + m_B)} = \frac{100 \vec{i}}{(20 + 30) \text{ kg}} \frac{\text{N}}{\text{s}^2} = 2 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Para calcular el valor de la interacción entre ambos cuerpos sustituiremos  $\vec{a}$  en la ecuación (2):

$$F_{\text{int}} \vec{i} = 30 \text{ kg} \cdot 2 \vec{i} \text{ m/s}^2 \Rightarrow F_{\text{int}} = 60 \text{ N}$$

8.

Tramo	Tipo de movimiento	a / ms <sup>-2</sup>	F / N
0 - 12 s	MUA	0,5	1
12 s - 20 s	MUA	1,5	3
20 s - 32 s	MU	0	0
32 s - 40 s	MUA	-2,25	-4,5

9. a) La componente x de la velocidad es constante y por ello su movimiento es uniforme. Sin embargo, la componente y de la velocidad disminuye de forma regular, en consecuencia realiza un movimiento uniformemente acelerado.

b) Para calcular la fuerza media aplicamos la relación:

$$\vec{F}_m = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = - \frac{2 \text{ kg} \left( -9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \cdot \Delta t}{\Delta t} \vec{j} = -19,6 \vec{j} \text{ N}$$

10. La Luna también cae, pero en este caso se superponen dos movimientos, el de caída libre y un movimiento de

traslación consecuencia de su velocidad. Las condiciones iniciales de la Luna (altura y velocidad) y la forma de la Tierra impiden que choquen.

11. Para calcular el valor del peso del astronauta aplicaremos la fórmula:  $P = m \cdot g = (80 \text{ kg}) \cdot g$

El valor de la gravedad se determina teóricamente a partir de la expresión:

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

siendo M la masa del planeta y  $r = R_{\text{planeta}} + h$

En la Tierra.

a)  $h = 0 \text{ m}$

El valor de la gravedad es:

$$g = G \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{(6378 \cdot 10^3)^2} = 9,805 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

El peso es:  $P = 80 \text{ kg} \cdot 9,805 \text{ N/kg} = 784,8 \text{ N}$ .

b)  $h = 1 \text{ km} \rightarrow r = 6379 \text{ km}$

El valor de la gravedad es:

$$g = G \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{(6379 \cdot 10^3)^2} = 9,802 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

El peso es:  $P = 80 \text{ kg} \cdot 9,802 \text{ N/kg} = 784,16 \text{ N}$ .

$h = 250 \text{ km} \rightarrow r = 6628 \text{ km}$

El valor de la gravedad es:

$$g = G \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{(6628 \cdot 10^3)^2} = 9,08 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

El peso es:  $P = 80 \text{ kg} \cdot 9,08 \text{ N/kg} = 726,4 \text{ N}$

$h = 2 \cdot R_T \rightarrow r = 3 \cdot R_T$

El valor de la gravedad es:

$$g = G \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{(19134 \cdot 10^3)^2} = 1,089 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 1,09 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

El peso es:  $P = 80 \text{ kg} \cdot 1,09 \text{ N/kg} = 87,12 \text{ N}$

c) En la superficie de la Luna la gravedad es:

$$g = G \frac{7,348 \cdot 10^{22}}{(1738 \cdot 10^3)^2} = 1,62 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

El valor del peso del astronauta es:

$P = 80 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ N/kg} = 129,6 \text{ N}$ .

12. Todas las afirmaciones son falsas puesto que sobre un cuerpo en caída libre sólo actúa el peso, si despreciamos la fuerza de rozamiento. En el apartado b debemos tener en



cuenta no sólo el peso (fuerza aplicada) sino también la masa del cuerpo sobre el que actúa, de modo que la aceleración de caída es constante e independiente de la masa. Por otra parte, en el apartado c debemos tener en cuenta que el astronauta está en órbita por acción del peso.

13. Para el caso representado en la figura a:

Aplicando la segunda ley de Newton a cada uno de los cuerpos en la dirección del movimiento planteamos el sistema de ecuaciones:

$$\text{Cuerpo A: } T = m_A \cdot 2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Cuerpo B: } F - T = m_B \cdot 2 \text{ m/s}^2$$

Resolviendo dicho sistema, obtenemos:

$$T = 20 \text{ N}; F = 60 \text{ N}.$$

Para el caso representado en la figura b, planteamos las ecuaciones:

$$\text{Cuerpo A: } T - P_A = m_A \cdot 2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Cuerpo B: } F - T - P_B = m_B \cdot 2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Siendo } P_A = 98 \text{ N}; P_B = 196 \text{ N}$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$F = 118 \text{ N}; F = 354 \text{ N}$$

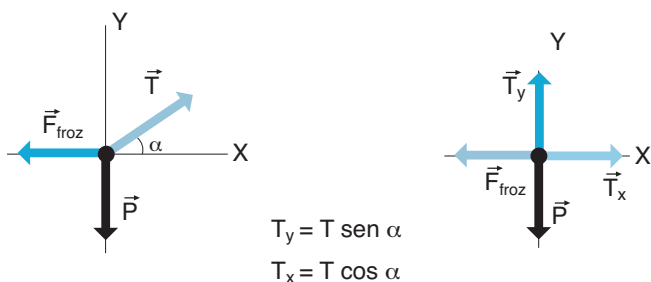
14. Las fuerzas aplicadas sobre la carga son:

$$\vec{T}; \vec{P}; \vec{F}_{roz}$$

El sistema debe verificar la condición de equilibrio:

$$\vec{T} + \vec{P} + \vec{F}_{roz} = 0$$

Los diagramas de fuerzas correspondientes son:



Este equilibrio implica:

Eje Y

$$T \sin 45^\circ = P = m \cdot g = 9800 \text{ N}$$

Por tanto;

$$T = 9800 \text{ N} / \sin 45^\circ = 13859,3 \text{ N}$$

Eje X

$$T \cdot \cos 45^\circ = F_{roz} = 9800 \text{ N}$$

## 15. Situación a

- Dirección: horizontal.
- Sentido: opuesto a  $\vec{F}$ .
- Módulo: puesto que  $N = P$ , establecemos  $F_{roz} = 0,2 \cdot 19,6 \text{ N} = 3,92 \text{ N}$

## Situación b

- Dirección: horizontal.
- Sentido: opuesto al movimiento.
- Módulo: puesto que  $N = P - F_y$ , establecemos  $F_{roz} = 0,2 \cdot (19,6 - 10 \cdot \sin 60^\circ) \text{ N} = 2,2 \text{ N}$

## Situación c

- Dirección: paralela al plano
- Sentido: opuesto a  $\vec{F}$ , (hacia arriba).
- Módulo: puesto que  $N = P \cos 60$ , establecemos  $F_{roz} = 0,2 \cdot 19,6 \text{ N} \cdot \cos 60^\circ = 1,96 \text{ N}$

## Situación d

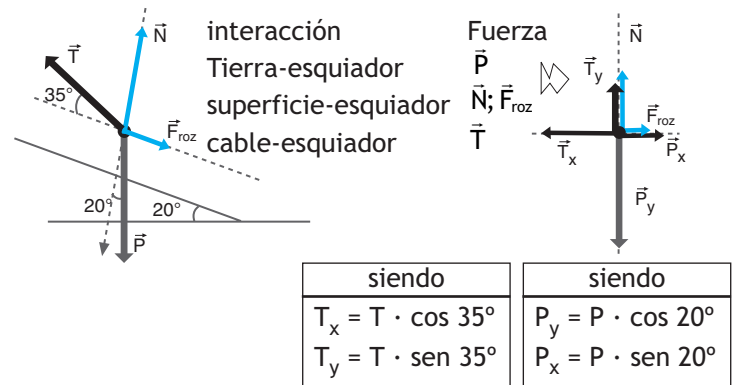
- Dirección: paralela al plano.
- Sentido: opuesto a  $\vec{F}$ , (hacia abajo).
- Módulo: puesto que  $N = P \cos 30^\circ$ , establecemos  $F_{roz} = 0,2 \cdot 19,6 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 3,4 \text{ N}$

16. Puesto que el movimiento es MRU no debe actuar ninguna fuerza resultante sobre el ciclista; por tanto las fuerzas deben estar equilibradas. En consecuencia la componente tangencial del peso debe anularse con la fuerza de rozamiento y la componente normal del peso con la fuerza normal ejercida por la superficie. Por tanto:

$$F_{roz} = P \cdot \sin 15^\circ = 85 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot \sin 15^\circ = 215,6 \text{ N}$$

Al variar la masa del ciclista varía su peso y el valor de la fuerza de rozamiento.

17. a) Si realizamos el diagrama de fuerzas establecemos:



La condición de que la velocidad sea constante implica que la fuerza resultante sea nula. Es decir, las fuerzas aplicadas al esquiador están equilibradas. Por tanto:

$$\text{Eje X: } 0 = T_x - P_x - F_{roz}; \text{ siendo } F_{roz} = \mu \cdot N$$

$$\text{Aislado el valor de } F_{roz}, \text{ obtenemos: } F_{roz} = T_x - P_x$$

$$\text{Sustituyendo, } F_{roz} = 500 \text{ N} \cdot \cos 35^\circ - 686 \cdot \sin 20^\circ = 174,95 \text{ N}$$

Para calcular el coeficiente de rozamiento  $\mu \left( \mu = \frac{F_{roz}}{N} \right)$  determinamos el valor de la normal.

$$\text{Eje Y: } 0 = N + T_y - P_y \rightarrow N = P_y - T_y$$

Sustituyendo;

$$N = 686 \text{ N} \cdot \cos 20^\circ - 500 \cdot \sin 35^\circ = 357,84 \text{ N}$$

$$\text{En consecuencia: } \mu = \frac{F_{roz}}{N} = \frac{174,95 \text{ N}}{387,84 \text{ N}} = 0,49$$

b) El esquiador posee un MRUA con las siguientes características:

- Velocidad inicial:  $v_0 = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 8,33 \text{ m/s}$
- Aceleración constante y opuesta al sentido del movimiento.

Para calcular la aceleración realizamos un estudio dinámico del esquiador sin el cable (se ha roto).

En este caso (cable roto) las fuerzas aplicadas son:

$$\text{eje x: } m a_x = -P_x - F_{roz}^*; \text{ eje y: } 0 = N^* - P_y$$

Despejando  $N^* = P_y = 686 \cdot \cos 20^\circ = 644,63 \text{ N}$  y, puesto que el valor del coeficiente es  $\mu = 0,49$ , la fuerza de rozamiento es:  $F_{roz} = 0,49 \cdot 644,63 \text{ N} = 315,87 \text{ N}$

En consecuencia la aceleración es:  $a = -\frac{(P_x + F_{roz})}{m}$   
Sustituyendo obtenemos:

$$a = -\frac{(686 \cdot \sin 20^\circ + 315,87 \text{ N})}{70 \text{ kg}} = -7,86 \text{ m/s}^2$$

Para calcular el tiempo que tarda en detenerse, establecemos la condición  $V_f = 0$  a la ecuación  $V_f = 8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 7,86 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t$ , obteniendo:  $t_p = \frac{8,33 \text{ m/s}}{7,86 \text{ m/s}^2} = 1,06 \text{ s}$

c) Una vez se detenga para caer debe verificarse que

$|P_x| > |F_{roz}|$ . Y puesto que  $P_x = 284,63 \text{ N}$  y la  $F_{roz} = 315,87 \text{ N}$  *el esquiador no cae*.

18. Para resolver el problema calcularemos en primer lugar la aceleración del vagón, realizando un estudio dinámico del péndulo, y después aplicaremos la ecuación fundamental de la dinámica al sistema vagón - péndulo [ $\vec{F}_{resultante} = (M + m) \vec{a}$ ]

Para calcular la aceleración a partir del análisis dinámico del péndulo establecemos:

$T_x = T \cdot \sin \alpha = m \cdot a$  (dirección horizontal, que corresponde al movimiento) como  $T_y = T \cdot \cos \alpha = m \cdot g$  (situación de equilibrio, en la dirección vertical).

Concluimos:  $a = g \cdot \tan \alpha$

$$\text{Caso a) } \vec{a} = (g \cdot \tan 30^\circ) \vec{i} = 5,66 \vec{i} \text{ m/s}^2$$

$$\vec{F}_{resultante} = (5000 + 0,1) \text{ kg} \cdot 5,66 \vec{i} \text{ m/s}^2 = 28300,6 \vec{i} \text{ N}$$

$$\text{Caso b) Como } a = 0 \text{ m/s}^2; F_{resultante} = 0 \text{ N}$$

$$\text{Caso c) } \vec{a} = -g \cdot \tan 60^\circ \vec{i} \approx -16,97 \vec{i} \text{ m/s}^2$$

$$F_{resultante} = 5000,1 \text{ kg} \cdot (-16,97 \vec{i} \text{ m/s}^2) = -84851,7 \vec{i} \text{ N}$$

19. Las soluciones a cada uno de los sistemas propuestos se resumen en las tablas adjuntas.

Sistema dinámico a	
<p>Ecuaciones cuerpo A</p> <p>x: <math>T - P_{A,X} - F_{ROZ,A} = m_A \cdot a</math></p> <p>y: <math>N_A - P_{A,Y} = 0</math></p> <p><math>T = m_A \cdot a + P_{A,X} + F_{ROZ,A}</math></p>	<p>Ecuaciones cuerpo B</p> <p>y: <math>P_B - T = m_B \cdot a</math></p> <p><math>T = P_B - m_B \cdot a</math></p>
<p>Aceleración:</p> <p><math>m_A \cdot a + P_{A,X} + F_{ROZ,A} = P_B - m_B \cdot a</math></p> <p><math>a = \frac{196 \text{ N} - 98 \text{ N} - 25,46 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 1,81 \text{ m/s}^2</math></p>	<p>Tensión</p> <p><math>T = 20 \text{ kg} (9,8 - 1,81) \text{ m/s}^2</math></p> <p><math>T = 159,8 \text{ N}</math></p>

Sistema dinámico b	
<p>Ecuaciones cuerpo B</p> <p>x: <math>P_{B,X} - T - F_{ROZ,B} = m_B \cdot a</math></p> <p>y: <math>N_B - P_{B,Y} = 0</math></p>	<p>Ecuaciones cuerpo A</p> <p>x: <math>T - F_{ROZ,A} - P_{A,X} = m_A \cdot a</math></p> <p>y: <math>N_A - P_{A,Y} = 0</math></p>
<p>Aceleración</p> <p><math>a = \frac{(169,74 - 14,7 - 25,46 - 98) \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 0,79 \text{ m/s}^2</math></p>	<p>Tensión</p> <p><math>T = 15,8 \text{ N} + 25,46 \text{ N} + 98 \text{ N} = 139,26 \text{ N}</math></p>

Sistema dinámico c	
<p>Ecuaciones</p> <p>(1) <math>T_1 - P_A = m_A a</math></p> <p>(2) <math>T_2 - T_1 - F_{ROZ,B} = m_B a</math></p> <p>(3) <math>P_C - T_2 = m_C a</math></p>	
<p>Aceleración del sistema</p> <p><math>a = \frac{392 \text{ N} - 196 \text{ N} - 29,4 \text{ N}}{80 \text{ kg}} = 2,08 \text{ m/s}^2</math></p>	
<p>Tensiones</p> <p><math>T_1 = P_A + m_A a = m_A (g + a) = 20 \text{ kg} (9,8 + 2,08) \text{ m/s}^2 = 237,6 \text{ N}</math></p> <p><math>T_2 = P_C + m_C a = m_C \cdot (g - a) = 40 \text{ kg} (9,8 - 2,08) \text{ m/s}^2 = 308,8 \text{ N}</math></p>	



20. Puesto que  $m_2 > m_1$  sabemos que el cuerpo  $m_2$  desciende y  $m_1$  asciende.

Si aplicamos la segunda ley de dinámica al sistema, obtenemos:

$$(1) P_2 - T = m_2 \cdot a$$

$$(2) T - P_1 = m_1 \cdot a$$

Cálculo de la aceleración:

$$a = \left( \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \right) \cdot g = 4,97 \frac{m}{s^2}$$

Cálculo de la tensión:

$$T = m_1 (a + g) = 1,48 N.$$

b) En este caso la fuerza aplicada equivale a la tensión transmitida por la cuerda, y por ello:  $a = (T - P_1) / m_1 = 20,2 m/s^2$ .

21. El estudio dinámico del sistema permite determinar la aceleración del sistema:

$$a = \left( \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} \right) \cdot g = 1,96 \frac{m}{s^2}$$

El estudio cinemático del movimiento de caída permite calcular el tiempo que tarda en llegar al suelo:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3}{1,96}} = 1,75 s$$

La velocidad de impacto es:

$$\vec{v}_y = -1,96 \vec{j} \frac{m}{s^2} \cdot 1,75 s = -3,43 \vec{j} m/s$$

22. Al realizar un estudio cualitativo se establecen las siguientes variables:

Variable	Dependencia
Velocidad inicial, $v_0$	La altura máxima debe aumentar con la velocidad inicial.
Ángulo de inclinación, $\alpha$	A mayor inclinación menor debe ser la altura alcanzada.
Rozamiento, $\mu$	Como la fuerza de rozamiento se opone al desplazamiento es de suponer que la altura disminuya al aumentar el coeficiente de rozamiento.
Masa, $m$	Es una variable a analizar ya que evidencia la idea previa de que en los movimientos de caída la masa influye. En el tema de cinemática, y en el actual también, se ha evidenciado que la masa no influye.

Si realizamos un estudio dinámico del movimiento de ascenso, tomando un sistema de referencia en la dirección del movimiento (sentido positivo el del movimiento), establecemos las ecuaciones:

$$\text{En dirección de movimiento: } -F_{roz} - P_x = m \cdot a$$

$$\text{Perpendicular al movimiento: } N - P_y = 0$$

$$\text{Y además } F_{roz} = \mu \cdot N = \mu \cdot P_y$$

En consecuencia la aceleración de frenada es:

$$a = -g \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

El cuerpo en su movimiento de ascensión realiza un MRUA. El tiempo que tarda en detenerse se obtiene de la ecuación:

$$0 = v_0 - g \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \cdot t_{parada}$$

Despejando se obtiene:

$$t_{parada} = \frac{v_0}{g \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

La distancia recorrida hasta detenerse se determina a partir de la ecuación:

$$\Delta x = v_0 t_{parada} - \frac{1}{2} \cdot g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot t_{parada}^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$\text{Y puesto que: } h = \Delta x \cdot \sin \alpha$$

establecemos finalmente:

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot v_0^2}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

Dividiendo numerador y denominador por  $\cos \alpha$ , obtenemos:

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot \tan \alpha}{g (\tan \alpha + \mu)} \quad (\text{ecuación general})$$

Si analizamos la expresión podemos establecer:

- (1) La altura máxima aumenta con la velocidad inicial.
- (2) La altura máxima disminuye al aumentar el coeficiente de rozamiento. Y en el caso de que el rozamiento sea nulo la altura máxima es independiente de la inclinación del plano. Este hecho puede justificarse aplicando el principio de conservación de energía:

$$\Delta E_c = \Delta E_p$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = m \cdot g \cdot h \rightarrow h = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

En el caso particular de que:

$$\alpha = 30^\circ; v_0 = 2 m/s; \mu = 0,3$$

sustituyendo en la ecuación general se obtiene una altura máxima de:

$$h = 0,13 \text{ m}$$

23. Como el cuerpo va con MRUA, establecemos el siguiente sistema de ecuaciones:

- La que relaciona la distancia recorrida con el tiempo que tarda en detenerse ( $t_p$ ):

$$3 \text{ m} = 4,2 \cdot t_p - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_p^2 \text{ (ecuación -1)}$$

- La velocidad cuando se detiene es cero, y se verifica la ecuación:

$$0 = 4,2 - a \cdot t_p \text{ (ecuación-2)}$$

Para resolver el sistema de ecuaciones tendremos en cuenta que de la ecuación 2 se establece:

$$4,2 = a \cdot t_p, \text{ y sustituyendo en la ecuación 1 se obtiene:}$$

$$3 = 4,2 t_p - (4,2/2) t_p = 2,1 \cdot t_p.$$

En consecuencia:

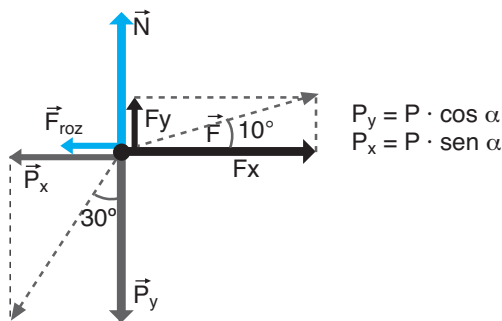
$$t_p = 1,43 \text{ s y } a = 2,9 \text{ m/s}^2$$

El estudio dinámico permite calcular el valor de la fuerza de rozamiento (fuerza resultante):

$|\vec{F}_{roz}| = 0,5 \text{ kg} \cdot 2,9 \text{ m/s}^2 = 1,45 \text{ N}$ ; puesto que  $F_{roz} = \mu N$ , siendo  $N = m \cdot g = 4,9 \text{ N}$ , establecemos:

$$\mu = \frac{F_{roz}}{N} = \frac{1,45 \text{ N}}{4,9 \text{ N}} = 0,3$$

#### 24. Diagrama de fuerzas



Cálculo de la fuerza de rozamiento:

$$F_{roz} = \mu N, \text{ siendo } N = P_y - F_y$$

$$F_{roz} = \mu (P_y - F_y) = 0,13 (84,87 - 17,36) \text{ N} = 8,78 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza resultante en el eje horizontal

$$F_{resultante} = F_x - P_x - F_{roz} = 98,48 - 49 - 8,78 \text{ N} = 40,7 \text{ N}$$

Cálculo de la aceleración, aplicando la segunda ley de Newton:

$$a = 40,7 \text{ N} / 10 \text{ kg} = 4,07 \text{ m/s}^2$$

25. a) Puesto que el sistema tractor - roca se desplaza a velocidad constante la fuerza resultante en cada uno de los cuerpos debe ser nula. Y por ello establecemos las siguientes ecuaciones:

- Cuerpo 1 (tractor)

$$0 = F - T - F_{roz,1} \text{ (ecuación 1)}$$

$$\text{Siendo } F_{roz,1} = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g$$

- Cuerpo 2 (roca)

$$0 = T - F_{roz,2} \text{ (ecuación 2)}$$

$$\text{Siendo } F_{roz,2} = \mu_2 \cdot m_2 \cdot g$$

Al sumar las ecuaciones 1 y 2 se establece:

$$F = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g + \mu_2 \cdot m_2 \cdot g = 21 \text{ 168 N}$$

$$\text{Y } T = \mu_2 \cdot m_2 \cdot g = 8 \text{ 820 N}$$

b) En este caso el sistema marcha con una aceleración constante de:

$$a = \frac{5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 2,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,1 \text{ s}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ahora el sistema de ecuaciones es:

- Cuerpo 1 (tractor)

$$m_1 \cdot a = F - T - F_{roz,1} \text{ (ecuación 1)}$$

$$\text{Siendo } F_{roz,1} = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g$$

- Cuerpo 2 (roca)

$$m_2 \cdot a = T - F_{roz,2} \text{ (ecuación 2)}$$

$$\text{Siendo } F_{roz,2} = \mu_2 \cdot m_2 \cdot g$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$F = (m_1 + m_2) a + g (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2)$$

Al sustituir por sus valores obtenemos:

$$F = 27 \text{ 618 N}$$

Y la tensión se obtiene a partir de la ecuación 2.

$$T = m_2 a + \mu_2 \cdot m_2 \cdot g = 11 \text{ 070 N}$$

c) Si suponemos que el tractor y la roca ascienden sin aceleración, situación límite más favorable, planteamos las siguientes ecuaciones:

- Cuerpo 1 (tractor)

$$0 = F - T - m_1 \cdot g \cdot \sin 11,53^\circ - F_{roz,1} \text{ (ecuación 1)}$$

$$\text{siendo } F_{roz,1} = \mu_1 \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos 11,53^\circ$$

Cuerpo 2 (roca)

$$0 = T - m_2 \cdot g \cdot \sin 11,53^\circ - F_{\text{roz},2} \text{ (ecuación 2)}$$

$$\text{siendo } F_{\text{roz},2} = \mu_2 \cdot m_2 \cdot g \cdot \cos 11,53^\circ$$

Al resolver las ecuaciones obtenemos:

$F = 29163,8 \text{ N}$  (inferior a la límite) y  $T = 11\,580,25 \text{ N}$  (superior al valor máximo que puede soportar el cable)

26. Sí, es un movimiento circular uniforme.

27. Ya que el movimiento, respecto al centro del disco, es MCU, el valor de la fuerza centrípeta es:

$$F_{\text{centro}} = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R$$

siendo  $m = 10^{-2} \text{ kg}$ ,  $R = 0,12 \text{ m}$

$$\omega = 30 \frac{\text{vueltas}}{\text{minuta}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ s}} = \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Por tanto:

$$F_{\text{centrípeta}} = 10^{-2} \cdot (\pi)^2 \cdot 0,12 = 1,184 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

28. a) Aplicando la fórmula operativa de la aceleración centrípeta:

$$a_{\text{centrípeta}} = (18,89 \text{ m/s})^2 / 45 \text{ m} = 7,93 \text{ m/s}^2$$

b) La fuerza de rozamiento actúa de fuerza centrípeta:

$$F_{\text{roz}} = m a_{\text{centrípeta}}$$

$$\mu mg = m a_{\text{centrípeta}}$$

Despejando:

$$\mu = a_{\text{centrípeta}} / g = 0,81.$$

29. Las fuerzas que actúan sobre la piedra son su peso y la tensión de la cuerda. Aplicando el sistema de referencia sobre la piedra establecemos las siguientes ecuaciones:

Eje Y:

$$T \cdot \cos 30^\circ = P$$

Por tanto:

$$T = \frac{m \cdot g}{\cos 30^\circ} = \frac{0,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{\cos 30^\circ} = 5,66 \text{ N}$$

Eje X:

$$T \sin 30^\circ = F_{\text{centrípeta}} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

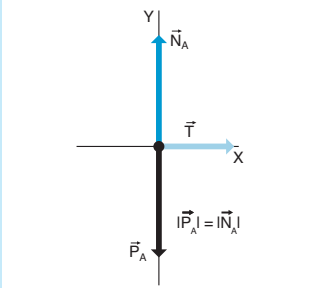
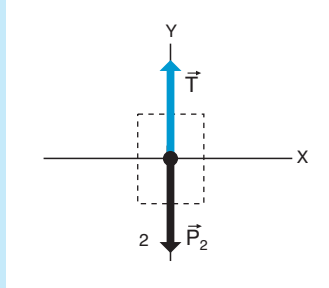
Despejando el valor de la velocidad:

$$v = \sqrt{\frac{R \cdot T \cdot \sin 30^\circ}{m}}$$

Sustituyendo valores, se obtiene:

$$v = \sqrt{\frac{0,3 \cdot 5,66 \cdot \sin 30^\circ}{0,5}} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

30. A) Las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo son:

Cuerpo m	Cuerpo M
Normal (interacción cuerpo con la superficie). Peso (interacción cuerpo Tierra). Tensión (cuerpo - cable)	Peso (interacción cuerpo-Tierra). Tensión (cuerpo-cable)
	

B) la tensión ejercida sobre el cuerpo m ejerce de fuerza centrípeta. El valor de la tensión se calcula al analizar el estado dinámico del cuerpo M.

Cuerpo M:

$$T - M \cdot g = 0 \rightarrow T = M \cdot g = 4 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 39,2 \text{ N}$$

El valor de la aceleración centrípeta se determina al analizar el cuerpo m.

Cuerpo m:

$$T = m \cdot a_{\text{centrípeta}}$$

$$a_{\text{centrípeta}} = T/m = 39,2 \text{ N} / 1 \text{ kg} = 39,2 \text{ m/s}^2$$

En consecuencia el valor de la velocidad del cuerpo m es:

$$v = \sqrt{R \cdot a_{\text{centrípeta}}} = \sqrt{0,1 \cdot 39,2} = 1,98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

31. a) Las fuerzas ejercidas sobre la muchacha son:

Fuerza	Interacción
Peso	Tierra- muchacha
Normal	Superficie - muchacha
Rozamiento	Superficie - muchacha

b) La fuerza normal ejerce la función de fuerza centrípeta.

c) Puesto que la fuerza normal ejerce de fuerza centrípeta establecemos:

$$N = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

El radio de la cabina se obtiene con la ecuación:

$$R = \frac{N}{m \cdot \omega^2}$$

Para obtener el valor de la fuerza normal tenemos en cuenta su relación con la fuerza de rozamiento:

$$F_{roz} = \mu \cdot N \rightarrow N = F_{roz} / \mu$$

Puesto que la muchacha no cae se establece que:

$$F_{roz} = P = 40 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 392 \text{ N}$$

Y en consecuencia:

$$N = F_{roz} / \mu = 392 / 0,2 = 1960 \text{ N}$$

Y finalmente:

$$R = \frac{1960 \text{ N}}{40 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2} = 1,96 \text{ m}$$

**32.** Puesto que debe cumplirse el principio de conservación de cantidad de movimiento al arrojar un objeto el cuerpo debe moverse en dirección opuesta. Por ello, al soplar la persona adquiriría una velocidad opuesta, es decir se desplazaría “a reacción”.

**33.** Aplicando la definición operativa de la magnitud impulso mecánico.

$$\vec{I} = \Delta t \cdot \vec{F} = \Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Despejando la fuerza, se obtiene:

$$\vec{F} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{0,055 \text{ kg} \cdot 41,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,7 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 487,58 \frac{\text{N}}{\text{s}}$$

Puesto que se produce una interacción entre la raqueta y la pelota establecemos:

$$|\vec{F}_{raqueta-pelota}| = |\vec{F}_{pelota-raqueta}| = 487,58 \text{ N}$$

**34.** Para calcular la variación de la cantidad de movimiento establecemos previamente los vectores velocidad.

Velocidad inicial	Velocidad final
$\vec{v}_0 = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\vec{v}_f = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

La variación de velocidad es:

$$\Delta \vec{v} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - (-3 \frac{\text{m}}{\text{s}}) = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y la variación de cantidad de movimiento:

$$\Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v} = 0,055 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,275 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Para calcular el valor medio de la fuerza de interacción aplicamos el concepto de impulso:

$$\vec{F} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{0,275 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 45,83 \frac{\text{N}}{\text{s}}$$

**35.** Aplicando el principio de conservación de cantidad de movimiento al sistema bote-perro, establecemos:

$$0 = 20 \text{ kg} \cdot \left(7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + 80 \text{ kg} \cdot \vec{v}_{bote}$$

$$\text{Despejando se obtiene: } \vec{v}_{bote} = -1,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**36.** No se conserva la cantidad de movimiento puesto que se produce una variación del vector velocidad, al cambiar su sentido.

Velocidad inicial	Velocidad final
$\vec{v}_0 = 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\vec{v}_f = -13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$\Delta \vec{v} = -27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	

El impulso realizado sobre la pelota es:

$$\vec{I} = m \cdot \Delta \vec{v} = 0,055 \text{ kg} \cdot \left(-27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = -1,529 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

**37.** Aplicando el principio de conservación de la cantidad de movimiento establecemos la ecuación:

$$m \cdot \vec{v}_{bala} = (M + m) \cdot \vec{v}_{Bloque}$$

Despejando la velocidad de la bala:

$$\vec{v}_{bala} = \frac{(M + m)}{m} \cdot \vec{v}_{Bloque} = 392,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

38. Aplicando el principio de conservación de cantidad de movimiento:

$$0 = 2 \text{ kg} \left( 1,5 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) + 60 \text{ kg } \vec{v}_{\text{patinador}}$$

Despejando se obtiene:

$$\vec{v}_{\text{patinador}} = -0,05 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

39. La solución de este problema se fundamenta en la aplicación del principio de conservación de cantidad de movimiento:

$$m_A \cdot (+5 \vec{i}) + m_B \cdot (-6 \vec{i}) = m_A \cdot \vec{v} + m_B \cdot (+2 \vec{i})$$

tomado de referencia la dirección del banco ( $\vec{i}$ ) y como sentido positivo la velocidad inicial del carrito A.

Despejando la velocidad final del carrito A, se obtiene:

$$\vec{v} = \frac{m_A \cdot (+5 \vec{i}) + m_B \cdot (-8 \vec{i})}{m_A}$$

Despejando la velocidad final del carrito A, se obtiene:

$$\text{a) } m_A = m_B \rightarrow \vec{v} = -3 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{b) } m_B = 2m_A \rightarrow \vec{v} = -11 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{c) } 2 \cdot m_B = m_A \rightarrow \vec{v} = 1 \vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

40. Al aplicar el principio de conservación de cantidad de movimiento al sistema coche furgoneta establecemos:

$$1500 \cdot 25 \vec{i} + 2500 \cdot 20 \vec{j} = 4000 \cdot \vec{v}$$

Despejando la velocidad final del conjunto obtenemos:

$$\vec{v} = \left( 9,375 \vec{i} + 12,5 \vec{j} \right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El módulo de la velocidad es:

$$v = \sqrt{9,375^2 + 12,5^2} = 15,625 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La dirección se obtiene a partir de la relación trigonométrica de la tangente:

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{12,5}{9,375} = 1,333 \rightarrow \alpha = \arctg 1,33 = 53,13^\circ$$

41. En este caso al aplicar el principio de conservación de cantidad de movimiento establecemos la ecuación:

$$1500 \cdot 25 \vec{i} + 2500 \cdot 20 \vec{j} = 150 \text{ kg} \cdot 20 \vec{j} + 3850 \cdot \vec{v}$$

Al despejar la velocidad final del conjunto obtenemos:

$$\vec{v} = \left( 9,74 \vec{i} + 12,21 \vec{j} \right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

42. Para resolver este problema debemos aplicar el principio de conservación de cantidad de movimiento. Para ello tomamos de referencia el sistema cardinal: N ( $+\vec{i}$ ); S ( $-\vec{i}$ ); W ( $+\vec{j}$ ) E ( $-\vec{j}$ ).

En consecuencia establecemos la ecuación:

$$0 = m \cdot (90 \vec{i}) + m (-50 \vec{j}) + m \cdot \vec{v}$$

Al despejar la velocidad del tercer fragmento se obtiene:

$$\vec{v} = \frac{(-90 \vec{i} + 50 \vec{j})m}{s}$$

En coordenadas cardinales:

90 m/s (S); 50 m/s (W)

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

1. Sobre el ciclista no actúa ninguna fuerza resultante, puesto que la fuerza ejercida al pedalear es equilibrada por la fuerza de rozamiento.

2. Sobre el cuerpo sólo actúan dos fuerzas, la tensión de la cuerda y el peso; si aplicamos la segunda ley de Newton en cada una de las situaciones indicadas obtendremos:

$$\vec{T} + \vec{P} = m \cdot \vec{a}; \vec{T} - 784 \vec{j} = m \cdot \vec{a} \rightarrow \vec{T} = 784 + m\vec{a}$$

a)  $\vec{a} = 0 \rightarrow \vec{T} = 784 \vec{j} \text{ N}$

b)  $\vec{a} = 0,5 \vec{j} \frac{m}{s^2} \rightarrow \vec{T} = 824 \vec{j} \text{ N}$

c)  $\vec{a} = -2 \vec{j} \frac{m}{s^2} \rightarrow \vec{T} = 624 \vec{j} \text{ N}$

3. Establecimiento de las ecuaciones

Cuerpo B:  $T - F_{roz} = m_B a$

Cuerpo A:  $P_A - T = m_A a$

siendo  $F_{roz} = \mu \cdot P_B = 0,2 \cdot 60 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 117,6 \text{ N}$ ;

$P_A = 30 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 294 \text{ N}$

El sistema de ecuaciones es:

$$T - 117,6 = 60 \cdot a \text{ (ecuación -1)}$$

$$294 - T = 30 \cdot a \text{ (ecuación 2)}$$

Cálculo de a:

Al sumar las dos ecuaciones establecemos:

$$294 - 117,6 = 90 \cdot a \rightarrow a = 176,4 / 90 = 1,96 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de T:

$$T = 60 \cdot 1,96 + 117,6 = 235,2 \text{ N}$$

4. a) La tensión actúa de fuerza centrípeta y por ello:

$$\vec{F}_{centrípeta} = \vec{T} = m \cdot \frac{v^2}{R} \vec{u}_n$$

Puesto que  $v = \omega R$ , establecemos que el valor de la tensión es:

$$T = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

siendo:

$$\omega = 10 \frac{\text{vueltas}}{\text{minuto}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} \cdot \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ s}} = \frac{\pi \text{ rad}}{3 \text{ s}}$$

Sustituyendo, se obtiene:

$$T = 2 \text{ kg} \cdot \left( \frac{\pi \text{ rad}}{3 \text{ s}} \right)^2 \cdot 0,30 \text{ m} = 0,658 \text{ N}$$

b) En este caso debemos plantear dos ecuaciones.

Para el cuerpo de masa 2 kg:

$$T_1 - T_2 = 2 \text{ kg} \left( \frac{\pi \text{ rad}}{3 \text{ s}} \right)^2 \cdot 0,30 \text{ m} = 0,658 \text{ N}$$

Para el cuerpo de 5 kg:

$$T_2 = 5 \text{ kg} \left( \frac{\pi \text{ rad}}{3 \text{ s}} \right)^2 \cdot 0,45 \text{ m} = 2,467 \text{ N}$$

Por tanto:  $T_1 = T_2 + 0,658 \text{ N} = 3,125 \text{ N}$

5. a) Aplicando la fórmula operativa de la cantidad de movimiento:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} = 25 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 1,67 \vec{i} \frac{m}{s} = 41,67 \cdot 10^3 \vec{i} \text{ kg} \frac{m}{s}$$

b) Si tenemos en cuenta que debe conservarse la cantidad de movimiento:

$$\vec{v} = \frac{41,67 \cdot 10^3 \vec{i} \text{ kg} \frac{m}{s}}{75 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 0,556 \vec{i} \frac{m}{s}$$

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos criterios de evaluación específicos para el presente tema.

Los alumnos y alumnas deben ser capaces de:

- Identificar las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo en función de sus interacciones.
- Realizar diagramas de fuerzas.
- Caracterizar el estado de movimiento de los cuerpos usando el concepto de cantidad de movimiento.
- Comprender el significado de las tres leyes de Newton.
- Aplicar la segunda ley de Newton a sistemas de uno o dos cuerpos enlazados.
- Calcular correctamente las características de la fuerza de rozamiento entre cuerpos que se deslizan.
- Calcular el peso de un cuerpo, usando el concepto de gravedad.
- Diferenciar las magnitudes físicas masa y peso.
- Calcular la tensión de un cable en sistemas de cuerpos enlazados.
- Calcular las características de la fuerza centrípeta en cuerpos que giran con movimiento circular uniforme, respecto a un sistema de referencia.
- Calcular el valor de la fuerza media implicada en una interacción instantánea, usando el concepto de impulso mecánico.
- Explicar observaciones cotidianas usando el concepto de impulso o el principio de conservación de la cantidad de movimiento, según proceda.
- Saber cuándo y cómo se aplica el principio de conservación de la cantidad de movimiento, teniendo en cuenta su carácter vectorial

## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

En función de las capacidades a desarrollar y de los criterios de evaluación indicados, se proponen las siguientes actividades ilustrativas de posibles ejercicios para la evaluación final del tema.

1. Explica si las siguientes frases son correctas:

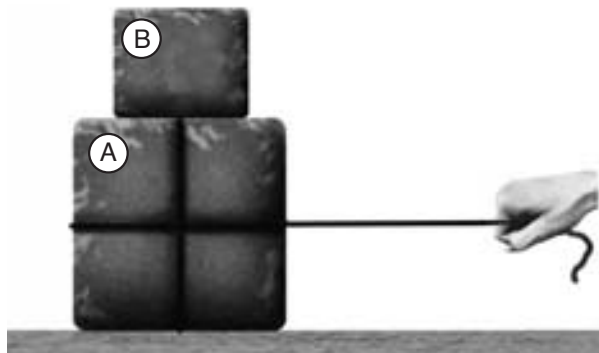
- Las fuerzas gravitatorias sólo existen entre cuerpos de masa muy grande.
- Los cuerpos que lanzamos hacia arriba se detienen y empiezan a caer cuando la fuerza que se les transmite se agota.
- Para que un cuerpo permanezca con velocidad constante es necesario realizar sobre él una fuerza constante.
- La fuerza de rozamiento entre dos sólidos en contacto es constante e independiente de su estado de movimiento relativo.
- La fuerza gravitatoria que la Tierra ejerce sobre una persona es mayor que la que ejerce la persona sobre la Tierra, puesto que el efecto apreciado en la persona es mayor.

2. Identifica y dibuja las fuerzas que actúan sobre un coche que circula por una carretera. Discute cómo debe de ser el valor relativo de esas fuerzas en las dos situaciones siguientes:

- Cuando el coche avanza con rapidez constante de 80 km/h.
- Cuando el coche acelera, aumentando su velocidad.

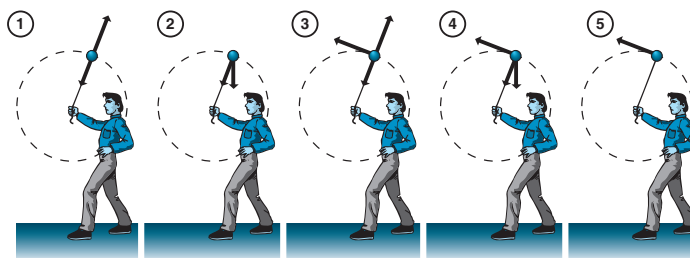
3. Un ciclista puede desarrollar una fuerza motora de 100 N. Si consideramos que todas las fuerzas de rozamiento son constantes y tienen un valor de 50 N, calcula la aceleración del ciclista, considerando que la masa del conjunto ciclista - bicicleta es de 100 kg. ¿Qué rapidez poseerá al cabo de 20 s? ¿Y al cabo de 20 minutos? Analiza los resultados y establece las conclusiones oportunas.

4. ¿Qué ocurrirá si tiramos de la cuerda en la situación indicada en la figura?



- Si el cuerpo B, inicialmente en reposo, empieza a moverse hacia delante, ¿qué fuerza habrá sido responsable de que se haya puesto en movimiento?
- Representa las fuerzas aplicadas a cada cuerpo y haz una estimación cualitativa de su valor, sabiendo que  $m_A > m_B$ .

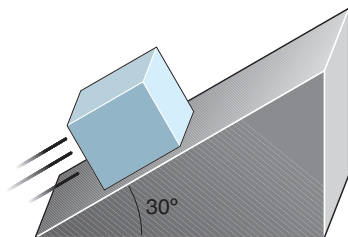
5. Un chico está haciendo girar una piedra en el plano vertical. Elige, razonando, cuál o cuáles de los dibujos anexos representa o representan las fuerzas que actúan sobre la piedra.



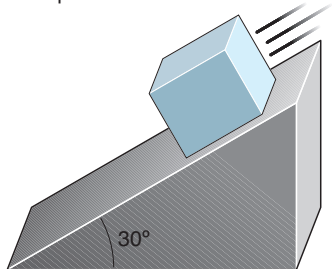


6. Analiza los sistemas representados en las figuras anexas y calcula:

Bloque ascendiendo



Bloque descendiendo



- La aceleración del cuerpo cuando asciende y cuando desciende.
  - El ángulo para el cual el cuerpo permanece en reposo sobre el plano.
- Dato: coeficiente de rozamiento dinámico,  $\mu = 0,1$ .
- Un tractor de 3000 kg arrastra mediante un cable un remolque de 5000 kg. Si estimamos que el coeficiente de rozamiento de las ruedas con el suelo, para ambos cuerpos, es de 0,2, calcula:
    - La fuerza ejercida por el motor del tractor para que el sistema se mueva a velocidad constante.
    - La fuerza que debe realizar el tractor para incrementar la velocidad del sistema de 50 km/h a 80 km/h en 10 s, suponiendo que mantenga la aceleración constante.
  - El satélite europeo Envisat se encuentra en una órbita estable a 800 km de la superficie de la Tierra. Sabiendo que la masa del satélite es de 8 t, determina:
    - El valor de la fuerza que hace girar el satélite.
    - Haz una representación de las fuerzas que actúan sobre el satélite, explicando su origen y su efecto.

Si suponemos que el movimiento del satélite, respecto al centro de la Tierra, es circular uniforme:

- Calcula la aceleración centrípeta del satélite.
- ¿Cuántas vueltas da el satélite en un día alrededor del centro de la Tierra?

Datos:  $M_{\text{Tierra}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ;  $R_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$ ;

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{Kg}^2}$$

- Dos bloques A y B que comprimen un muelle se hallan unidos mediante una cuerda. Se quema la cuerda y el muelle aleja los bloques cayendo verticalmente al suelo. Si el bloque A tiene una velocidad de  $2 \text{ m/s}$ , calcula la velocidad del bloque B.  
Dato:  $m_B = 2 m_A$
- ¿Cuál es la rapidez que un futbolista puede comunicar al balón si la fuerza media con que chuta es de 2000 N y la patada dura 8 ms? Dato:  $m_{\text{balón}} = 500 \text{ g}$ .
- Un patinador de 80 kg que se desplaza a 36 km/h choca frontalmente contra otro de 50 kg y continúan unidos sin caerse después de la colisión. Determina con qué rapidez se desplazan unidos. Explica el principio en que te basas para calcular la velocidad.
- ¿Cuál es la máxima rapidez con que un coche de 1,5 t de masa puede tomar una curva de 50 m de radio sin derrapar, si el coeficiente de rozamiento estático máximo posee un valor de 0,3?
- Un caballo ( $m = 300 \text{ kg}$ ) gira alrededor de un pilón atado por una cuerda. Si la tensión máxima que puede soportar la cuerda es de 5000 N y suponiendo que el movimiento del caballo es MCU, explica cómo puede el caballo liberarse de la cuerda. Si la longitud de giro de la cuerda es de 1,5 m, calcula el valor de la rapidez que debe tener el caballo para romper la cuerda.
- Haz un estudio dinámico del movimiento de caída de un paracaidista y representa la variación del valor de la velocidad en función del tiempo de caída. ¿Qué sucedería si el paracaidista se dejara caer en la Luna?
- Se lanza una moneda con una rapidez de 20 km/h por una rampa de 15° de inclinación respecto la horizontal. Si la moneda asciende una altura de 88,3 cm (respecto a la base), determina el coeficiente de rozamiento entre el suelo de la rampa y la superficie de la moneda.

## 7. BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### 1 Bibliografía específica

ARANDA, J. (1983). *Un tema de física: las fuerzas de inercia*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.

BAIG, A. y AGUSTENCH, M. (1987). *La revolución científica en los siglos XVI y XVII*. Colección BREDA. Barcelona: Editorial Alhambra.

BECERRA, C. (2004). *La enseñanza de la mecánica newtoniana con una estructura problematizada en el primer curso universitario*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante.

BELTRÁN, A. (1983). *Galileo: el autor y su obra*. Barcelona: Barcanova.

COHEN, I.B. (1983). *La revolución Newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Madrid: Alianza.

GETTYS, W.; KELLER, F.; SKOVE, M. (1992). *Física: clásica y moderna*. Madrid: McGraw - Hill.

HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos*. Monachil: Editorial Elzevir.

HEWITT. (1997). *Conceptos de Física*. México: Edita Limusa.

HOLTON, G. (1989). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.

IRODOV, I. E. (1990). *Leyes fundamentales de mecánica*. Moscú: Editorial Mir.

LANGUE, V. (1978). *Paradojas y sofismas físicos*.

Moscú: Ediciones Mir.

NEWTON, I. (1998). *Principios matemáticos de la filosofía natural (I y II)*. Madrid: Alianza.

POZO, J. y GÓMEZ, M.A. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

RAÑADA, A. F. (1993). *Física básica*. Madrid: Alianza Editorial.

SÁNCHEZ RON, J. M. (2001). *El jardín de Newton. La ciencia a través de su historia*. Barcelona: Crítica.

TIPLER, P.A. (1999). *Física, para la ciencia y la tecnología (IV edición)*. Vizcaya: Editorial Reverté.

VIENNOT, L. (2002). *Razonar en física*. Madrid: A. Machado libros (aprendizaje).

WESTFALL, R. S. (1996). *Isaac Newton: una vida*. Cambridge University Press.

### Artículos

ACEVEDO, J.A. (1989). Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico lógico. *Enseñanza de las ciencias*, 7 (1), pp. 27 -34.

CAMPANARIO, J.M. (2001). ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), pp. 351 - 364.

CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), pp. 314 - 328.

CONCARI, SONIA, POZZA Y OTROS. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física a nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), pp. 273 - 280.

HEWSON, P.W. (1990). La enseñanza de “Fuerza y movimiento” como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 175 - 172.

JIMENEZ, E. SOLANO, I. y MARÍN, N. (1997). Estudio de la progresión en la delimitación de las “ideas” del alumno sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3), pp. 309 -328.

JIMÉNEZ, J. y PERALES, F.J. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 3 -19

PEDUZZI, L. y ZYLBERSTAJN, A. (1997). La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3), pp. 351 - 359.

SEBASTIÁ, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), pp. 161 - 169.

ZALAMEA, E. y PARÍS, R. (1992). ¿Es la masa una medida de la inercia? *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 212 - 215.

# LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA

## 4

### 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

El contenido del tema es muy semejante a lo que los alumnos que cursaron la Física y Química en 4º ESO pudieron estudiar. No obstante, deberemos revisar el concepto de energía antes de entrar en el nivel propio de este curso. Tradicionalmente se ha presentado a los alumnos/as, primero el concepto de trabajo, después el de energía y de forma independiente se ha estudiado el calor. Por otra parte, muchas veces se ha definido la energía como la capacidad de realizar trabajo. Esto puede justificarse por lo abstracto del concepto de energía, pero ya a nivel de Bachillerato debe de profundizarse en este concepto, uno de los más amplios e importantes de la Física.

Nuestra **propuesta didáctica** es, en consecuencia, la siguiente:

1º) Presentamos en primer lugar diversas transformaciones energéticas que permitan a los alumnos y a las alumnas familiarizarse con las características de la energía. El concepto de energía es *integrador* de muchas ramas de la Física y Química que aparentemente no parecen tener conexión.

2º) En todas las interacciones consideradas los diferentes tipos de energías se pueden clasificar, en principio, en *cinética* o *potencial*. Ahora bien, hemos seguido utilizando a veces denominaciones clásicas y específicas sobre distintos tipos de

energía por acercarnos al lenguaje propio del alumno y hacerle más sencillo el aprendizaje significativo de un concepto tan complejo como es el de la energía.

3º) Introducimos el **trabajo** (al comienzo del tema) y el **calor** (más adelante) como *mecanismos* diferentes para modificar la energía de los sistemas y, también, como *medida de la energía intercambiada*, por la acción de fuerzas en el caso del trabajo o por la diferencia de temperatura en el caso del calor.

Debe resaltarse el esquema conceptual siguiente:

**Interacción → Transferencia - Cambio- Transformación  
→ Conservación-degradación**

La conveniencia de utilizar los términos transferencia de energía de un sistema a otro o transformación de la energía, ha sido muy debatida; nosotros hemos utilizado ambos términos a lo largo del tema, en cuanto que puede haber transferencia energética sin que haya transformación aparente, por ejemplo si mezclamos agua caliente y agua fría. Cuando se da una interacción entre sistemas hay una transferencia de energía entre uno y otro, de modo que si uno aumenta su contenido energético (“gana” energía) es porque el otro lo disminuye (“la cede”), pero la suma total se conserva.

4º) Al relacionar el trabajo realizado sobre un cuerpo (considerado puntual) con la energía cinética, establecemos el teorema del trabajo o de las fuerzas vivas. Además de tratar la *energía potencial gravitatoria*, ya conocida por los alumnos, opcionalmente se puede analizar la *energía potencial elástica*.

El análisis de las interconversiones entre  $E_c$  y  $E_p$  lleva a establecer el *principio de conservación* de la energía mecánica, aplicable a ejercicios diversos de gran interés didáctico.

5º) Estudiamos la *energía interna* de los sistemas, debido a su importancia para justificar la conservación de la energía. Además, nos basamos en la teoría cinético-molecular de

la materia para explicar conceptos como temperatura, energía interna, cambios de estado, equilibrio térmico...

6º) Una vez analizadas las características del trabajo y el calor, presentamos un enunciado general del *principio de conservación de la energía*, lo que permite analizar cualquier proceso energético. Finalmente, explicamos el significado de la *degradación de la energía*.

7º) Para terminar, el apartado *Obtención y consumo de recursos energéticos: presente y futuro* muestra algunos aspectos del problema derivado de un alto consumo energético, teniendo en cuenta que los recursos son limitados y el impacto ambiental que produce, sobre todo, el uso de las fuentes energéticas tradicionales.

## 2. CONTENIDOS

### 1. La energía y su transferencia

- Concepto de energía.
- Cualidades de la energía.
- Clases de energía.
- La energía es una magnitud escalar.
- Procesos que hacen variar la energía de un sistema

### 2. El trabajo en los fenómenos mecánicos

- Definición operativa de trabajo.
- Unidades de la energía.
- Trabajo realizado por la acción de diversas fuerzas simultáneas.
- Potencia y rendimiento de las máquinas.

### 3. La energía cinética y su relación con el trabajo

- Expresión de  $E_c$ .
- Teorema del trabajo o de las fuerzas vivas.

### 4. Energía potencial

- La energía potencial gravitatoria.
- La energía potencial elástica.
- Las fuerzas conservativas y la conservación de la energía mecánica.
- Caso general

### 5. Procesos de transformación de la energía mecánica

- La energía mecánica y su conservación.
- Análisis de algunos casos
- Caso general

### 6. El calor, un proceso de transferencia de energía

- La temperatura y su medida. Escalas de temperatura.
- La energía interna.
- Variación de la energía interna y calor específico.
- Equilibrio térmico y cambios de estado.

### 7. Primer principio de la termodinámica

- La “equivalencia” entre trabajo y calor.
- Primer principio de la termodinámica.

### 8. Un enunciado útil del principio de conservación de la energía

- Enunciado del principio de conservación de la energía.
- Revisión de procesos sin rozamiento y procesos con rozamiento

### 9. Degradación de la energía

- La energía se degrada.
- Procesos imposibles.
- El segundo principio de la termodinámica.

### 10. Obtención y consumo de recursos energéticos: presente y futuro

- Diversidad de fuentes de energía.
- Consumo energético e impacto ambiental.
- Energías renovables.
- El impacto ambiental.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Asociar la energía con los cambios en los sistemas materiales.</li> <li>2. Conocer las cualidades y las clases de energía (cinética y potencial).</li> <li>3. Asociar trabajo y calor con procesos que hacen variar la energía de un sistema.</li> <li>4. Conocer la definición operativa de trabajo y a partir de ella definir el julio.</li> <li>5. Conocer la definición de potencia y sus unidades usuales.</li> <li>6. Establecer las expresiones de la energía cinética y la energía potencial (gravitatoria y elástica).</li> <li>7. Diferenciar trabajo exterior, interior y neto y comprender el teorema del trabajo o de las fuerzas vivas.</li> <li>8. Analizar las interconversiones entre <math>E_c</math> y <math>E_p</math> y enunciar el principio de conservación de la energía mecánica.</li> <li>9. Asumir la diferencia entre temperatura, calor y energía interna.</li> <li>10. Calcular la variación de energía interna por variación de temperatura o en un cambio de estado.</li> <li>11. Comprender el enunciado general del principio de conservación de la energía y aplicarlo a procesos donde intervienen fuerzas de rozamiento.</li> <li>12. Conocer el carácter limitado de las fuentes tradicionales de energía y la relación entre su impacto ambiental y el desarrollo sostenible.</li> <li>13. Concienciarse de la importancia actual de las fuentes de energía renovables y sus posibilidades futuras.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar con propiedad el concepto de energía.</li> <li>2. Clasificar las diferentes energías como cinéticas o potenciales.</li> <li>3. Utilizar los términos trabajo y calor como mecanismos de transferencia de energía y saber calcular su valor numérico.</li> <li>4. Utilizar con corrección las unidades usuales de energía y potencia (J, kWh, tep, tec y caloría).</li> <li>5. Utilizar las ecuaciones de la <math>E_c</math>, <math>E_p</math> y la <math>E_p</math> elástica para realizar cálculos sobre las transformaciones energéticas.</li> <li>6. Analizar conversiones de energía cinética en energía potencial y viceversa, utilizando el principio de conservación de la energía mecánica.</li> <li>7. Explicar, basándose en la teoría cinético-molecular de la materia, las variaciones de energía interna y los cambios de estado.</li> <li>8. Resolver ejercicios en los que hay que tener presente el equilibrio térmico.</li> <li>9. Aplicar el concepto de rendimiento a los cálculos numéricos sobre diferentes máquinas.</li> <li>10. Razonar qué transformaciones energéticas serán imposibles utilizando el concepto de degradación de la energía.</li> <li>11. Clasificar las fuentes de energía útil en renovables o no renovables.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Esforzarse por utilizar con corrección el lenguaje científico.</li> <li>2. Reconocer el papel de la ciencia en el desarrollo de la Humanidad y aceptar el carácter cambiante de las teorías y las explicaciones científicas.</li> <li>3. Valorar el orden en el trabajo y esforzarse por aplicar los métodos y las actitudes propios de los científicos (precisión, ausencia de prejuicios, etc.).</li> <li>4. Valorar la aportación social de los descubrimientos científicos relacionados con la energía y la necesidad de ahorrar energía.</li> <li>5. Valorar las características asociadas al uso de los diferentes recursos energéticos.</li> <li>6. Comprender la necesidad de implantar medidas y políticas eficaces que permitan controlar las emisiones de gases invernaderos y paliar el “problema del cambio climático”.</li> <li>7. Fomentar el ahorro energético y el uso de fuentes energéticas eficaces y “limpias”, es decir respetuosas con el medio ambiente.</li> </ol>



## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** Las cualidades de la energía que debemos destacar son:

- Es una propiedad característica de un sistema que se relaciona con las *transformaciones* que experimenta el sistema o que puede producir en otro sistema.

- La energía es una propiedad que *se conserva*.

- La energía siempre *evoluciona hacia formas menos útiles*, que son las que admiten menos transformaciones.

La puesta en común de esta actividad debe conducirnos a la primera idea clave: *la energía está ligada a los cambios en los sistemas*, o a las posibilidades de cambio.

**A.2.** El **trabajo** y el **calor** son dos mecanismos por los que podemos modificar la energía de un sistema.

La realización de **trabajo** está ligada a fuerzas que desplazan su punto de aplicación; aquí consideramos incluido el caso del trabajo realizado por la presión.

En cuanto al **calor**, la transferencia de energía se debe a una diferencia de temperatura entre dos sistemas, ya que se produce por choques a nivel de partículas constituyentes de dos sistemas en contacto. Más adelante hablaremos de la transferencia de energía por **radiación**.

En los ejemplos mencionados:

- Un coche en movimiento puede aumentar o disminuir su energía cinética mediante el trabajo realizado por la fuerza motriz y/o por la fuerza de rozamiento.

- Un cubito de hielo puede aumentar su energía interna por realización de calor o mediante un trabajo de fricción.

- Un muelle puede aumentar su energía potencial elástica aplicando una fuerza externa que realice trabajo sobre él, comprimiéndolo o estirándolo.

- Un libro apoyado en un pupitre puede aumentar o disminuir su energía cinética empujándolo o su potencial gravitatoria levantándolo.

- Una masa de aire encerrada en una jeringa puede aumentar o disminuir su energía interna mediante trabajo y/o calor.

**A.3.** Teniendo en cuenta la expresión del trabajo,

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos\theta,$$

al ir aumentando el ángulo el trabajo irá disminuyendo. De este modo se cumplirá:

$$W > 0, \text{ si } 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ; W = 0, \text{ si } \theta = 90^\circ;$$

$$W < 0, \text{ si } 90^\circ < \theta \leq 180^\circ.$$

**A.4.** Aplicando la expresión  $W = F \cdot \Delta x$ , se obtiene:  
 $W = 350 \text{ N} \cdot 5,8 \text{ m} = 2\,030 \text{ J}.$

**A.5.** a) Hay que insistir en que el kWh es unidad de energía, pero que es absurdo escribir 1 kW/h; como sabemos,

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

$$\text{b) } W = P \Delta t = 150 \text{ CV} \cdot \frac{735,5 \text{ W}}{1 \text{ CV}} \cdot 3 \text{ h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 1,19 \cdot 10^9 \text{ J}.$$

**A.6.** Si un vehículo avanza con rapidez constante se cumple:  $P = W/\Delta t = F_{\text{motriz}} \cdot \Delta x / \Delta t = F_{\text{motriz}} \cdot v.$

La fuerza que realiza el motor para avanzar con rapidez constante debe contrarrestar a la fuerza de rozamiento total, es decir:  $F_{\text{motriz}} = F_{\text{roz. total}}.$

$$\text{Por tanto, } P = F_{\text{roz. total}} \cdot v.$$

Como la rapidez es  $v = 30,56 \text{ m/s}$ , se obtiene:

$$P = (750 + 200) \text{ N} \cdot 30,56 \text{ m/s} = 29\,032 \text{ W} = 39,5 \text{ CV}.$$

**A.7.** a) El trabajo se relaciona con la potencia con la ecuación  $W = P \Delta t$ . Si expresamos la potencia y el tiempo en unidades del SI se obtiene:

$$W_{\text{útil}} = 5 \text{ CV} \cdot 735,5 \text{ W/CV} \cdot 3600 \text{ s} = 1,324 \cdot 10^7 \text{ J}.$$

b) Nos interesa expresar el  $W_{\text{útil}}$  en kWh:

$$W_{\text{útil}} = 3,678 \text{ kWh}.$$

Un rendimiento del 95 % significa que de 100 unidades de energía eléctrica se aprovechan 95 unidades en la realización de trabajo en el motor eléctrico. Por consiguiente:

$$E_{\text{eléctrica}} = 3,678 \text{ kWh} \cdot \frac{100 \text{ kWh}}{95 \text{ kWh}} = 3,87 \text{ kWh}.$$

**A.8.** La capacidad de transformación es directamente proporcional a la masa; luego será mayor la del camión.

**A.9.** La unidad de la masa debe ser el kg y la unidad de la velocidad el m/s.

La energía cinética no puede ser negativa, porque los términos de que depende,  $m$  y  $v^2$  son siempre positivos.

**A.10.** a) La velocidad de la maleta respecto al pasajero es cero, luego  $E_c = 0$ .

b) En este caso  $v = 100 \text{ km/h}$  ( $27,78 \text{ m/s}$ ) y la energía cinética dependerá de la masa ( $m$  kg) de la maleta:  $E_c = 386 \text{ m julios}.$

La conclusión es que el valor de la energía cinética depende del sistema de referencia, como la velocidad.

**A.11.** Un aumento de  $E_c$  se produce mediante el trabajo de la fuerza que ejerce una raqueta sobre la pelota de tenis al realizar el saque. Por el contrario, la energía cinética de la pelota se disipa al rebotar ésta sucesivamente con el suelo hasta quedar en reposo.

**A.12.** La fuerza resultante, en ausencia de rozamiento, es el peso, luego

$$W_{\text{peso}} = m g H = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 3} = 7,67 \text{ m/s}$$

**A.13.** a) El coche ha disminuido su energía cinética, debido al choque con el obstáculo (pared); como la masa de la pared es inmensa comparada con la del coche, su velocidad de retroceso es prácticamente nula.

b) No es aplicable el teorema de la energía cinética, ya que el coche no es un objeto puntual, sino un cuerpo deformable. Por ello, al producirse el choque, la fuerza de la pared sobre el coche lo deforma; su energía cinética se emplea básicamente en deformar la estructura del vehículo.

**A.14.** a) Fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es

$$F_{\text{neta}} = F - mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) =$$

$$= 100 - 15 \cdot 9,8 (\sin 30 + 0,2 \cdot \cos 30) = 1,04 \text{ N}$$

y por tanto la aceleración será

$$a = \frac{F_{\text{neta}}}{m} = \frac{1,04 \text{ N}}{15 \text{ kg}} = 0,07 \text{ m/s}^2$$

Cuando ha recorrido 5 m, la rapidez será

$$v = \sqrt{2 a \Delta x} = \sqrt{2 \cdot 0,07 \cdot 5} = 0,83 \text{ m/s}$$

El teorema de la energía cinética se expresa por la ecuación  $W_{\text{neto}} = \Delta E_c$ ; en este caso el trabajo neto es

$$W_{\text{neto}} = F_{\text{neta}} \Delta x = 1,04 \text{ N} \cdot 5 \text{ m} = 5,2 \text{ J.}$$

Finalmente, de la ecuación  $\frac{1}{2} m v^2 = W_{\text{neto}}$  despejamos v:

$$v = \sqrt{\frac{2 W_{\text{neto}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,2 \text{ J}}{15 \text{ kg}}} = 0,83 \text{ m/s}$$

(resultado coincidente con el del cálculo dinámico).

**A.15.** a) Si no actúa la fuerza de rozamiento, la energía mecánica se conserva; como

$$\Delta E_c = -mg \Delta h$$

e  $\Delta h$  es la misma para los dos objetos, su rapidez final será la misma.

Si hay rozamiento, la rapidez final no coincidirá y como la resistencia del aire es pequeña, cabe suponer que será  $v_A > v_B$ .

b) Supongamos dos esferas iguales la que se dejan caer. La esfera A cae con MUA provocado por la fuerza peso actuando "sobre su centro de gravedad"; su movimiento es solamente de traslación; en cambio, la esfera B cae rodando sobre el plano inclinado, sometida a la fuerza peso y a la fuerza de rozamiento, que como no está aplicada en el centro de gravedad de la esfera (C) le provoca un movimiento de rotación alrededor de un eje que pasa por C; por ello, su energía cinética es tanto de traslación, movimiento que la hace avanzar sobre el plano, como de rotación alrededor del eje citado; por ello, la rapidez de traslación de la esfera sobre el plano es menor que la del objeto cúbico.

**A.16.** En la fotografía puede verse que el arco recorrido entre dos destellos va creciendo a medida que la esferilla cae; luego el movimiento es acelerado, como puede mostrarse analizando las fuerzas que actúan (el peso y la tensión del hilo) durante la caída.

En el punto más bajo, no existe fuerza tangencial sobre la esferilla, aunque existe fuerza centrípeta, lo que significa que en ese punto  $a_{tg} = 0$  y el movimiento pasa de ser acelerado a ser retardado; es decir, en el punto más bajo la rapidez es máxima.

Si dejamos oscilar durante mucho tiempo la esferilla, debido al rozamiento irá perdiendo altura y finalmente quedará en reposo. Su energía mecánica se habrá transformado en energía interna de la esferilla y su entorno.

**A.17.** a) La principal fuente de imprecisión está en la medida del ángulo, cuyo valor se utiliza para calcular la variación de energía potencial. Para mejorar el acuerdo entre las variaciones de  $E_p$  y  $E_c$  cabe tomar las siguientes medidas:

1º Perfeccionar el método de medida del ángulo.

2º Repetir la medida del tiempo, ya que aunque el cronómetro aprecia 0,001 s el % de dispersión en nuestro caso ha sido del 8%.

3º Aumentar la masa del carrito para que el movimiento sea más lento y por tanto aumente  $\Delta t$ , con lo que la imprecisión relativa de esta magnitud será menor.

b) Como indica el texto, lo que llamamos imprecisión relativa es del 5 %, que es un valor que podemos considerar bajo, es decir *se trata de una comprobación aceptable* de la conservación de  $E_m$ .

c) Si el trabajo de rozamiento no hubiese sido despreciable, la energía cinética final hubiese sido claramente inferior a la potencial inicial, cosa que no ha ocurrido.

**A.18.** La suma de la energía cinética y la energía potencial se conserva, al suponer rozamiento nulo.

1º) La energía potencial en A se transforma en energía potencial y energía cinética en C, es decir:

$$E_{pA} = E_{pC} + E_{cC}$$

$$\text{y por tanto: } m g H_A = m g H_C + \frac{1}{2} m v_C^2$$

$$v_C = \sqrt{2g(h_A - h_C)} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot (1 - 0,5)} \text{ m/s} = 3,13 \text{ m/s}$$

2º) Para que al menos llegue al punto más alto (E) toda la energía cinética más la energía potencial en A debe transformarse en energía potencial en E.

$$E_{pA} + E_{cA} = E_{pE}$$

$$m g h_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = m g h_E$$

$$v_A = \sqrt{2g(h_E - h_A)} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot (3 - 1)} \text{ m/s} = 6,26 \text{ m/s}$$

3º) Como se conserva la energía mecánica:

$$E_{p,C} + E_{c,C} = E_{p,E} + E_{c,E}$$

$$m g h_C + \frac{1}{2} m v_C^2 = m g h_E + \frac{1}{2} m v_E^2$$

$$9,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 1^2 = 9,8 \cdot 3 + \frac{1}{2} v_E^2$$

Aislado  $v_E^2$ :

$$v_E^2 = (5,4 - 29,4) \cdot 2 = -48 \rightarrow \text{Imposible.}$$

El cochecito no llega a E.

**A.19.** a) Cada rebote con el suelo es un choque *inelástico* donde se disipa parte de la energía cinética de la pelota, que por otra parte es igual a la potencial ( $mgh$ ) de partida.

En la caída de la pelota se cumple

$$m g h = \frac{1}{2} m v^2$$

y en la subida tras el rebote se cumple

$$m g h' = \frac{1}{2} m v'^2$$

Si dividimos ambas ecuaciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{h}{h'} = \frac{v^2}{v'^2} \rightarrow \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{h'}} = \frac{v}{v'}$$

b) La energía disipada en cada rebote se puede calcular mediante la ecuación

$$\begin{aligned} E_{\text{dis}} &= E_{c,0} - E_{c,f} = mgh - mgh' = mg(h - h') = \\ &= 0,05 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 (h - h') \text{ m} = 0,49 (h - h') \text{ J.} \end{aligned}$$

En el rebote 1º se disipan 0,1421 J, en el 2º se disipan 0,125 J, etc. Y comprobamos que la cantidad disipada va disminuyendo.

c) Si calculamos el cociente  $v/v'$  para cada choque obtenemos:

$$1) v/v' = \sqrt{h/h'} = \sqrt{(200/171)} = 1,082$$

$$2) v/v' = \sqrt{h/h'} = \sqrt{(175/149,5)} = 1,082$$

$$3) v/v' = \sqrt{h/h'} = \sqrt{(150/128)} = 1,083$$

$$4) v/v' = \sqrt{h/h'} = \sqrt{(125/106,5)} = 1,083$$

$$5) 1,081; 6) 1,081; 7) 1,085; 8) 1,078$$

En definitiva,  $v/v' = \text{cte.}$ , con muy buena aproximación. Veamos su justificación, aceptando que en cada choque la fracción de  $E_c$  disipada es la misma:

$$\frac{E_{c,\text{disipada}}}{E_{c,0}} = \frac{E_{c,0} - E_{c,\text{final}}}{E_{c,0}} = \frac{mgh - mgh'}{mgh} = 1 - \frac{h'}{h}$$

**A.20.** a) El término *calor* está utilizado en lugar de *energía interna*. Por ello la frase es incorrecta.

b) Aquí se utiliza calor en lugar de *temperatura*, otra confusión muy frecuente. Frase incorrecta.

c) La mano *no acumula calor*; se llama calor a la energía transferida. Se trata de otro de los errores conceptuales más frecuentes.

**A.21.** Podemos cambiar la energía interna de un cuerpo calentándolo o enfriándolo (el vaso de agua), golpeándolo (haciendo un trabajo sobre la barra de hierro), aumentando la presión sobre él (caso del aire encerrado en la jeringa)... En definitiva, realizando *calor y/o trabajo* sobre el cuerpo o dejando que éste actúe sobre su entorno.

## Exp.2 Utilizando el calorímetro

### Observaciones:

1º) Los valores del equivalente en agua del calorímetro que obtienen los diferentes grupos pueden ser muy diferentes. Por ello, para hacer la 2ª parte del experimento, es conveniente que empleen el valor del equivalente proporcionado por la profesora o el profesor antes de inicial la 2ª parte.

2º) El calor específico de los metales es muy bajo, por lo que deberá emplearse la pieza metálica de mayor masa posible.

3º) Las manipulaciones deben realizarse con rapidez y sin "manosear" el calorímetro, a fin de evitar transferencias de energía indeseables.



**A.22.** La conservación de la energía permite escribir

$$\Delta E_{\text{frío}} = -\Delta E_{\text{caliente}} \quad (\text{ec.1})$$

lo que significa que el aumento de energía interna del agua fría y del calorímetro es igual a la disminución de la energía interna del agua caliente.

Si la variación de energía interna del calorímetro la expresamos en función de su equivalente en agua,  $E$ ,  $\Delta E_{\text{calorímetro}} = (m_f + E) c (t_e - t_1)$ , la ec.1 queda así:

$$(m_f + E) c (t_e - t_1) = m_c c (t_2 - t_e)$$

Simplificando y operando :

$$(0,450 + E) \cdot (25 - 15) = 0,200 \cdot (50 - 25)$$

$$4,5 + 10 E = 5; 10 E = 0,5; E = 0,05 \text{ kg.}$$

**A.23.** Para calcular la energía que hay que aportar a un cubito de hielo de 20 g a 0 °C para convertirlo en 20 g de agua líquida a 50 °C, hay que distinguir dos partes en este proceso:

1) Cambio de estado a 0 °C

2) Aumento de temperatura de 0 °C a 50 °C.

Cambio de estado: La energía que hay que aportar es:  
 $\Delta E_1 = m \cdot L_F$ .

Aumento de temperatura: La energía suministrada es:  
 $\Delta E_2 = m \cdot c \cdot \Delta t$

La energía total aportada es:  $\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2$

$$\Delta E = m \cdot L_f + m c \Delta t = m(L_f + c \Delta t) =$$

$$= 20 \text{ g} (334,4 \text{ J/g} + 4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C} \cdot 50 ^\circ\text{C}) = 10\,868 \text{ J}$$

**A.24.** a) La radiación electromagnética es emitida por el Sol, una llama y, en general, por todos los objetos en función de su temperatura. Dentro de la radiación se distinguen los rayos X, la radiación ultravioleta, la radiación visible (luz), los infrarrojos, las microondas, las ondas de radio y TV...

b) Significa que el trabajo realizado por las fuerzas de fricción implica una transferencia de energía que aumenta la energía interna del hielo, que acaba por fundirse, sin producirse calor puesto que inicialmente los dos trozos de hielo poseen la misma temperatura.

**A.25.** El calor específico del agua en el SI es

$c = 1 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C}$  y como

$$1 \text{ libra-fuerza} \cdot 1 \text{ pie} = 0,4536 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 0,3048 \text{ m} = 1,355 \text{ J}$$

el trabajo y el calor realizados son

$$W = 817 \text{ libra-fuerza} \cdot 1 \text{ pie} = 1\,107,035 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t = 0,4536 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot \frac{5}{9} ^\circ\text{C} = 0,252 \text{ kcal}$$

$$\frac{W}{Q} = \frac{1\,107,035 \text{ J}}{252 \text{ cal}} = 4,39 \text{ J / cal.}$$

**A.26.** Las magnitudes que intervienen son:

El trabajo W Estrictamente la fuerza debida a la presión atmosférica realiza un trabajo sobre el sistema porque hay una disminución de volumen, al ser la densidad del hielo mayor que la del agua (líquida). Pero este trabajo lo podemos despreciar.

El calor Q Como el sistema está aislado, no hay calor intercambiado con el exterior:  $Q = 0$ .

La energía interna,  $E_{\text{int}}$  Aumenta la interna del hielo (proceso de fusión) y disminuye la del agua, que se enfría.

Aplicando la ecuación del primer principio,

$$W + Q = \Delta E_{\text{int}} \rightarrow 0 + 0 = \Delta E_{\text{in}} \rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Suponiendo que el hielo está a 0 °C y que todo el hielo se funde y llamando 1 al sistema frío y 2 al agua caliente:

$$-\Delta E_{\text{int}, 1} = m_h L_{\text{fusión}} + c_{\text{agua}} m_h (t_{\text{eq}} - 0)$$

$$\Delta E_{\text{int}, 2} = c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} (t_{\text{agua, inic}} - t_{\text{eq}})$$

Para realizar cualquier cálculo, igualaremos ambas variaciones de energía.

**A.27.** Los ejemplos más frecuentes que se citan son los relacionados con la irreversibilidad de la transformación  $E_{\text{mecánica}} \rightarrow E_{\text{interna}}$ ; por ejemplo, no podemos aprovechar el aumento de energía interna de la broca de un taladro para hacerlo girar y ahorrar así energía eléctrica. Dicho de otro modo, la energía interna de la broca es energía degradada.

**A.28.** A nuestro juicio, los dos hechos más interesantes son:

1° En cuanto al % de aportación al consumo, el máximo corresponde al *petróleo* (70 864 ktep, de un total de 140 405 ktep, lo que equivale al 50 %); si añadimos que el % de auto-abastecimiento es sólo del 0,2 %, confirmamos la fuerte dependencia energética que tenemos del petróleo. Esta situación se repite para el gas natural.

2° Más de la mitad de la energía *producida en España* es de origen nuclear (en este año concreto, el 56,4 %).

Conclusiones: a) Fuerte dependencia del petróleo y del gas natural, que hay que importar. b) La producción nacional (energía obtenida de “fuentes” no importadas) está basada en gran parte en las centrales nucleares, especialmente en los años poco lluviosos, por lo que en un futuro inmediato no se podrá prescindir de ellas.

**A.29.** De la ecuación de la potencia,  $P = \Delta E / \Delta t$ , aislamos el tiempo medio de funcionamiento al año:

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{15\,056 \cdot 10^9 \text{ Wh}}{8\,155 \cdot 10^6 \text{ W}} = 1\,846,23 \text{ h}$$

Y dividiendo por 365 días obtenemos 5,06 h al día.

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

### ENERGÍA CINÉTICA Y ENERGÍA POTENCIAL

1. a) Respecto al observador en reposo:

$$E_{c0} = 1/2 m v_0^2 = 1/2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot (72/3,6)^2 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$E_{c0} = 200\,000 \text{ J.}$$

- b) Si la rapidez es la mitad, su  $E_c$  será la cuarta parte:

$$E_{c'} = E_{c0}/4 = 200\,000 \text{ J}/4 = 50\,000 \text{ J.}$$

2. Partimos de la expresión  $\Delta E_p = m g \Delta h$ . Según los datos del ejercicio  $E_{p1} = 1470 \text{ J}$ , siendo  $h_1 = 30 \text{ m}$  y  $E_{p,0} = 0 \text{ J}$  con  $h_0 = 0$ . Deducimos que el peso del cuerpo es:  $mg = E_{p1}/h_1 = 1\,470/30 = 49 \text{ N}$ .

Utilizando la misma expresión entre el punto que se encuentra a 20 m de profundidad y el suelo, se cumple:

$$E_{p0} - E_{p2} = 0 - mg(-h_2) \text{ y, por tanto,}$$

$$E_{p2} = -mgh_2 = -49 \text{ N} \cdot 20 \text{ m} = -980 \text{ J.}$$

3. Con la expresión de la energía cinética y la de la masa en función de la densidad ( $m = \rho V$ ) se obtiene:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho V v^2.$$

Sustituyendo los valores numéricos llegamos a:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 5000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot (10^4)^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 5 \cdot 10^{21} \text{ J}$$

Para decir si notaría mucho la Tierra el choque, podemos calcular la energía cinética del movimiento de traslación de la Tierra.

$$\text{Datos: } M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg, } r_{\text{Sol-Tierra}} = 1,49 \cdot 10^{11} \text{ m,}$$

$$T = 3,16 \cdot 10^7 \text{ s:}$$

$$\begin{aligned} E_{c,T} &= \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (\omega r_{\text{Sol-Tierra}})^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot (2\pi \cdot 1,49 \cdot 10^{11} / 3,16 \cdot 10^7)^2 = \\ &= 2,62 \cdot 10^{33} \text{ J.} \end{aligned}$$

Como la energía del asteroide es unas  $10^{12}$  veces menor, consideramos que no notaría “mucho” el choque a efectos de cambios de la órbita terrestre.

### CONCEPTOS DE TRABAJO Y POTENCIA

4. Si suponemos la órbita circular, la fuerza de atracción de la Tierra sobre la Luna es la fuerza centrípeta y por

tanto su dirección es perpendicular al desplazamiento, luego el trabajo es nulo. En efecto, la energía de la Luna no se ve afectada con la acción de la fuerza de atracción y por tanto la rapidez con que gira se mantiene constante.

5. a) El trabajo será igual a la fuerza, que en medida es igual al peso, por el desplazamiento, es decir:

$$W = m g h = 5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 0,7 \text{ m} = 34,3 \text{ J.}$$

- b) En este caso el trabajo será cero, ya que la fuerza peso y el desplazamiento son perpendiculares.

- c) Es el caso opuesto al a), ya que el ángulo entre la fuerza exterior y el desplazamiento es  $180^\circ$ ; luego  $W = -34,3 \text{ J}$ .

6. No es válido, ya que en el valor de la potencia intervienen el trabajo realizado y el tiempo invertido.

7. a) El trabajo es:

$$W = F \cdot \Delta x = 150 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} = 2\,250 \text{ J.}$$

- b) Si el ángulo no es  $0^\circ$ , aplicamos la ecuación general del trabajo:

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \theta = 150 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} \cdot \cos 30^\circ = 1\,948,56 \text{ J.}$$

8. a) En el desplazamiento desde  $x = 0$  hasta  $x = 2 \text{ m}$ , el trabajo total corresponde al de una fuerza constante de  $5 \text{ N}$  desde  $x = 1 \text{ m}$  hasta  $x = 2 \text{ m}$ ; por tanto:

$$W_1 = F \cdot \Delta x \cdot \cos \theta = 5 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \cdot \cos 0^\circ = 5 \text{ J.}$$

- b) En este caso, al trabajo anterior,  $W_1$ , hay que sumarle el correspondiente a una fuerza variable desde  $5 \text{ N}$  a  $0 \text{ N}$  entre los puntos  $x = 2 \text{ m}$  hasta  $x = 3 \text{ m}$ . Como la fuerza media es de  $2,5 \text{ N}$ , obtenemos:

$$W_2 = F \cdot \Delta x \cdot \cos \theta = 2,5 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \cdot \cos 0 = 2,5 \text{ J.}$$

Por tanto:

$$W_{\text{total}} = W_1 + W_2 = 5 \text{ J} + 2,5 \text{ J} = 7,5 \text{ J.}$$

9. Como la rapidez con que asciende es constante, la fuerza que realiza el motor es justamente el peso total, es decir:

$$F = m_{\text{total}} g = (580 + 280) \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 8\,428 \text{ N}$$

y la potencia

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \Delta h}{\Delta t} = F v = 8\,428 \text{ N} \cdot 0,6 \text{ m/s} = 5\,056,8 \text{ W}$$

o en CV:

$$P = 5\,056,8 \text{ W} \cdot 1 \text{ CV}/735,5 \text{ W} = \underline{6,88 \text{ CV}}$$

10. Según el enunciado, la fuerza que debe vencer el motor se puede expresar como  $F = k v^2$ ; por tanto, la potencia será:  $P = F v = k v^2 v = k v^3$ .

Según esta relación, si se duplica la rapidez del vehículo, la potencia quedará multiplicada por  $2^3 = 8$ ; luego la potencia a 100 km/h será

$$P' = 8 P = 8 \cdot 20 \text{ CV} = 160 \text{ CV}.$$

11. a) La potencia útil la podemos calcular, suponiendo la rapidez constante, con la ecuación  $P_{\text{útil}} = F v$ .

La fuerza que ejerce la grúa es igual al peso de la carga y la rapidez es:  $v = \Delta h / \Delta t = 15 / 10 = 1,5 \text{ m/s}$ .

Por tanto:

$$P_{\text{útil}} = F v = 250 \cdot 9,8 \text{ N} \cdot 1,5 \text{ m/s} = 3\,675 \text{ W} = 5 \text{ CV}.$$

Como la potencia teórica es 8 CV, el rendimiento del motor es:

$$R_{\text{te}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{teórica}}} \cdot 100 = \frac{5 \text{ CV}}{8 \text{ CV}} \cdot 100 = 62,5 \%$$

12. El trabajo realizado se invierte en incrementar la energía potencial del tren. Calculamos directamente la potencia:

$$P_{\text{útil}} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{25 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 500 \text{ m}}{30 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min}} = 68\,055,6 \text{ W} = 92,6 \text{ CV}$$

13. El trabajo se invierte en disminuir su energía cinética:

$$W = \Delta E_c = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 750 (8^2 - 20^2) = -126\,000 \text{ J}.$$

Si el sistema es el automóvil, el trabajo realizado es negativo, ya que su energía disminuye.

14. Aplicamos el teorema de la energía cinética a la bala, siendo la fuerza resultante la de rozamiento de la bala con la tabla:

$$\begin{aligned} E_{c,2} - E_{c,1} &= W_{\text{result}} \\ -\frac{1}{2} m v_0^2 &= -F x \\ F &= \frac{1/2 m v_0^2}{x} = \frac{-0,04 \text{ kg} \cdot (150 \text{ m/s})^2}{0,16 \text{ m}} = 2\,812,5 \text{ N} \end{aligned}$$

15. El trabajo realizado al elevar un cuerpo se invierte en aumentar su energía potencial y, si la fuerza aplicada es superior al peso, en energía cinética. Por tanto, el trabajo mínimo será:

$$W = \Delta E_p = m g \Delta h = 30 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 1,5 \text{ m} = 441 \text{ J}.$$

16. Como el trabajo útil realizado por el motor se emplea en aumentar la energía cinética del coche,

$$\begin{aligned} P_{\text{media}} &= \frac{W_{\text{útil}}}{\Delta t} = \frac{1/2 m v^2}{\Delta t} = \frac{1/2 \cdot 900 \text{ kg} \cdot (100/3,6 \text{ m/s}^2)^2}{9 \text{ s}} = \\ &= 38\,580,25 \text{ W} = 52,45 \text{ CV} \end{aligned}$$

17. a) En el punto de lanzamiento:

$$E_{c,0} = 1/2 m v_0^2 = 1/2 \cdot 0,3 \text{ kg} \cdot (5 \text{ m/s})^2 = 3,75 \text{ J}.$$

$$E_{p,0} = 0; E_{\text{mec},0} = 3,75 \text{ J}.$$

- b) Calculamos la posición de la piedra en  $t = 1 \text{ s}$ :

$$h = v_0 t - 1/2 g t^2 = 5 - 0,5 \cdot 9,8 = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Por tanto: } E_p = mgh = 0,3 \cdot 9,8 \cdot 0,1 = 0,294 \text{ J}$$

y como se conserva la energía mecánica, que hemos calculado en el ap.a ( $E_{\text{mec}} = 3,75 \text{ J}$ ), resulta:

$$E_c = E_{\text{mec}} - E_p = 3,75 \text{ J} - 0,294 \text{ J} = 3,456 \text{ J}.$$

- c) En el punto más alto la energía potencial es igual a la mecánica (3,75 J) y la cinética es nula.

18. a) La fuerza centrípeta siempre es perpendicular al desplazamiento de la piedra, por lo que dicha fuerza no realiza trabajo.

- b) En el punto más alto, punto A, tenemos:

$$E_{c,A} = \frac{1}{2} m v_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot (2 \text{ m/s})^2 = 1 \text{ J}.$$

Al realizar la piedra media circunferencia, la fuerza peso sí realiza trabajo; la disminución de  $E_p$  equivale al aumento de  $E_c$ , con lo que en el punto más bajo, punto C:

$$\begin{aligned} E_{c,C} &= E_{c,A} + mg(h_A - h_C) = \\ &= 1 \text{ J} + 0,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 1,6 \text{ m} = 8,84 \text{ J}. \end{aligned}$$

19. Que la velocidad de caída sea constante significa que la fuerza peso queda equilibrada con la fuerza de rozamiento del paracaídas con el aire, como debe mostrar el diagrama de fuerzas dibujado por el alumno o la alumna.

La disminución de energía potencial equivale al trabajo negativo de la fuerza de rozamiento. Es decir, no se conserva la energía mecánica porque actúa una fuerza no conservativa, pero sí se conserva la energía, como siempre.

20. Aplicamos el teorema de la energía cinética a la bala, siendo la fuerza resultante la de rozamiento de la bala con la tabla:

$$E_{c,2} - E_{c1} = W_{\text{result}}$$

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} m v_1^2 + (-F \cdot x)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{1/2 \cdot 0,012 \text{ kg} \cdot (400 \text{ m/s})^2 - 1500 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m}}{\frac{1}{2} \cdot 0,012 \text{ kg}}} = 291,55 \text{ m/s.}$$

21. La expresión de la potencia es:  $P = W/\Delta t$  y, a su vez, el trabajo realizado por la motobomba se emplea en aumentar la energía potencial y la energía cinética del agua, es decir:

$$W = \Delta E_p + \Delta E_c = mg\Delta h + \frac{1}{2} m v^2$$

De donde se obtiene:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \left( g \cdot \Delta h + \frac{v^2}{2} \right)$$

El caudal extraído (C) es:  $C = m/\Delta t$ , por tanto:

$$P = C \cdot \left( g \cdot \Delta h + \frac{v^2}{2} \right) = 5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 80 \text{ m} + \frac{0,8^2 (\text{m/s})^2}{2} \right) = 3921,6 \text{ W}$$

22. El teorema de la energía cinética se expresa por la ecuación  $W_{\text{neto}} = \Delta E_c$ ; en este caso el trabajo neto es

$$W_{\text{neto}} = F_{\text{neta}} \cdot d = (mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta) (H/\sin \theta)$$

y la variación de energía cinética es

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

Igualando y simplificando la masa, obtenemos:

$$g H - \mu g H (\cos 60^\circ / \sin 60^\circ) = \frac{1}{2} v^2 - \frac{1}{2} v_0^2$$

y despejando el coeficiente de rozamiento:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{(1/2) \cdot v^2 - (1/2) v_0^2 - g H}{-g H \cdot (\cos 60^\circ / \sin 60^\circ)} = \\ &= \frac{6,125 - 2 - 9,8 \cdot 0,6}{-9,8 \cdot 0,6 \cdot (\cos 60^\circ / \sin 60^\circ)} = 0,51 \end{aligned}$$

## TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR CALOR

23. Una manta no “suministra” calor, sino que aísla el cuerpo y reduce la transferencia de energía entre el cuerpo y el ambiente. En cambio, una manta eléctrica sí “suministra” calor, porque transforma una cantidad de energía eléctrica equivalente.

24. La energía que se transfiere a la bola de plomo aumenta su energía interna, por lo que:

$$\Delta E_{\text{interna}} = m \cdot c \cdot \Delta t =$$

$$= 0,2 \text{ kg} \cdot 126 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} = 1008 \text{ J}$$

25. Aplicamos la ecuación de la calorimetría:

$$\Delta E = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\Delta E}{m \Delta t} = \frac{2051,4 \text{ cal} \cdot 4,18 \text{ J/cal}}{1 \text{ Kg} \cdot 5 \text{ K}} = \\ &= 1714,97 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

26. Suponiendo que el trozo de hielo es lo suficientemente grande, la disminución de energía interna del agua, que se encontraba a  $5^\circ\text{C}$ , se invierte en aumentar la energía interna del hielo a  $0^\circ\text{C}$ , lo que supone la fusión de una determinada masa, es decir:

$$-\Delta E_1 = \Delta E_2.$$

Por tanto:

$$m_1 \cdot c \cdot (-\Delta t) = m_2 \cdot L_f.$$

De la expresión anterior se obtiene:

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot c \cdot (-\Delta t)}{L_f} = \frac{0,5 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5^\circ\text{C}}{334,4 \frac{\text{J}}{\text{g}}} = 31,25 \text{ g}$$

27. a) El sistema caliente (1) es el bloque de aluminio y el sistema frío (2) el agua. Cuando se alcanza el equilibrio térmico se cumple:

$$\Delta E_2 = -\Delta E_1$$

$$m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{\text{eq}} - T_2) = -m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{\text{eq}} - T_1)$$

$$3 \cdot 4180 \cdot (T_{\text{eq}} - 283,16) = -0,5 \cdot 895 \cdot (T_{\text{eq}} - 353,16)$$

$$12540 (T_{\text{eq}} - 283,16) = -447,5 (T_{\text{eq}} - 353,16)$$

$$T_{\text{eq}} = \frac{3708865,5}{12987,5} = 285,17\text{K} \rightarrow t_{\text{eq}} = 12,41^\circ\text{C}$$

- b) La variación de energía interna del agua (y con signo cambiado la del bloque metálico) es:

$$\Delta E_{\text{agua}} = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_{\text{eq}} - t_2) =$$

$$= 3 \cdot 4180 \cdot (12,41 - 10) = 30221 \text{ J.}$$

28. a) La ecuación del equilibrio térmico nos conduce a:

$$m_c \cdot (t_{\text{eq}} - t_i) = -m_a \cdot c_a (t_{\text{eq}} - t_{a,i})$$

$$0,170 \cdot c \cdot (40,5 - 100) = -0,050 \cdot 4180 \cdot (40,5 - 18)$$

$$10,115 c = 4702,5; c = 465 \text{ J/kg K}$$

b) Las suposiciones hechas son: 1) El calorímetro no tiene pérdidas. 2) Su capacidad calorífica es despreciable, es decir, la energía transferida por el metal se invierte íntegramente en calentar el agua.

29. Realicemos el cálculo por etapas:

1) Calentar el hielo hasta 0 °C:

$$\Delta E_1 = m c_{\text{hielo}} \Delta t = 10 \text{ g} \cdot 2,2 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 10^\circ\text{C} = 220 \text{ J}$$

2) Fusión del hielo:

$$\Delta E_2 = m L_{\text{fusión}} = 10 \text{ g} \cdot 334,4 \text{ J/g} = 3344 \text{ J}$$

3) Calentamos el líquido desde 0 hasta 100 °C:

$$\Delta E_3 = m c \Delta t = 10 \text{ g} \cdot 4,180 \text{ J/g K} \cdot 100 \text{ K} = 4180 \text{ J}$$

4) Vaporización del agua:

$$\Delta E_4 = m L_{\text{vaporiz}} = 10 \text{ g} \cdot 2257 \text{ J/g} = 22570 \text{ J}$$

5) Calentamos los 10 g de vapor de agua desde 100 °C hasta 120 °C:

$$\Delta E_5 = m c \Delta t = 10 \text{ g} \cdot 1,94 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 20^\circ\text{C} = 388 \text{ J}$$

Por tanto, la mínima energía necesaria es la suma de todas estas cantidades:

$$\Delta E_{\text{total}} = (220 + 3344 + 4180 + 22570 + 388) \text{ J} =$$

$$= 30702 \text{ J.}$$

30. Teniendo en cuenta que  $\Delta E = P \cdot \Delta t$ , como la potencia es la mitad y debe realizarse el mismo trabajo, el tiempo será el doble, es decir 20 minutos.

## CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

31. Como se conserva la energía mecánica:

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m g H = \frac{1}{2} m v_2^2$$

$$H = \frac{(1/2) \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{g} = \frac{(1/2) (18^2 - 3^2)}{9,8} = 16,07$$

32. Aunque el proceso del salto es bastante complejo de analizar, tal y como está redactado el enunciado de este ejercicio, debemos suponer que toda la energía cinética del saltador se emplea en aumentar su energía potencial (en concreto, su centro de gravedad, que está inicialmente a 1 m del suelo aumentará su altura en una cantidad  $\Delta h$ ). Con estas premisas, tendremos:

$$\Delta E_p = -\Delta E_c \rightarrow mg\Delta h = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\Delta h = \frac{1/2 v^2}{g} = \frac{1/2 (9 \text{ m/s})^2}{9,8 \text{ m/s}^2} = 4,13 \text{ m}$$

y el centro de gravedad del saltador alcanzará la altura

$$H = H_0 + \Delta h = 1 \text{ m} + 4,13 \text{ m} = 5,13 \text{ m.}$$

33. Según el enunciado del ejercicio el 50% de la disminución de energía potencial por unidad de tiempo se transforma en potencia eléctrica, es decir:

$$P_{\text{eléctrica}} = 0,5 \cdot \frac{(-\Delta E_p)}{\Delta t} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = 0,5 \cdot C \cdot g \cdot h$$

siendo C el caudal de agua.

Por consiguiente:

$$P_{\text{eléctrica}} = 0,5 \cdot 200 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 25 \text{ m} = 2,45 \cdot 10^7 \text{ W}$$

34. Suponiendo un rendimiento del 100 % en los motores que elevan el agua, la energía necesaria en un día es:

$$\Delta E = \Delta E_p = m g H = 200 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 100 \text{ m} =$$

$$= 1,96 \cdot 10^8 \text{ J,}$$

que expresada en kWh es: 54,44 kWh

Luego el coste diario es:

$$\text{Coste diario} = 54,44 \text{ kWh} \cdot 0,10 \text{ €/kWh} = 5,44 \text{ €}$$

35. a) De los datos podemos deducir el valor de la aceleración, aislando el remolque:

$$T - F_{\text{roz, rem}} = m_{\text{remolque}} \cdot a$$

La fuerza de rozamiento que frena el avance del remolque es:

$$F_{\text{roz, rem}} = \mu m_{\text{rem}} g = 0,2 \cdot 150 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 294 \text{ N}$$

Operando en la ecuación anterior, tenemos:

$$500 \text{ N} - 294 \text{ N} = 150 \text{ kg} \cdot a \text{ m/s}^2$$

$$a = 1,373 \text{ m/s}^2$$

La velocidad del remolque y por tanto del conjunto al cabo de 8 s es:

$$v = a \Delta t = 1,373 \text{ m/s}^2 \cdot 8 \text{ s} = 10,98 \text{ m/s.}$$

b) La fuerza de tracción del motor debe vencer la fuerza de rozamiento y acelerar el conjunto coche-remolque. Por otra parte,

$$F_{\text{roz}} = \mu \cdot M_{\text{total}} \cdot g = 0,2 \cdot 2\,150 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 4\,214 \text{ N}.$$

Así pues:

$$\begin{aligned} F_{\text{tracción}} &= F_{\text{roz}} + m_{\text{total}} \cdot a = \\ &= 4\,214 \text{ N} + 2\,150 \text{ kg} \cdot 1,373 \text{ m/s}^2 = 7\,165,95 \text{ N}. \end{aligned}$$

La potencia útil del motor en  $t = 8 \text{ s}$ , es:

$$\begin{aligned} P_{\text{útil}} &= F_{\text{tracción}} \cdot v = \\ &= 7\,165,95 \text{ N} \cdot 10,98 \text{ m/s} = 78\,682,13 \text{ W} \end{aligned}$$

c) Durante los primeros 10 s, el desplazamiento ha sido:

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 = 0,5 \cdot 1,373 \text{ m/s}^2 \cdot (10 \text{ s})^2 = 68,65 \text{ m}$$

y por tanto el trabajo de rozamiento sobre el conjunto:

$$\begin{aligned} W_{\text{roz}} &= -F_{\text{roz}} \cdot \Delta x = -4\,214 \text{ N} \cdot 68,65 \text{ m} = \\ &= -289\,291 \text{ J}. \end{aligned}$$

36. a) En la subida, la fuerza resultante actúa sobre el cuerpo en sentido descendente y su módulo es

$$F_{\text{resultante}} = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta.$$

Aplicando la 2ª ley de Newton:

$$\begin{aligned} m a &= -F_{\text{resultante}} \\ a &= -g (\sin \theta + \mu \cos \theta) = \\ &= -9,8 (\sin 30^\circ + 0,18 \cdot \cos 30^\circ) = -6,43 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

La distancia recorrida hasta pararse se calcula más directamente haciendo  $v = 0$  en la ecuación cinemática:

$$\begin{aligned} v^2 &= v_0^2 + 2 a \Delta x \\ \Delta x &= \frac{-v_0^2}{2a} = \frac{100}{12,86} = 7,78 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Aplicando el teorema de la energía cinética:

$$\Delta E_c = W_{\text{resultante}} = -F_{\text{resultante}} \cdot \Delta x$$

obtenemos la siguiente ecuación:

$$0 - \frac{1}{2} m v_0^2 = -(mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta) \cdot H / \sin \theta$$

y operando llegamos a:

$$H = \frac{v_0^2}{2g(1 + \mu / \tan \theta)} = \frac{(10 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot (1 + 0,18 / \tan 30^\circ)}$$

$H = 3,89 \text{ m} \rightarrow \Delta x = H / \sin 30^\circ = 3,89 / 0,5 = 7,78 \text{ m}$  (que coincide con el resultado del apartado a)

En la bajada, la fuerza resultante es:

$$\begin{aligned} F_{\text{resultante}} &= mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = mg (\sin \theta - \mu \cos \theta) = \\ &= 0,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N} \cdot (\sin 30^\circ - 0,18 \cdot \cos 30^\circ) = \\ &= 1,686 \text{ N} \end{aligned}$$

Aplicando el teorema de la energía cinética:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v'^2 = F_{\text{resultante}} \cdot \Delta x$$

$$v' = \sqrt{\frac{1,686 \text{ N} \cdot 7,78 \text{ m}}{0,5 \cdot 0,5}} = 7,25 \text{ m/s}$$

que es menor de 10 m/s, la rapidez del lanzamiento inicial hacia arriba, puesto que se ha producido disipación de energía por rozamiento.

37. a) Es un choque totalmente inelástico, porque no se restituye nada de la energía utilizada en la deformación.

b) Como en cualquier choque se conserva la cantidad de movimiento, podemos escribir:

$$\vec{p}_{\text{final}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

$$\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1 = 1000 \text{ kg} \cdot 16,67 \text{ m/s} \cdot \vec{i} = 1,667 \cdot 10^4 \vec{i}$$

$$\vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2 = 1300 \text{ kg} \cdot 11,11 \text{ m/s} \cdot \vec{j} = 1,444 \cdot 10^4 \vec{j}$$

$$\vec{p}_{\text{final}} = 1,667 \cdot 10^4 \vec{i} + 1,444 \cdot 10^4 \vec{j}$$

Como  $\vec{p}_{\text{final}} = (m_1 + m_2) \vec{v}_{\text{final}}$ , deducimos que

$$\vec{v}_{\text{final}} = (7,25 \vec{i} + 6,28 \vec{j}) \text{ kg m/s}$$

Su módulo es:  $v_{\text{final}} = 9,59 \text{ m/s}$

$$c) E_{c,0} = \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2) = 219\,175,3 \text{ J}$$

$$E_{c,\text{final}} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{\text{final}}^2 = 105\,763,3 \text{ J}$$

La energía disipada es:

$$\begin{aligned} E_{\text{disipada}} &= E_{c,0} - E_{c,\text{final}} = \\ &= 219\,175,3 \text{ J} - 105\,763,3 \text{ J} = 113\,412 \text{ J} \end{aligned}$$

38. Si suponemos que la fuerza que aplicamos es paralela al plano, en ambos casos la fuerza de rozamiento viene dada por  $F_{\text{roz}} = \mu mg \cos \alpha$  y como el desplazamiento es el mismo, el trabajo de rozamiento es también idéntico.



39. La fuerza de rozamiento es:

$$F_{\text{roz}} = \mu mg \cos \theta = 0,02 \cdot 70 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot \cos 30^\circ = 11,88 \text{ N}$$

a) La energía transformada por rozamiento es:

$$\Delta E = -F_{\text{roz}} \cdot \Delta x = -F_{\text{roz}} \cdot v \cdot \Delta t = 11,88 \text{ N} \cdot 2 \text{ m/s} \cdot 20 \text{ s} = -475,2 \text{ J}.$$

b) El remolcador realiza trabajo para vencer la fuerza de rozamiento y para aumentar la energía potencial del esquiador, que es:

$$|W_{\text{roz}}| = F_{\text{roz}} \Delta x = 11,88 \text{ N} \cdot 100 \text{ m} \cdot \sin 30^\circ = 2\,376 \text{ J}$$

$$\Delta E_p = mg \Delta h = 70 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 100 \text{ m} = 68\,600 \text{ J}.$$

El trabajo total es:

$$W = |W_{\text{roz}}| + \Delta E_p = 2\,376 \text{ J} + 68\,600 \text{ J} = 70\,976 \text{ J}.$$

c) Como conocemos el trabajo realizado en el desplazamiento de 200 m y que en ese desplazamiento se invierten  $\Delta t = \Delta x / v = 200 \text{ m} / 2 \text{ m s}^{-1} = 100 \text{ s}$ , la potencia útil del motor del remolcador será:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{70\,976 \text{ J}}{100 \text{ s}} = 709,76 \text{ W}$$

40. El trabajo exterior realizado al comprimir el muelle equivale a la energía potencial elástica que adquiere el muelle; al soltar el sistema el muelle se expande y transfiere su energía al sistema (en este caso formado por el cuerpo y el plano de apoyo).

a) Si no hay rozamiento:

$$-\Delta E_{\text{muelle}} = \Delta E_c \rightarrow \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = x \sqrt{\frac{k}{m}} = 0,15 \text{ m} \sqrt{\frac{450 \text{ N/m}}{0,300 \text{ kg}}} = 5,81 \text{ m/s}$$

b) Si hay energía disipada por rozamiento, siendo la fuerza de rozamiento

$$F_{\text{roz}} = \mu mg = 0,4 \cdot 0,3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 1,176 \text{ N}$$

el balance energético será:

$$\frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m v^2 + F_{\text{roz}} x$$

$$0,5 \cdot 450 \cdot 0,15^2 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot v^2 + 1,176 \text{ N} \cdot 0,15$$

y operando:  $v = 5,71 \text{ m/s}$ , valor ligeramente inferior a la velocidad alcanzada sin rozamiento, como esperábamos.

41. La disminución de energía potencial es:

$$\begin{aligned} -\Delta E_p &= m \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 817 \text{ pies} \cdot \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = \\ &= 2\,440,41 \text{ m (J)} \end{aligned}$$

El aumento de energía interna es:

$$\Delta E_{\text{int}} = 1\,000 \text{ m g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} \cdot \frac{5}{9} ^\circ\text{C} = 555,56 \text{ m (cal)}$$

La relación entre ambos valores será:

$$\frac{-\Delta E_p}{\Delta E_{\text{int}}} = \frac{2\,440,41 \text{ m (J)}}{555,56 \text{ m (cal)}} = 4,393 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$$

42. a) Para que no se desprenda en el punto más alto debe ocurrir que la fuerza peso realice el papel de fuerza centrípeta:

$$mg = F_c = \frac{m v_{\text{min}}^2}{R}$$

Operando:

$$v_{\text{min}} = \sqrt{Rg} = \sqrt{1 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 3,13 \text{ m/s}$$

b) El punto más alto del bucle, B, está 3 m más bajo que el punto de lanzamiento, A; como la energía mecánica no cambia, tenemos:

$$\frac{1}{2} m v_A^2 + mg h_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mg h_B.$$

Operando, deducimos que aunque se deje caer desde A sin rapidez inicial, llegará a B con rapidez de 7,67 m/s, suficiente para dar la vuelta completa.

43. a) La disminución de energía potencial gravitatoria se transforma en incremento de energía cinética en la base del plano inclinado, y la disminución de ésta en aumento de la energía potencial elástica del muelle.

b) Se puede también considerar que la disminución de la energía potencial gravitatoria se invierte, al final, en aumento de energía potencial elástica.

$$-\Delta E_{\text{p gravitatoria}} = \Delta E_{\text{p elástica}}$$

$$m g H_0 = \frac{1}{2} k x^2$$

Para realizar el cálculo debemos suponer que el descenso neto de altura del bloque es  $H_0$ . Aislado  $x$  y operando:

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot H_0}{k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 9,8 \cdot 0,7}{4\,500}} \text{ m} = 0,096 \text{ m}$$

44. Consideramos el objeto como un punto material que se mueve sometido solamente a la fuerza peso, por lo que

$$E_{\text{mec}} = \text{cte.} \rightarrow E_{\text{mec}, 0} = E_{\text{mec}, 1}$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + mgh$$

y simplificando:  $v^2 = v_0^2 - 2 g h$

- a) Cuando  $h = 0,5 \text{ m}$ :

$$v^2 = 10^2 - 2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 90,2$$

$$v = 9,5 \text{ m/s.}$$

- b) Cuando  $h = 1 \text{ m}$ :

$$v^2 = 10^2 - 2 \cdot 9,8 = 80,4$$

$$v = 8,97 \text{ m/s.}$$

- c) El objeto impacta con el muelle siendo su rapidez inicial  $v = 8,97 \text{ m/s}$ . Al comprimirse el muelle, se cumple:

$$\Delta E_{\text{muelle}} = -\Delta E_c \rightarrow \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$x = v \sqrt{\frac{m}{k}} = 8,97 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \text{ kg}}{1000 \text{ N/m}}} = 0,200 \text{ m}$$

45. Al no existir rozamiento, se conserva la energía mecánica:

$$\Delta E_p = \Delta E_c \rightarrow m_2 g \Delta h = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$$

$$h = \frac{(1/2) (m_1 + m_2) v^2}{m_2 g} = \frac{0,5 \cdot (4+6) \cdot 2^2}{6 \cdot 9,8} = 0,34 \text{ m}$$

46. La potencia que proporciona la masa de combustible es:

$$P_{\text{Total}} = 50 \cdot 10^6 \text{ W pot.eléctrica} \cdot \frac{100 \text{ W pot.total}}{40 \text{ W pot.eléctrica}} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ W}$$

La relación entre la masa de combustible (de poder energético PE) y la potencia total es:

$$m \cdot PE = P_{\text{Total}} \cdot \Delta t$$

El poder energético (PE) en unidades del SI es:

$$PE = 11000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{4,184 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 4,6024 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Por tanto:

$$m = \frac{P_{\text{Total}} \cdot \Delta t}{PE} = \frac{1,25 \cdot 10^8 \text{ J/s} \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}{4,6024 \cdot 10^7 \text{ J/kg}} = 2,35 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

47. El trabajo desarrollado por el motor del automóvil es  $P \cdot \Delta t = W$ , con  $\Delta t = \Delta x / v$ :

$$W = P \cdot \frac{\Delta x}{v} = 30 \cdot 735 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot \frac{100 \cdot 10^3 \text{ m}}{25 \text{ m/s}} = 8,82 \cdot 10^7 \text{ J}$$

La energía que proporciona la gasolina consumida es:

$$\Delta E = 7 \text{ L} \cdot 4,18 \cdot 10^7 \text{ J/L} = 2,926 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

El porcentaje de energía aprovechada es:

$$R_{\text{to}} (\%) = \frac{8,82 \cdot 10^7 \text{ J}}{2,926 \cdot 10^8 \text{ J}} \cdot 100 = 30,14 \%$$

48. a) La potencia eléctrica de la central en unidades del SI es:

$$P_{\text{eléctrica}} = 0,38 \cdot P_{\text{total}} =$$

$$= 0,38 \cdot 12500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{10^3 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{60 \text{ s}} =$$

$$= 3,309 \cdot 10^8 \text{ W}$$

- b) El 62% de la potencia total no se transforma en potencia eléctrica y se emplea en aumentar la energía interna del agua de refrigeración por unidad de tiempo. Se cumple que

$$0,62 \cdot P_{\text{total}} \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

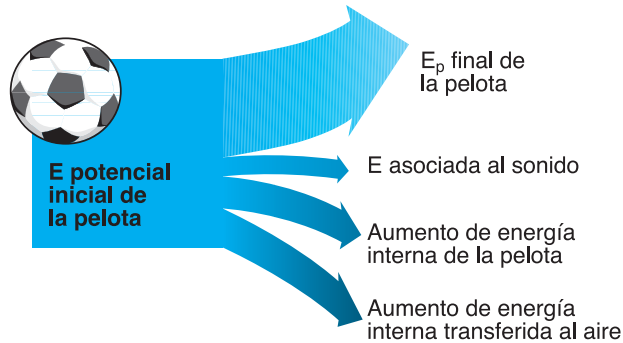
Por tanto:

$$\Delta T = \frac{0,62 \cdot P_{\text{total}} \cdot \Delta t}{m \cdot c} = \frac{0,62 \cdot 8,708 \cdot 10^8 \text{ J/s} \cdot 1 \text{ s}}{2000 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J/kg K}} = 64,6 \text{ K}$$



### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN

2. En la fig. proponemos un diagrama de flujo que puede ser útil para representar cambios energéticos de este tipo.



3. a) Como no hay rozamiento, se conserva la energía mecánica:  $mgh = \frac{1}{2} mv_A^2$ : tomando de referencia el punto A

$$h = \frac{(1/2) v_A^2}{g} = \frac{(1/2) \cdot 25 \text{ m}^2/\text{s}^2}{9,8 \text{ m/s}^2} = 1,28 \text{ m}$$

- b) Si llamamos B al punto que está a 1m del suelo, sabemos que el objeto ha bajado  $2,7 - 1 = 1,7 \text{ m}$  desde el punto A en que comienza la caída libre; aplicando la conservación de  $E_m$ :

$$E_{m,A} = E_{m,B} \rightarrow mg(H_A - H_B) = \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2)$$

y operando:

$$g (2,7 - 1) = \frac{1}{2} (v_B^2 - 25)$$

$$2,4 g = v_B^2 - 25$$

y finalmente  $v_B = 7,63 \text{ m/s}$ .

- c) Si llamamos C al punto, repitiendo el cálculo anterior, obtenemos la ecuación

$$2,7 g = \frac{1}{2} (v_C^2 - 25)$$

y operando:  $v_C = 8,82 \text{ m/s}$ .

d) El teorema de la energía cinética se expresa por la ecuación  $W_{\text{neto}} = \Delta E_c$ ; en este caso el trabajo neto es

$$W_{\text{neto}} = F_{\text{neta}} d = (mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta) (h/\sin \theta)$$

y la variación de energía cinética es

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

Igualando y simplificando la masa, obtenemos:

$$g h - \mu g h (\cos 20^\circ / \sin 20^\circ) = \frac{1}{2} v^2$$

y despejando la variable h:

$$h = \frac{(1/2) \cdot v^2}{g(1 - \mu \cos 20^\circ / \sin 20^\circ)} = \frac{(1/2) \cdot 25}{9,8 (1 - 0,2 \cdot \cos 20^\circ / \sin 20^\circ)} = \frac{12,5}{4,41} = 2,83 \text{ m}$$

4. Como la fuerza y la rapidez son constantes,  
 $P = F \cdot v = 800 \text{ N} \cdot 20 \text{ m/s} = 16\,000 \text{ W} = 21,75 \text{ CV}$
5. Que el calor específico del aluminio sea  $900 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$  significa que hay que realizar un trabajo o un calor de  $900 \text{ J}$  para que  $1 \text{ kg}$  de aluminio eleve su temperatura  $1 \text{ K}$ .

La masa de la esfera es:

$$m = V \cdot \rho_{\text{aluminio}} = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{\text{aluminio}} = 0,0905 \text{ kg}.$$

La elevación de temperatura es:

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{m \cdot c} = \frac{90 \text{ J}}{0,0905 \text{ kg} \cdot 900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 1,1^\circ\text{C}$$

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos específicos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos criterios de evaluación específicos para cada tema.

Al terminar el desarrollo de este tema los alumnos y las alumnas serán capaces de:

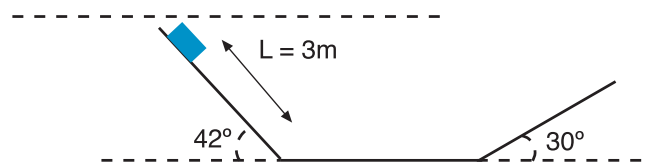
- Conocer el significado de los conceptos y términos fundamentales en ese tema: Transformación energética, energía, energía cinética, energía potencial, energía elástica, energía interna, trabajo, potencia, calor, temperatura, rendimiento, cualidades de la energía, principio de conservación de la energía...
- Identificar las transformaciones de la energía.
- Clasificar las diversas formas de energía en cinéticas o potenciales, así como en renovables o no renovables.
- Identificar trabajo y calor como dos procedimientos diferentes de cambiar la energía de un sistema.
- Realizar cálculos sobre trabajo y potencia donde intervengan una o más fuerzas, utilizando correctamente las unidades más usuales (J, W, kWh, CV).
- Conocer la definición de rendimiento y aplicarla a diferentes transformaciones energéticas o dispositivos como motores o centrales térmicas o eléctricas.
- Diferenciar el trabajo exterior del trabajo interior y del trabajo neto.
- Enunciar y aplicar el teorema de energía cinética y el principio de conservación de la energía mecánica.
- Conocer el origen atómico-molecular de la energía interna y calcular su variación, incluso cuando hay cambios de estado.
- Aplicar el principio de conservación de la energía en diferentes casos con intercambio de calor y/o trabajo.
- Asumir el carácter no conservativo de la fuerza de rozamiento y realizar cálculos energéticos donde intervenga dicha fuerza.
- Conocer las fuentes de energía útil, saber clasificarlas en renovables o no y tener idea de su aportación a la producción de energía útil y de su impacto medioambiental.
- Presentar un informe escrito claro y científicamente correcto sobre el trabajo realizado en el laboratorio (formulación de hipótesis, diseño de experimentos, tratamiento de resultados, etc.)
- Valorar críticamente las aportaciones tecnológicas relacionadas con la energía al desarrollo de la sociedad, analizando los aspectos positivos y los negativos.

## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

- Indica cuántos tipos de energía podemos distinguir y señala de qué propiedades del sistema depende cada una de ellas.
- ¿Es posible que un cuerpo aumente su temperatura sin haberlo calentado con una llama o situándolo junto a un “foco de calor”? Si es posible este fenómeno, pon algún ejemplo.
- a) Define temperatura, trabajo, julio, calor específico.  
b) Enuncia el principio de conservación de la energía.
- Calcula, en J y en kWh, el trabajo transferido por un motor cuya potencia es de 5 CV durante 1 h.
- Una vagoneta de 200 kg está sobre una vía horizontal y recta. Calcula el trabajo realizado en los siguientes casos:
  - Empujamos con una fuerza de 100 N sin que se mueva la vagoneta.
  - La empujamos haciendo una fuerza de 200 N en la dirección de la vía y la movemos 10 m.
  - Estiramos por el costado de la vía, formando un ángulo de  $30^\circ$  con la dirección de la vía, haciendo una fuerza de 200 N y la vagoneta recorre 20 m.
- Sobre un fardo de 50 kg apoyado en un suelo horizontal se aplica una fuerza horizontal exterior de 10 N durante 4 s. Si la fuerza de rozamiento equivale a 3 N, halla el trabajo realizado por la fuerza exterior y la energía cinética adquirida por el fardo en dicho tiempo.
- La masa de un ascensor es 1 600 kg y lo acciona un motor de potencia 12 CV.  
  
Suponiendo que el ascensor sube con rapidez constante de 1,6 m/s, ¿qué trabajo total hace el motor al subir el ascensor a un sexto piso, siendo 3 m la distancia entre piso y piso?
- Calcula la potencia desarrollada por un caballo que va tirando de un carro con una fuerza constante de 1100 N y marcha a 4 km/h. ¿Qué trabajo, en kWh, habrá desarrollado el caballo en 1 km?
- Por un plano inclinado de 1 m de longitud y ángulo  $45^\circ$  se deja caer deslizando un bloque de 400 g. Al llegar al nivel  $h = 0$ , la rapidez del bloque es 3,3 m/s. a) Calcula el valor del coeficiente de rozamiento. b) El bloque recorre 1 m sobre el plano horizontal y choca contra un muelle de constante elástica 300 N/m que se apoya en un tope. Calcula cuánto se comprime el muelle, suponiendo que el tramo horizontal al coeficiente de rozamiento es  $\mu = 0,15$ .
- Un cuerpo de 2 kg, inicialmente en reposo, baja por un plano inclinado  $42^\circ$  respecto a la horizontal. Después de recorrer una distancia de 3 m sobre el plano inclinado, llega a un tramo horizontal y finalmente sube por otro plano inclinado  $30^\circ$  (observa el dibujo).

Suponiendo que los efectos del rozamiento son despreciables, calcula:

- El tiempo que emplea en llegar al pie del primer plano inclinado y su velocidad en ese instante.
- La máxima longitud que recorre en la subida por el plano inclinado de la derecha. Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el primer plano fuese  $\mu = 0,4$ .
- ¿cuánta energía se libera (calor realizado) desde el instante inicial hasta llegar al pie del primer plano?



- Diferencia con precisión los conceptos de temperatura y de calor.
- Un calorímetro contiene 300 g de agua a  $25^\circ\text{C}$ . Si se le añaden 100 g de agua a  $75^\circ\text{C}$ , la temperatura final del equilibrio sube a  $46^\circ\text{C}$ . Con estos datos, halla la capacidad calorífica, en  $\text{J}/^\circ\text{C}$ , del calorímetro; ¿qué significa el resultado obtenido?
- Colocamos 50 g de una aleación metálica calentada a  $250^\circ\text{C}$  en un calorímetro que contiene 130 g de agua a  $15^\circ\text{C}$ . Si la temperatura del equilibrio térmico es  $18^\circ\text{C}$ , calcula el calor específico de la aleación.  
  
(El equivalente en agua del calorímetro es 20 g, lo que equivale a una capacidad térmica de  $83,6 \text{ J}/^\circ\text{C}$ )
- Explica con la teoría cinético-molecular de la materia los siguientes hechos experimentales:
  - El aumento de temperatura de un trozo de madera al frotar su superficie.
  - La fusión de un sólido.
  - El equilibrio térmico.
- Una forma de utilizar la energía solar es para evaporar agua salada y lograr agua dulce. Si un colector solar tiene una superficie de  $5 \text{ m}^2$  y la potencia de la radiación solar es  $600 \text{ W}/\text{m}^2$ , ¿cuántos litros de agua inicialmente a  $20^\circ\text{C}$  se pueden evaporar en 1 h, si el rendimiento en el proceso de vaporización es el 30 %? Dato: el calor de vaporización del agua es  $2 260 \text{ kJ}/\text{kg}$ .
- Si has oído decir que “La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”, ¿por qué hay tanta preocupación por el tema de la energía?
- Elabora una lista de fuentes de energía útiles para la obtención de energía eléctrica, señalando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Artículos

ALONSO, M. (1996). *Un enfoque integrado de la termodinámica en el curso de Física General*, en Revista Española de Física v.10,nº2. Madrid.

HERNÁNDEZ, L. (1995). *Un marco didáctico alternativo para la enseñanza de la energía: La Energía y los Recursos Energéticos*. Rev. Interuniversitaria de Formación del Profesorado, 14, pp.47-56.

HIERREZUELO, J. (1986). *Revisión bibliográfica sobre la enseñanza de la energía*. Enseñanza de las Ciencias, 4(1), pp. 66-68.

LÓPEZ-GAY, R. (1987). *Las representaciones de los alumnos como punto de partida: la energía*. Investigación en la Escuela, (3), pp. 47-54.

LÓPEZ, F. (1983). *Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico*. Bordón, XXXV (249), 497.

OTERO, J. y BRINCONES, I. (1987). *El aprendizaje significativo de la 2ª ley de la termodinámica*. Infancia y aprendizaje, 38, pp. 89-107.

PALAZUELO, J.L. (1990). *De la máquina de vapor a la termodinámica*. Apuntes de Educación (Naturaleza y Matemáticas), 38, pp. 3-5.

PONTES, A. (2000). *Aprendizaje reflexivo y enseñanza de la energía: una propuesta metodológica*. Alambique, 25, pp. 80-95

SEGARRA, P. (1993). *La energía es un rompecabezas*. Enseñanza de las Ciencias, 11(29), pp. 229-230.

SOLBES, J. y TARÍN, F. (1998). *Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía*. Enseñanza de las Ciencias, 16 (3), pp.387-397.

SOLOMON, J. (1985). *Teaching the conservation of energy*. Physics Education, 20, pp. 165-210.

WARREN, J.W. (1982). *The nature of energy*. European Journal of Science Education, 4(3), pp. 295-297.

WATTS, M. (1983). *Some alternative views of energy*. Physics Education, 18, pp. 213-217.

### Libros

AGUILAR, J. y GARCÍA-LEGAZ, C. (1986). *El viento: fuente de energía*. Alhambra: Madrid.

ATKINS, P.W. (1996). *La segunda ley*. Biblioteca Científica American, Prensa Científica,S.A: Madrid.

BARRACHINA, M. et.al. (1990). *El libro de la energía*. ForuM Atómico Español: Madrid.

BASALLA, G. (1991). *La evolución de la tecnología*. Crítica: Barcelona.

COROMINAS, (2001). J. *Pilas de combustible*. Alambique, 27, pp. 115-117.

COUSIDINE, D. et.al. (1989). *Enciclopedia de la energía*. Siete tomos. Marcombo: México-Barcelona.

ELORTEGHI, J.M. et.al. (1985). *Energías renovables (23 experiencias prácticas)*. Centro de cultura popular canaria.

GÓMEZ, M.A. et al. (1995). *La energía: transferencia, transformación y conservación*. Universidad de Zaragoza.

GREENPEACE, (1993). *Guia verda de l'estalvi d'energia*. Ajuntament de Barcelona.

HARMAN, P.M. (1990). *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Alianza: Madrid.

IDAE. (1994). *Manuales de energías renovables: Energía eólica, Energía solar térmica, Energía solar fotovoltaica*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo - Cinco días: Madrid.

NORGARD, J.S. et.al. (1993). *Energía para el mañana*. (AEDENAT: Madrid).

PUIG, J. y COROMINAS, J. (1990). *La ruta de la energía*. Anthropos: Barcelona.

SERRANO, F., et al., (1993). *Guía de la energía*. Ministerio de Industria: Madrid.

# CARGA Y CAMPOS ELÉCTRICOS

## 5

### 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

Este tema inicia el bloque dedicado a la Electricidad (temas 5 y 6) se analizan de nuevo algunos aspectos de la **carga** y la **corriente** eléctricas que ya se estudiaron en tercer curso de la ESO, pero ampliando el punto de vista y profundizando lógicamente en los siguientes puntos:

- concepto de **campo eléctrico**, no ya sólo como solución al problema de las fuerzas a distancia sino sobre todo porque es necesario para establecer el concepto de diferencia de potencial y potencial
- concepto de **energía potencial entre cargas y diferencia de potencial** entre dos puntos, conceptos esenciales para comprender por qué ocurre la corriente eléctrica, lo que justifica la introducción en este curso del estudio del campo eléctrico

Los contenidos del **tema 5: Carga y campo eléctricos** se pueden dividir en tres grandes apartados:

- 1º Fenómenos de electrización y carga eléctrica
  - 2º Interacción entre cargas: ley de Coulomb y campo eléctrico
  - 3º Energía potencial electrostática. Consecuencias
- 1º *Fenómenos de electrización y carga eléctrica*

Describiremos el uso del péndulo eléctrico y el proceso de búsqueda de un modelo explicativo para los fenómenos

de electrización; ello nos conduce al concepto de *carga* como propiedad general de la materia, magnitud que se conserva en todos los fenómenos. La explicación de la *inducción* electrostática es el primer fruto que obtendremos de este modelo de la materia.

#### 2º *Interacción entre cargas: ley de Coulomb y campo eléctrico*

Ya sabemos que las cargas se atraen o repelen según tengan distinto o igual signo. Ahora tenemos que cuantificar esta *interacción electrostática*. Lo haremos bajo el punto de vista de la ley de Coulomb y a través del concepto de campo.

El concepto de **campo de fuerzas**, es uno de los más fructíferos de la física de estos últimos 150 años; pero se detecta una cierta resistencia del alumnado de este nivel a utilizarlo para la explicación de los fenómenos eléctricos; quizá sea el próximo curso donde realmente se le pueda sacar utilidad a este concepto.

#### 3º *Energía potencial electrostática. Consecuencias*

En este último apartado aprovecharemos los conocimientos adquiridos en el tema 4 sobre el trabajo en los campos conservativos ( $W_{\text{campo}} = -\Delta E_p$ ); si sólo actúan fuerzas eléctricas, la energía mecánica se mantiene constante.

## 2. CONTENIDOS

### 1. Experimentos sobre la electrización: modelos explicativos

- Electrización por frotamiento y por contacto.
- Versorio, electroscopio y péndulo electrostático.
- La carga eléctrica y su principio de conservación.
- La inducción electrostática.

### 2. Fuerzas entre cargas: ley de Coulomb

- Enunciado y formulación de la ley.
- Características de las fuerzas entre cargas.
- Cálculos relacionados con la fuerza entre cargas.

### 3. Otra descripción de la acción entre cargas: el campo eléctrico

- Concepto de campo eléctrico.
- Intensidad de campo.
- Representación del campo.

### 5. Energía potencial eléctrica

- Relación entre trabajo del campo y variación de energía potencial.
- Conservación de la energía en el campo eléctrico.
- Potencial eléctrico y ddp.
- Movimiento espontáneo o forzado de las cargas.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades a desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describir la fenomenología de la electrización por frotamiento y por contacto.</li> <li>2. Conocer los principales modelos explicativos de la electrización.</li> <li>3. Asumir el principio de conservación de la carga.</li> <li>4. Describir la electrización por inducción.</li> <li>5. Enunciar y formular la ley de Coulomb, como expresión cuantitativa de la interacción entre cargas.</li> <li>6. Comprender el concepto de campo eléctrico, como procedimiento para describir la interacción a distancia entre cargas.</li> <li>7. Definir intensidad de campo eléctrico y comprender su relación con la ley de Coulomb.</li> <li>8. Conocer el significado de la energía potencial eléctrica.</li> <li>9. Analizar las transferencias de energía en un campo eléctrico, diferenciando los procesos espontáneos de los forzados.</li> <li>10. Conocer los conceptos de diferencia de potencial y potencial, así como su unidad.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar el modelo de la carga eléctrica a la explicación de los fenómenos de electrización.</li> <li>2. Asimilar la carga eléctrica como una propiedad general de la materia y diferenciar los materiales en función de su comportamiento eléctrico (caracterizados por su permitividad eléctrica).</li> <li>3. Aplicar la ley de Coulomb al cálculo de fuerzas en sistemas formados por 2 o 3 cargas.</li> <li>4. Dibujar las líneas de campo y las superficies de igual potencial de campos eléctricos sencillos.</li> <li>5. Relacionar la energía potencial entre cargas con el potencial en un punto y el trabajo realizado por las fuerzas del campo eléctrico.</li> <li>6. Utilizar técnicas de resolución de problemas numéricos sobre la intensidad del campo eléctrico, energía potencial, ddp y variaciones de energía.</li> <li>7. Explicar problemas de la vida cotidiana relacionados con fenómenos eléctricos (electrificaciones, pararrayos...).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valorar la investigación científica en la interpretación del comportamiento eléctrico de la materia.</li> <li>2. Asumir la importancia de los modelos y las teorías que la ciencia utiliza para aproximarse a una comprensión cada vez más completa de la realidad.</li> <li>3. Interesarse por la explicación de fenómenos naturales utilizando los conceptos y las leyes de la Física.</li> <li>4. Desarrollar el hábito de respetar el material de laboratorio y mostrar interés por la realización correcta de experimentos.</li> <li>5. Respetar las normas de seguridad en el uso de los aparatos eléctricos.</li> <li>6. Valorar la importancia de los fenómenos eléctricos y sus aplicaciones en el desarrollo técnico.</li> </ol>



## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

A.1. La figura 1.5 muestra las fuerzas que actúan sobre la esferilla cuando alcanza el equilibrio: la fuerza peso,  $\vec{P}$ , la fuerza eléctrica  $\vec{F}_e$  y la fuerza tensión  $\vec{T}$ .

Por trigonometría se deduce que el péndulo queda en equilibrio para un ángulo tal que

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_e}{P}$$

Un péndulo muy sensible se desviará un ángulo grande para una determinada fuerza eléctrica,  $F_e$ ; por tanto, su peso debe ser lo menor posible. Si el hilo es largo, se podrá calcular con menor imprecisión la tangente del ángulo, y por tanto la fuerza eléctrica. En definitiva, la esferilla debe ser muy ligera y el hilo largo.

A.2. Supondremos que la carga del cuerpo es mucho mayor que la del electroscopio, por lo que el cuerpo hará de inductor.

En el primer caso, las láminas (que tienen carga negativa) se separan más; el cuerpo inductor tiene carga negativa y por inducción se acumula en la parte superior del electroscopio carga + y, por tanto, la carga negativa en las láminas aumenta.

En el 2º caso, el cuerpo debe tener carga +, que hace que se acumule la carga - en la parte superior del electroscopio, con lo que las laminillas disminuyen su carga y por tanto su separación.

En el tercer caso, el cuerpo está descargado

#### **Experimento 1. Comprobando los procesos de electrización**

El experimento muestra que:

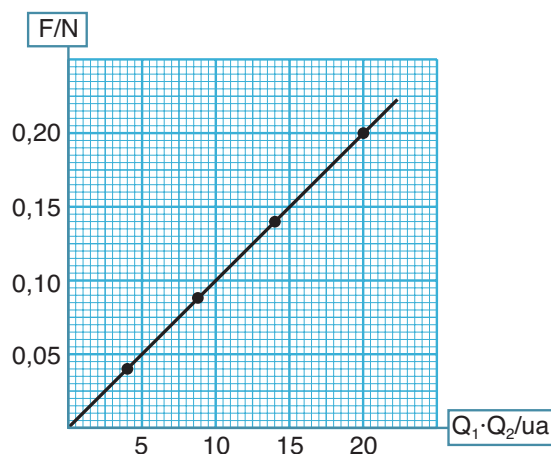
1º Las dos láminas de *cello* se cargan por frotamiento con carga del mismo signo y por ello al arrancarlas se repelen entre sí. Si acercamos una lámina descargada a una de las láminas cargadas, ésta atrae por inducción a la descargada.

2º La regla de plástico es capaz de atraer al hilo de agua, induciendo una polarización (separación de cargas) en sus moléculas, lo que da lugar a una atracción entre la regla y el agua.

3º La lámina superior se carga por frotamiento e induce en la cara superior de la otra lámina (no frotada) carga de signo contrario a la de la lámina frotada; por eso ambas láminas se atraen y cuesta separarlas.

A.3. Respuesta libre. Aunque esperamos que manifiesten que dependen de las cargas de manera directamente proporcional y de la distancia, inversamente proporcional, quizá recordando la ley de interacción gravitatoria que ya conocen.

A.4. La figura muestra la gráfica que se obtiene, una recta “perfecta”. De ello se deduce que la fuerza es directamente proporcional al producto de las cargas:  $F = k Q_1 Q_2$ .



A.5. 1º En ambos casos la fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia.

2º Ambas fuerzas tienen un alcance “infinito”.

3 Al tratarse de interacciones, estas fuerzas se producen necesariamente entre dos objetos.

A.6.

a)

$$F_e = \frac{K_o q^2}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(5 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 9,22 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

b) La fuerza gravitatoria es:

$$F_g = \frac{G m_p m_e}{d^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{(5 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 4,05 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

El cociente entre las fuerzas es  $F_e/F_g = 2,3 \cdot 10^{39}$ , lo que significa que la fuerza que sustenta el modelo de átomo utilizado es la eléctrica, siendo despreciable la intervención de la fuerza gravitatoria.

A.7. a) La carga  $q$  es repelida por  $Q_1$  con una fuerza

$$\vec{F}_1 = 1,8 \vec{i} \text{ N}$$

y por la carga  $Q_2$  con una fuerza

$$\vec{F}_2 = -2 \vec{i} \text{ N}$$

La fuerza total será por tanto:

$$F = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (1,8 - 2) \vec{i} = -0,2 \vec{i} \text{ N}$$

b) Si las cargas se sitúan en el agua, la fuerza se divide por el valor de la constante dieléctrica relativa del agua, que es 81.

**A.8.** Haciendo un análisis semejante al que muestra el ejemplo 2, la carga  $q$ , ahora negativa, tiene que estar más cerca de la carga menor, la  $Q_1$ , y a su izquierda, para que las fuerzas tengan sentido contrario. La figura 2.12 cambia porque el sentido de la fuerza  $\vec{F}_{1,q}$  es ahora hacia la derecha y el sentido de la fuerza  $\vec{F}_{2,q}$  es ahora hacia la izquierda. Pero el cálculo y el resultado son los mismos que los del ejemplo 2.

**A.9.** La única respuesta posible es la b). La energía potencial decrece con la distancia entre las cargas, si éstas son de igual signo. Si aceptamos que  $E_p$  es directamente proporcional al producto de las cargas, ya que se trata de una interacción entre ellas, y que la constante de proporcionalidad es la misma que la ley de la ley de Coulomb, la ecuación que da  $E_p$  sería de la forma

$$E_p = K Qq / r^n$$

de modo que considerando las dimensiones o las unidades de las diferentes magnitudes, el exponente  $n$  debe ser la unidad, es decir:

$$E_p = K Qq / r$$

**A.10.** Al cesar las fuerzas que mantienen las cargas enfrentadas, el sistema evoluciona libremente hacia la posición de mínima energía potencial, es decir, las cargas se separarán todo lo que permitan los límites del sistema de las dos cargas.

**A.11.** Si el potencial es 5 V, una carga de 1 C situada en dicho punto adquiere una energía potencial de 5 J, respecto al origen de referencia (generalmente el infinito).

Un cambio en el signo del potencial implica el cambio de signo de la energía potencial de un testigo, respecto al origen.

Debemos tener en cuenta que tanto el potencial como la energía potencial son magnitudes relativas, dependen del origen de referencia. Sin embargo, sus variaciones son absolutas.

**A.12.** a) En el caso 1, la carga positiva se moverá espontáneamente hacia potenciales decrecientes, es decir, sobre el eje X y hacia la derecha.

En el caso 2 (figura inferior), la carga positiva se moverá atraída por  $Q_2$  (lo que coincide con el movimiento hacia potenciales decrecientes).

b) Si cambia el signo de la carga que se sitúa en el punto B (ahora  $q < 0$ ), también cambia el sentido del movimiento espontáneo explicado en el caso a. En este caso la carga negativa se mueve hacia potenciales crecientes. Conclusión: Las cargas positivas libres se mueven hacia potenciales decrecientes y las negativas hacia potenciales crecientes.

**A.13.** El modo normal de encontrar información es utilizar los buscadores, por ejemplo Google.

En el buscador de Google, escribir “Pintar con pistola” o “xerografía” y después ir abriendo las páginas resultantes de la búsqueda hasta encontrar una que se adapte a lo que deseamos.

En la enciclopedia Wikipedia, buscar directamente “xerografía”.

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

1. La energía aportada en el proceso de frotamiento arranca electrones del cuerpo que tiene más tendencia a ceder electrones de los dos que se frotan; este cuerpo queda con carga positiva (+q) y el otro cuerpo con carga negativa (-q); la carga total se conserva:  $Q_{\text{total}} = q + (-q) = 0$ .
2. La electrización por frotamiento es el proceso más sencillo para poner de manifiesto la existencia de dos tipos de carga eléctrica. Otro experimento posible es la conductividad de una disolución iónica o los fenómenos de electrolisis realizados por Faraday.
3. Al ponerse en contacto las esferillas, pasa carga de la esferilla cargada a la descargada; como las esferillas son de igual radio, es lógico admitir que pasará la mitad de la carga inicial, es decir  $q = 10^{-14}$  C de la 1ª a la 2ª; el número de electrones es:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{10^{-14} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C / electrón}} = 62\,500 \text{ electrones}$$

En el caso de que no fueran de igual tamaño la distribución de carga será proporcional al volumen de la esfera.

4. El número de electrones es:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{10^{-9} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C / electrón}} = 6,25 \cdot 10^9 \text{ electrones}$$

5. Analizando el esquema general de la inducción representado en la figura 1.13 (pág.164), observamos que el inducido se carga realmente cuando lo conectamos a la Tierra, para lo que hace falta que el inducido sea conductor. Como la barra de plástico no es conductora, no se podrá cargar por inducción, pero sí por frotamiento.
6. En 1 min se emiten  $15 \cdot 60$  millones de partículas alfa,  $n = 9 \cdot 10^8$  partículas.

$$q = 9 \cdot 10^8 \text{ partícula} \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{\text{partícula}} = 2,88 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

$$q = 2,88 \cdot 10^{-4} \mu\text{C} = 0,288 \text{ nC.}$$

7. a) Según la ley de Coulomb

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

si la distancia se reduce a la mitad, la fuerza se multiplicará por 4:  $F' = 4 F = 4 \cdot 3 \text{ N} = 12 \text{ N}$ .

- b) Si  $d' = 1,5 \text{ m}$ , se cumple que  $d' = 3d$  y por tanto  $F' = F/9 = 3 \text{ N} / 9 = 1/3 \text{ N}$ .

8. a) Como conocemos  $F_{AB}$  pero no el valor de las cargas, dividimos  $F_{AB}$  por  $F_{CB}$ :

$$\frac{F_{AB}}{F_{CB}} = \frac{K Q_A Q_B / d_{AB}^2}{K Q_C Q_B / d_{CB}^2} = \frac{d_{CB}^2}{d_{AB}^2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{Luego: } F_{CB} = 4 F_{AB} = 4 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ N} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

- b) Determinamos las fuerzas sobre la carga B (supuesta positiva):

$$\vec{F}_{AB} = F_{AB} \vec{i}, \vec{F}_{BC} = F_{BC} (-\vec{i}) = -4 F_{AB} \vec{i}$$

Y por tanto:

$$\begin{aligned} \vec{F}_B &= \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BC} = (1 - 4) F_{AB} \vec{i} = -3 F_{AB} \vec{i} \\ &= -3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \vec{i} = -6 \cdot 10^{-6} \text{ N } \vec{i} \end{aligned}$$

- c) La fuerza  $F_{AB}$  la podemos expresar así:

$$F_{AB} = \frac{K Q_A Q_B}{d_{AB}^2} = \frac{9 \cdot 10^9 Q_A^2}{4} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

y despejando  $Q_A$  tenemos:

$$Q_A = \sqrt{\frac{4 F_{AB}}{9 \cdot 10^9}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9}} = 2,98 \cdot 10^{-8} \text{ C.}$$

9. Se cumplirá que:  $F_1 = F_2$ ; por tanto:

$$K Q_1 Q_3 / d_1^2 = K Q_2 Q_3 / d_2^2$$

$$Q_1 / d_1^2 = Q_2 / d_2^2$$

$$Q_1 / Q_2 = d_1^2 / d_2^2 = 6^2 / 4^2 = 2,25.$$

10. La distancia de q a las otras dos cargas es

$$d = \sqrt{l^2 + l^2} = \sqrt{2} \text{ m}$$

- a) Las fuerzas que actúan sobre q tienen por módulos:

$$F_1 = \frac{K |Q_1 q|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{2} = 9 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{K |Q_2 q|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{2} = 27 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

y su expresión vectorial

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 &= F_1 (\cos 45^\circ (-\vec{i}) + \sin 45^\circ (-\vec{j})) = \\ &= 9 \cdot 10^{-9} \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{i} - \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{j} \right) \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{F}_2 &= F_2 (\cos 45^\circ (-\vec{i}) + \sin 45^\circ (\vec{j})) = \\ &= 27 \cdot 10^{-9} \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{j} \right) \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\vec{F} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\
&= 9 \cdot 10^{-9} \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{i} - \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{j} \right) \text{ N} \\
&\quad + 27 \cdot 10^{-9} \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{j} \right) \text{ N} \\
&= 9 \cdot 10^{-9} \left( -2\sqrt{2} \vec{i} + \sqrt{2} \vec{j} \right) \text{ N} = \\
&= (-25,45 \cdot 10^{-9} \vec{i} + 12,73 \cdot 10^{-9} \vec{j}) \text{ N}
\end{aligned}$$

b) Si  $q$  fuese positiva, cambiaría el sentido de los vectores  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$  y por tanto la nueva fuerza sería la opuesta a  $\vec{F}$ :

$$\vec{F}' = (25,45 \cdot 10^{-9} \vec{i} - 12,73 \cdot 10^{-9} \vec{j}) \text{ N}$$

11. Al analizar el dibujo, se observa que el punto de unión de los hilos y las cargas forman un triángulo equilátero; luego las cargas distan 0,2 m. Por otra parte, se cumple la ecuación del péndulo:  $\tan \theta = F_e / mg$ . Despejando la fuerza eléctrica:

$F_e = mg \tan 30^\circ = 0,002 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot \tan 30^\circ = 0,0113 \text{ N}$ . Finalmente, utilizando la ley de Coulomb y conociendo la distancia entre las cargas, despejamos la carga:

$$\begin{aligned}
F_e &= \frac{K_0 q^2}{d^2} \rightarrow q = \sqrt{\frac{F_e d^2}{K_0}} \\
q &= \sqrt{\frac{0,0113 \text{ N} \cdot (0,2 \text{ m})^2}{9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2}} = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ C}
\end{aligned}$$

12. Las cargas son diferentes ( $q_1 = 2q_2$ ), pero según la ecuación del péndulo la fuerza eléctrica es  $F_e = mg \tan \theta$ , y como la masa de las esferillas y el ángulo que forman los hilos son los mismos que los del ejercicio 11, la fuerza y la distancia entre cargas también son las mismas, es decir:

$$F_e = F_e'$$

$$K_0 \frac{q_1 q_2}{d^2} = K_0 \frac{(2q_2) \cdot q_2}{d^2} \rightarrow q^2 = 2q_2^2$$

y finalmente,

$$q_2 = q / \sqrt{2} = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ C} / \sqrt{2} = 1,59 \cdot 10^{-7} \text{ C}.$$

13. El valor  $E = 3 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ , significa que la fuerza sobre la carga de 1C es  $3 \cdot 10^5 \text{ N}$ .

Las fuerzas son:

$$\vec{F}_1 = q_1 \vec{E} = 0,003 \text{ C} \cdot 10^5 \text{ N/C} \vec{i} = 900 \vec{i} \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = 2 \vec{F}_1 = 1800 \vec{i} \text{ N}$$

14. Entre las placas verticales y paralelas se establece un campo eléctrico uniforme, horizontal y dirigido hacia la derecha. Al lanzar en su interior una carga positiva (arriba), la fuerza sobre ella es horizontal y hacia la derecha y por ello la trayectoria es parabólica. Si la carga es negativa, la fuerza sobre la carga es de sentido contrario al del caso anterior y la trayectoria parabólica es hacia arriba y hacia la izquierda del plano del papel.

15. Si dos líneas de fuerza se cortasen en un punto ello significaría que en ese punto hay dos vectores  $\vec{E}$  distintos, lo que va en contra de la definición de campo eléctrico: en cada punto sólo existe una intensidad,  $\vec{E}$ .

El mismo razonamiento se aplica a las superficies equipotenciales; si se cortasen habría dos valores distintos del potencial  $V$  para los puntos comunes a las dos superficies.

16. Como no tenemos en cuenta la fuerza de rozamiento con el aire (que en realidad juega un papel importante en el fenómeno estudiado por Millikan), la gota de aceite queda en equilibrio cuando la fuerza eléctrica compensa al peso, es decir:  $qE = mg$ .

El campo eléctrico tiene dirección vertical y sentido hacia arriba. Despejando  $E$  de la ecuación anterior, obtenemos

$$E = \frac{mg}{q} = \frac{1,6 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 4,9 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

17. En este caso, los dos vectores intensidad de campo,  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$  tienen la misma dirección y sentido. Como la intensidad del campo eléctrico es directamente proporcional a la carga que lo produce y  $|q_1| = 4|q_2|$ , deducimos que  $E_1 = 4E_2$ .

Como

$$E_1 = \frac{Kq_1}{d_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9}}{0,04} = 900 \text{ N/C}$$

resulta:

$$\begin{aligned}
\vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = E_1 \vec{i} + E_2 \vec{i} = (E_1 + E_1 / 4) \vec{i} = \\
&= (5/4) E_1 \vec{i} = (5/4) \cdot 900 \vec{i} \text{ N/C} = 1125 \vec{i} \text{ N/C}
\end{aligned}$$

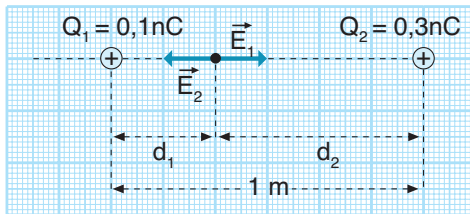
18. Dada la simetría de la distribución de cargas, todas de igual módulo y todas a la misma distancia del centro, los vectores intensidad de campo en ese punto son todos de igual módulo.

Los vectores campo se anulan dos a dos y por tanto en este caso especial  $\vec{E} = 0$ , y por ello la fuerza neta sobre el electrón es nula:  $\vec{F}_e = 0$ .

19. a) Considerando el sentido de cada uno de los vectores  $\vec{E}$  y que todos son de igual módulo, los alumnos deducirán con facilidad que la dirección de  $\vec{E}$  es vertical y su sentido descendente.

b) Si las cuatro cargas son de igual signo, los vectores  $\vec{E}$  se anulan dos a dos y por tanto  $\vec{E}_{\text{total}} = 0$ .

20. Los alumnos realizarán un dibujo como el de la figura, suponiendo que la carga  $Q_1 = 0,1 \text{ nC}$  está a la izquierda de la carga  $Q_2 = 0,3 \text{ nC}$ .



Del análisis del dibujo deducimos que solamente en el segmento determinado por las dos cargas puede anularse el campo total, y que el punto de equilibrio debe estar más cerca de  $q_1$ , la carga menor:

$$E_1 = E_2 \rightarrow k Q_1 / d_1^2 = k Q_2 / d_2^2$$

Como  $d_1 + d_2 = 1$ , podemos escribir:

$$\frac{0,1}{d_1^2} = \frac{0,3}{(1-d_1)^2}$$

$$d_1 = 0,366 \text{ m}; d_2 = 0,634 \text{ m}.$$

21. Según el enunciado las distancias a las cargas son

$$d_1 = 55 \text{ cm y } d_2 = 45 \text{ cm}.$$

Como  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$ , deducimos que

$$E_1 = E_2 \rightarrow \frac{K_0 q_1}{d_1^2} = \frac{K_0 q_2}{d_2^2}$$

$$\frac{7 \mu\text{C}}{0,55^2 \text{ m}^2} = \frac{q_2 \mu\text{C}}{0,45^2 \text{ m}^2} \rightarrow q_2 = 4,69 \mu\text{C}$$

22. a) Los módulos de los vectores intensidad de campo en el origen de coordenadas son:

$$E_{1,0} = \frac{K_0 |q_1|}{d_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{1} = 18 \text{ N/C}$$

$$E_{2,0} = \frac{K_0 |q_2|}{d_2^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{1} = 27 \text{ N/C}$$

$$\text{Luego } \vec{E}_0 = \vec{E}_{1,0} + \vec{E}_{2,0} = (-18 \vec{i}) + (-27 \vec{i}) = -45 \vec{i} \text{ N/C}$$

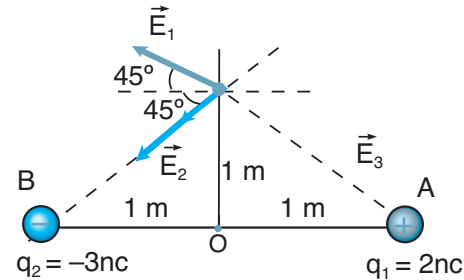
b) La distancia del punto P a las cargas es

$$d = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} \text{ m}$$

y los módulos de los vectores campo son:

$$E_{1,P} = \frac{K_0 |q_1|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{2} = 9 \text{ N/C}$$

$$E_{2,P} = \frac{K_0 |q_2|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{2} = 13,5 \text{ N/C}$$



$$\vec{E}_{1,P} = E_{1,P} (-\cos 45^\circ \vec{i} + \sin 45^\circ \vec{j}) =$$

$$= 9 (-0,707 \vec{i} + 0,707 \vec{j}) =$$

$$= (-6,36 \vec{i} + 6,36 \vec{j}) \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_{2,P} = E_{2,P} (-\cos 45^\circ \vec{i} - \sin 45^\circ \vec{j}) =$$

$$= 13,5 (-0,707 \vec{i} - 0,707 \vec{j}) =$$

$$= (-9,54 \vec{i} - 9,54 \vec{j}) \text{ N/C}$$

y finalmente:

$$\vec{E} = \vec{E}_{1,P} + \vec{E}_{2,P} =$$

$$= (-6,36 \vec{i} + 6,36 \vec{j}) \text{ N/C} + (-9,54 \vec{i} - 9,54 \vec{j}) \text{ N/C} =$$

$$= (-15,9 \vec{i} - 3,18 \vec{j}) \text{ N/C}$$

c) El punto tiene que estar a la derecha del punto A, donde está la carga menor y positiva; si llamamos x a esa la distancia, a B será  $(2 + x) \text{ m}$ . La condición es:

$$E_1 = E_2 \rightarrow \frac{K |q_2|}{(x+2)^2} = \frac{K |q_1|}{x^2} \rightarrow \frac{2}{(x+2)^2} = \frac{3}{x^2}$$

y operando obtenemos

$(\sqrt{3} - \sqrt{2}) x = 2\sqrt{2} \rightarrow x = 8,89 \text{ m}$ . Por tanto, el punto buscado está a 8,89 m a la derecha de  $q_1$ , la carga menor, y a 10,89 m de  $q_2$ .

23. Se cumple que  $\tan \theta = F_e / mg = qE/mg$ ; luego

$$E = \frac{mg \tan \theta}{q} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot \tan 20^\circ}{10^{-9} \text{ C}} =$$

$$= 1,78 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

24. La figura debe ser semejante a la del ejercicio 14, girándola 90° en sentido horario.

Las fuerzas que actúan sobre el electrón son su peso (es decir,  $P = mg$ , vertical descendente) y la fuerza de origen eléctrico ( $F = eE$ , vertical ascendente). En ausencia de campo eléctrico, la trayectoria en realidad es parabólica (se trata de un tiro horizontal), pero la velocidad de los electrones es tan elevada que el efecto de la fuerza peso es prácticamente inapreciable.

Al ir aumentando la ddp ( $V$ ) aplicada a las placas, va aumentando el valor de  $E$  (se cumple la relación  $E = |\Delta V|/d$ ) y por tanto el valor de la fuerza eléctrica  $F$ , vertical ascendente, observándose que el destello se va alejando de la posición central (ausencia de campo eléctrico). Estrictamente hablando, la trayectoria es rectilínea cuando ambas fuerzas se equilibran.

25. El potencial es una magnitud escalar, ya que corresponde a la energía potencial por unidad de carga.

b) Si  $q = 3 \text{ nC}$ ,  $E_p = q V = 6 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ ;

si  $q = -5 \text{ nC}$ ,  $E_p = -10^{-7} \text{ J}$

26. El trabajo del campo es

$$W_{\text{campo}} = q (V_1 - V_2)$$

a)  $W_{\text{campo}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot (2 \text{ V} - 10 \text{ V}) = -2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Es una transformación forzada.

b)  $W_{\text{campo}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot (10 \text{ V} - 2 \text{ V}) = +2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Es una transformación espontánea.

c)  $W_{\text{campo}} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot (2 \text{ V} - 10 \text{ V}) = +2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Es una transformación espontánea.

d)  $W_{\text{campo}} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot (10 \text{ V} - 2 \text{ V}) = -2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Es una transformación forzada por un trabajo exterior.

27.  $W_{\text{campo}} = -\Delta E_p = q (V_1 - V_2)$

$$V_1 - V_2 = \frac{10^{-3} \text{ J}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ C}} = 3333 \text{ V}$$

28. De los datos deducimos que, al ser  $q = 1 \text{ C}$ :

$$W_{A,\infty} = q V_A \rightarrow V_A = 2000 \text{ V}$$

$$W_{B,\infty} = q V_B \rightarrow V_B = 1500 \text{ V}$$

Si trasladamos una carga de 5 mC desde A hasta B, el trabajo de las fuerzas eléctricas es:

$$W_{A,B} = q (V_A - V_B) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ C} (2000 - 1500) \text{ V} = 2,5 \text{ J}.$$

29. Suponemos que no hay variación de energía cinética de la carga; entonces, el trabajo exterior será equivalente a la variación de energía potencial:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E_p = q (V_p - V_\infty)$$

Como el potencial en el infinito es cero, tenemos

$$W_{\text{ext}} = q V_p$$

$$V_p = \frac{W_{\text{ext}}}{q} = \frac{30 \text{ J}}{3 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = 10^{10} \text{ V}.$$

30. Según la definición,  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

$$E_{c,e} = 1 \text{ keV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}.$$

Como la carga de la partícula alfa es  $q = 2e$ ,

$$E_{c,\text{alfa}} = 2 \text{ keV} = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}.$$

31. Calcularemos en cada caso el trabajo realizado por el campo:  $W_{\text{campo}} = -\Delta E_p = q (V_{\text{inicial}} - V_{\text{final}})$ . En todo caso, como suponemos que el movimiento no implica cambio de energía cinética, el trabajo exterior lo obtendríamos a partir de  $W_{\text{ext}} = -W_{\text{campo}}$ .

a)  $W_{\text{campo (A,B)}} = q (V_A - V_B) = 3 \cdot 10^{-5} (30 - 60) = -0,9 \text{ mJ}.$

b)  $W_{\text{campo (A,C)}} = q (V_A - V_C) = 3 \cdot 10^{-5} (30 - 30) = 0 \text{ mJ}.$

c) De B a A es el caso contrario al caso a); luego  $W_{\text{campo (B,A)}} = +0,9 \text{ mJ}.$

32. a) Como el movimiento es espontáneo, la variación de energía potencial es negativa (el electrón se mueve hacia potenciales crecientes):

$$\Delta E_p = q (V_2 - V_1) = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 100 \text{ V} = -1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}.$$

- b) La energía cinética es  $1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ . Despejamos la rapidez ( $v$ ) del electrón:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 5,93 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

33. Podemos calcular la ddp a partir de la relación válida para un campo eléctrico uniforme, que se deduce de las unidades de la intensidad  $E$  (V/m):

$$|\Delta V| = E |\Delta x| = 10^4 \text{ V/m} \cdot 0,1 \text{ m} = 1000 \text{ V}$$

y por tanto la energía potencial transformada en cinética es 1000 eV:

$$E_c = 10^3 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

y su rapidez:

$$v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 1,875 \cdot 10^7 \text{ m/s}.$$

(Observación: este valor tan alto de  $v$  (cercano al de la velocidad de la luz en el vacío,  $c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) nos da ocasión para indicar que, en estas condiciones, es necesario aplicar las ecuaciones que se deducen de la teoría de la relatividad de Einstein, que veremos en otro curso).

34. a) El módulo de la fuerza eléctrica es:

$$F_{\text{eléc}} = e E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^5 \text{ N/C} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

Y el peso es:

$$F_{\text{peso}} = m g = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 8,92 \cdot 10^{-30} \text{ N}$$

La relación entre ambas fuerzas es:

$$\frac{F_{\text{eléc}}}{F_{\text{peso}}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}}{8,92 \cdot 10^{-30} \text{ N}} = 1,79 \cdot 10^{15}.$$

b) Un recorrido de 1 cm equivale a una ddp aceleradora de

$$|\Delta V| = E |\Delta x| = 10^5 \text{ V/m} \cdot 0,01 \text{ m} = 1000 \text{ V}$$

y por tanto la energía potencial transformada en cinética es 1000 eV:

$$E_c = 10^3 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

y su rapidez

$$v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 1,875 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

El tiempo necesario para recorrer 1 cm lo calculamos considerando que es un MUA:

$$d = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} (F/m) t^2 = \frac{1}{2} (eE/m) t^2$$

$$t = \sqrt{\left( \frac{2 md}{eE} \right)} = \sqrt{\left( \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 0,01 \text{ m}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^5 \text{ N/C}} \right)} = 1,07 \text{ ns}.$$

35. En el movimiento de la partícula dentro del campo eléctrico se conserva la energía mecánica; por tanto:

$$-\Delta E_p = \Delta E_c \rightarrow q |\Delta V| = \frac{1}{2} m v^2$$

$$|\Delta V| = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{q} = \frac{0,5 \cdot 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (1,5 \cdot 10^6 \text{ m/s})^2}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,33 \cdot 10^4 \text{ V}$$



### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

3. Como la fuerza eléctrica compensa a la fuerza peso, ha de ser  $Kq q' / d^2 = mg$ .

Operando en el SI:

$$q = \frac{d^2 mg}{K q'} = \frac{10^{-4} \cdot 10^{-3} \cdot 9,8}{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 5,44 \cdot 10^{-13} \text{ C}$$

4. En el péndulo eléctrico el ángulo de desviación del hilo cumple la ecuación:  $\text{tg} \theta = qE/mg$ .

$$E = \frac{mg \text{tg} \theta}{q} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot \text{tg} 30^\circ}{2 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = 5,66 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

5. El trabajo es  $W_{\text{campo}} = q (V_1 - V_2)$ .

a)  $W_{\text{campo}} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ C} (200 - 100) = 3 \cdot 10^{-7} \text{ J} = 0,3 \mu \text{ J}$ ; espontáneo;

b)  $W_{\text{campo}} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ C} (100 - 200) = -3 \cdot 10^{-7} \text{ J} = -0,3 \mu \text{ J}$ ; forzado;

c)  $W_{\text{campo}} = -3 \cdot 10^{-9} \text{ C} (2 - 10) = 24 \text{ nJ}$ ; espontáneo;

d)  $W_{\text{campo}} = -3 \cdot 10^{-9} \text{ C} (10 - 2) = -24 \text{ nJ}$ ; forzado.

6. Según el enunciado, la distancia a  $Q_1$  es 15 cm y la distancia a  $Q_2$  es 65 cm. Como en el punto citado el campo eléctrico es nulo, deducimos que la carga  $Q_2$  es negativa; podemos escribir:

$$E_1 = E_2 \rightarrow \frac{K Q_1}{d_1^2} = \frac{K Q_2}{d_2^2} \rightarrow \frac{-3 \mu \text{C}}{(15 \text{ cm})^2} = \frac{Q_2}{(65 \text{ cm})^2}$$

y operando obtenemos  $Q_2 = -56,33 \mu \text{C}$ .

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos **criterios de evaluación específicos** para este tema.

Los alumnos y las alumnas deben ser capaces de:

1. Describir los tres procedimientos de electrización y aplicar a los mismos el principio de conservación de la carga.
2. Utilizar y describir el funcionamiento del electroscope y el péndulo como aparatos útiles en el estudio de las interacciones entre cargas.
3. Enunciar y formular la ley de Coulomb.
4. Realizar cálculos de fuerzas aplicando la ley de Coulomb a sistemas con dos o tres cargas, respetando el carácter vectorial de las fuerzas.
5. Relacionar el vector intensidad de campo eléctrico con la fuerza sobre una carga.
6. Interpretar el significado de las líneas de campo y de las superficies equipotenciales como dos formas complementarias de describir un campo eléctrico.
7. Para un sistema de dos cargas puntuales o para el caso de un campo uniforme, aplicar la ecuación  $\vec{F} = q \vec{E}$  y calcular la intensidad de campo en un determinado punto.
8. Relacionar a nivel conceptual y a nivel operativo la energía potencial y el potencial en un punto, deduciendo de ello la definición de voltio.
9. Aplicar los conceptos de energía potencial, potencial y ddp a los cálculos energéticos cuando las cargas se mueven espontáneamente o forzadas por la acción de fuerzas exteriores.
10. Explicar problemas de la vida cotidiana relacionados con fenómenos eléctricos (electrificaciones, pararrayos...).

## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

- Define los siguientes términos: a) Inductor (en los fenómenos de electrización), b) línea de campo, c) voltio, d) intensidad de campo eléctrico, e) ley de Coulomb.
- Explica los motivos por los que es útil el concepto de campo eléctrico. Define la intensidad de campo eléctrico y explica qué son las líneas de campo basándote en un dibujo.
- Una carga  $20\ \mu\text{C}$  se encuentra en el punto A (2,0) m y otra de  $-4\ \mu\text{C}$  se encuentra en el punto B (5,0) m. Halla:
  - El valor del campo producido por las dos cargas en el punto O(0,0).
  - El valor del campo eléctrico en el punto C(3,0) m.
- El campo eléctrico uniforme entre dos láminas planas cargadas vale  $10^5\ \text{N/C}$ .
  - Calcula la fuerza ejercida por este campo sobre un electrón.
  - ¿Qué velocidad adquirirá este electrón cuando haya recorrido 1 cm, si se supone que ha partido del reposo? ¿Cuánto valdrá su energía cinética?
- Tres cargas idénticas de  $2\ \mu\text{C}$  se encuentran en los vértices de un triángulo equilátero de 1 m de lado. Calcula el módulo de la fuerza resultante que actúa sobre una de ellas, si se encuentran en el vacío.
- ¿Qué significa que la intensidad de un campo eléctrico sea  $E = 3 \cdot 10^5\ \text{N/C}$ ? ¿Qué fuerza ejerce este campo sobre una carga  $q = 3\ \text{mC}$  y sobre una carga  $q'$  doble que la anterior?
- Dos cargas eléctricas puntuales del mismo signo están situadas en el vacío a 1 m de distancia; si  $q_1 = 2\ \text{nC}$  y  $q_2 = 3\ \text{nC}$ , determina: a) La fuerza de repulsión entre ellas. b) La energía posicional electrostática del conjunto, ¿es positiva o negativa? ¿Qué significado tiene el signo de  $E_p$ ?
- Cargamos una placa metálica y la colocamos en posición vertical. a) Dibuja las líneas del campo que produce la placa cargada, si su carga es positiva. b) Explica cómo se pueden analizar las características del campo con la ayuda de un péndulo eléctrico.
- Una carga de  $2\ \text{nC}$  se coloca en el origen de coordenadas y otra de  $-3\ \text{nC}$  se coloca en el punto P(3,0) m. ¿Hay algún o algunos puntos del eje x en los que sea cero el campo eléctrico originado por dichas cargas?
- Calcula la ddp que existe entre dos puntos separados 5 cm sobre una misma línea de un campo eléctrico uniforme de intensidad  $E = 1\ 000\ \text{N/C}$ . Justifica tu respuesta. ¿Cuál habría sido la respuesta si el segmento que une ambos puntos fuese perpendicular a las líneas del campo?
- Si un sistema de dos cargas eléctricas puntuales tiene energía potencial positiva, ¿son necesariamente positivas las dos cargas? Razona la respuesta.
  - ¿Es cierto que si en un punto el campo eléctrico es nulo, necesariamente también es nulo el potencial? Razona la respuesta.
- Dos cargas puntuales  $q_1 = +5\ \mu\text{C}$  y  $q_2 = -5\ \mu\text{C}$  están situadas fijas en el aire a distancia de 20 cm. En el punto medio del segmento que determinan se sitúa una tercera carga  $q = 1\ \mu\text{C}$ .
  - Calcula la fuerza sobre la carga q en dicha posición.
  - Explica cómo se moverá la carga q al dejarla en libertad.
- Una carga de  $2\ \text{nC}$  se coloca en el origen de coordenadas y otra de  $-3\ \text{nC}$  se coloca en el punto P(3,0) m. ¿Hay algún o algunos puntos del eje x en los que sea cero el campo eléctrico creado por dichas cargas?
- Aplicamos a dos placas metálicas paralelas, verticales y separadas una distancia de 5 cm una ddp de 300 V; ¿cómo es el campo eléctrico existente entre ellas?; ¿cuál es su intensidad? Colocamos entre las placas un péndulo electrostático de masa 0,2 g y vemos que se desvía de la vertical un ángulo de  $5^\circ$ . Calcula la carga del péndulo.
- Explica lo que significa que el campo eléctrico es conservativo.
  - Define potencial en un punto de un campo eléctrico y el voltio como unidad de diferencia de potencial.
- Un electrón se mueve entre dos puntos de un campo eléctrico uniforme, que tienen una ddp de 100 V. Calcula: a) La energía potencial transformada cuando el electrón ha pasado de un punto a otro. b) ¿Cuál será la rapidez final del electrón? ( $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$ )

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros

BERKSON, W. (1974). *Las teorías de los campos de fuerzas. De Faraday hasta Einstein*. Madrid, Alianza.

DÍAZ-HELLÍN, J.A. (2001). *El gran cambio en la Física: Faraday*, Ediciones Nivola.

ELLIS, K. (1977). *Thomas Edison, genio de la electricidad*. La Coruña, Ed. Adara.

FRANKLIN, B.: *Ensayos sobre electricidad*. Madrid, Alianza Universidad.

GALLEGO, G. y otros. (1978). *Benjamin Franklin*. Madrid, Ed. Hernado (col. "Camino abierto por...").

GRUP RECERCA (1980). *La corriente eléctrica*. Barcelona, ICE de la UAB.

GUISASOLA, J. (1996). Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista. *Tesis doctoral*. Universidad del País Vasco. Departamento de Física Aplicada I.

HIDROELÉCTRICA ESPAÑOLA (1989). *Las nuevas energías*.

PÉREZ DE LADAZÁBAL, M.<sup>a</sup> y VARELA, P. (2003). *Orígenes del electromagnetismo: Oersted y Ampère*, Edicionales Nivola.

VARELA, M.<sup>a</sup> P. et al. (2000). *Electricidad y magnetismo*. Madrid, Síntesis.

VV.AA. (1993). *Electricidad*. Colección Ciencia Visual. Madrid, Santillana.

VIENNOT, L. (2002). *Razonar en física*. Madrid. A. Machado libros, S. A. (Aprendizaje).

WOOD, R. (1991). *Magnetismo. De la brújula a los imanes superconductores*. Madrid, Mc Graw-Hill.

### Revistas y artículos

ACEVEDO, J.A. (2004). El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 1, n.º 3, pp. 188-205 (<http://apac-eureka.org/revista>).

FURIÓ, C. y GUISASOLA, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de carga y potencial eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 259-271.

FURIÓ, C. y GUISASOLA, J. (1997). Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*.

FURIÓ, C. y GUISASOLA, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 17(3), pp. 441-452.

GUISASOLA, J. (1997). El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato. *Alambique*, n.º 11. Graó: Barcelona.

GUISASOLA, J. (1999). Enseñanza/aprendizaje de la teoría eléctrica que explica los fenómenos electrostáticos básicos. *Alambique*, n.º 19, pp. 9-18.

GUISASOLA, J. y FURIÓ, C. (1993). ¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos? *Revista española de Física*, 7(3), 1993.

GUISASOLA, J. y FURIÓ, C. (1994). Dificultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de electrostática. *Investigación en la escuela*, 23, pp. 103-114.

KEVLES, D. (1979). Robert Millikan. *Scientific American*, enero 1979, pp. 142.

MANRIQUEZ, M. et. al. (1989). Selección bibliográfica sobre los esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 7(3).

MENESES, J. y CABALLERO, M.C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 13, n.º 1, pp. 36-45.

PONTES, A. y PRO, A. (1998). Interacciones eléctricas y estructura de la materia: Dificultades de los estudiantes en la adquisición de modelos científicos. *Investigación e innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, vol. II. DM, Murcia.

PRO, A. y SAURA, O. (1996). Una propuesta metodológica para la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad y el magnetismo. *Investigación en la Escuela*, n.º 28, pp. 79-94.

# CORRIENTE ELÉCTRICA

# 6

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

En este tema comenzaremos por recordar **qué es un circuito eléctrico**, incidiendo por medio de alguna actividad en las ideas previas que mantienen las alumnas y los alumnos en relación al mismo. En concreto, pueden destacarse como más frecuentes las siguientes:

- a) La corriente está almacenada en la pila y se consume en la bombilla;
- b) la corriente que suministra la pila se va gastando a lo largo del recorrido por los diferentes elementos del circuito;
- c) no se considera necesario que el circuito esté cerrado para que exista corriente.

En consecuencia, si queremos lograr en este terreno un aprendizaje significativo hay que insistir en el modelo electrónico para la corriente y en el *papel del generador* como "motor" de las cargas eléctricas.

La **ley de Ohm** relaciona las magnitudes principales que intervienen en el circuito, la diferencia de potencial y la intensidad. Proponemos realizar un experimento en que la variable independiente sea la tensión, para poder representar  $I$  en función de  $V$ , lo que nos conduce a una *expresión más acorde con el enunciado de la ley de Ohm*, como es  $I = k \Delta V$ . Esta expresión, o la más usual  $\Delta V = (1/k) I$ , permite explicar el significado de la **resistencia**.

Una vez comprobado cómo se conectan entre sí los generadores y las resistencias y cuáles son los circuitos equivalentes a las *asociaciones en serie o en paralelo*, estaremos en disposición de aplicar la ley de Ohm al cálculo de intensidades y de ddp en circuitos con diversos componentes. Para lograr una buena comprensión de estos conceptos se deben realizar algunos experimentos como los propuestos en el libro del alumnado.

Respecto a los *aparatos de medida*, es interesante en la medida de lo posible usar polímetros electrónicos digitales y amperímetros y voltímetros clásicos, montados a partir de un galvanómetro, manipulación que ofrece una buena ocasión para aplicar lo aprendido a un caso práctico.

En la segunda mitad del tema, analizaremos en primer lugar la transferencia de energía que ocurre en el filamento de la bombilla o en una estufa, es decir el **efecto Joule** y el concepto de **potencia eléctrica**. Es aconsejable utilizar como unidad práctica de energía el kWh.

Como consecuencia del balance de energía de un circuito formado por un generador y una resistencia, llegaremos a determinar la resistencia interna de un generador no ideal y a definir su *fuerza electromotriz*.

Ahora bien, todos los receptores de energía eléctrica no tienen el comportamiento de una resistencia, sino que las

baterías y los motores eléctricos se comportan desde el punto de vista de la ley de Ohm como si se tratase de “un generador de polaridad opuesta” al sentido de la corriente (concepto de fuerza contraelectromotriz). De nuevo el balance energético de un circuito general conducirá a la ecuación que permite calcular la intensidad en cualquier circuito formado por generadores y receptores.

En el último apartado del tema analizaremos **aspectos prácticos, sociales y ecológicos de la energía eléctrica**, incluyendo algunas alternativas de ahorro en el uso de energía eléctrica, dado que su producción está asociada a fenómenos contrarios a un desarrollo sostenible como el efecto invernadero.

## 2. CONTENIDOS

### 1. El circuito eléctrico

- Concepto de circuito eléctrico.
- Condiciones para que funcione un circuito

### 2. La corriente eléctrica. Mecanismo de conducción e intensidad

- Modelo electrónico para explicar la conductividad metálica.
- Intensidad de corriente.
- El amperímetro y el voltímetro.
- Generadores de tensión.

### 3. Relación entre la diferencia de potencial y la intensidad: Ley de Ohm

- Búsqueda experimental de la ley de Ohm.
- Conductores óhmicos y no óhmicos.

### 4. Las resistencias

- Factores de que depende el valor de una resistencia eléctrica cilíndrica.
- Resistencias variables y su funcionamiento.
- Asociación de resistencias en serie y/o en paralelo.
- Cálculo de la resistencia equivalente de diferentes asociaciones.
- Aparatos de medida: transformación de un galvanómetro en amperímetro o en voltímetro.

### 5. Generadores de tensión: características

- Fuerza electromotriz de un generador.

- Resistencia interna de un generador.

- Asociación de generadores iguales en serie o en paralelo.

### 6. Transformaciones energéticas en un circuito simple

- Concepto de generador y de receptor.
- El efecto Joule: justificación energética.
- Energía transformada en una resistencia: estudio experimental y cálculos numéricos.
- La potencia eléctrica.
- Estudio energético de un circuito formado por un generador y una resistencia.
- Relación entre la fem del generador y la ddp entre bornes.
- Estudio experimental de un generador.

### 7. Receptores activos y la conservación de la energía a los circuitos eléctricos

- Comportamiento eléctrico de los motores eléctricos.
- Concepto de fuerza contraelectromotriz.
- Balance energético de un circuito con generador y motor.
- Rendimiento de un circuito.
- Ecuación general para calcular la intensidad.

### 8. La energía eléctrica en la sociedad actual: generación, consumo y repercusiones de su utilización

- Producción y consumo de energía eléctrica.
- Impacto ecológico.
- Presente y futuro de las energías renovables.
- Cómo ahorrar energía.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Conocer las condiciones que deben darse en un circuito eléctrico, diferenciando sus componentes esenciales.</div> <div>2. Definir la intensidad de corriente y conocer el mecanismo de conducción en los metales y en las disoluciones iónicas.</div> <div>3. Saber conectar el amperímetro y el voltímetro.</div> <div>4. Enunciar la ley de Ohm e interpretar su significado.</div> <div>5. Analizar los factores de que depende la resistencia de un conductor cilíndrico.</div> <div>6. Conocer las leyes que rigen las asociaciones en serie y/o paralelo de las resistencias.</div> <div>7. Asumir que un generador se caracteriza por su fem y su resistencia interna.</div> <div>8. Conocer las leyes que rigen las asociaciones en serie y/o paralelo de los generadores.</div> <div>9. Interpretar el efecto Joule como una transferencia de energía entre el generador y el medio.</div> <div>10. Relacionar la energía y la potencia eléctricas con las magnitudes medibles de un circuito: <math>V</math>, <math>I</math> y <math>R</math>.</div> <div>11. Asumir el papel de un receptor activo y definir su <math>f_{cm}</math>.</div> <div>12. Analizar las transformaciones energéticas en un circuito completo.</div> <div>13. Conocer la estructura básica de una instalación eléctrica, la medida del consumo y órganos de seguridad.</div> <div>14. Analizar diferentes aspectos relacionados con el consumo y el ahorro de energía eléctrica.</div>	<div>1. Conectar correctamente los diferentes componentes de un circuito y medir las magnitudes ddp e intensidad.</div> <div>2. Diseñar experimentos donde sea necesario hacer control de variables (factores que influyen en la resistencia de un conductor...)</div> <div>3. Diseñar y construir circuitos concretos con elementos en serie y/o derivación para conseguir algún objetivo.</div> <div>4. Utilizar técnicas de resolución de problemas numéricos sobre circuitos con aplicación de la ley de Ohm y la potencia y energía eléctricas.</div> <div>5. Identificar las transformaciones energéticas que se producen en algunos aparatos eléctricos sencillos.</div> <div>6. Interpretar esquemas de aparatos, instalaciones y transformaciones relacionados con la energía eléctrica, utilizando la simbología específica de la electricidad.</div> <div>7. Utilizar distintas fuentes de información acerca de los problemas derivados del consumo de electricidad en la sociedad actual.</div>	<div>1. Adquirir preocupación por la exactitud en la medida.</div> <div>2. Desarrollar el hábito de respetar el material de laboratorio y las normas de seguridad en relación con el uso de aparatos eléctricos y de las instalaciones eléctricas.</div> <div>3. Mostrar interés por el diseño y la realización correcta de experimentos y ser sincero/a en la elaboración del informe de un experimento.</div> <div>4. Valorar la importancia de la electricidad en la calidad de vida y en el desarrollo industrial y tecnológico.</div> <div>5. Tomar conciencia sobre la limitación de los recursos energéticos y su incidencia ambiental, interesándose por las medidas de ahorro energético.</div>



## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

A.1. Para detectar si entre nuestros alumnos aún persiste un modelo erróneo sobre la conducción, se plantea esta actividad; incluso puede montarse el circuito en la mesa de la profesora o profesor. Como la intensidad es la misma, las dos bombillas lucen lo mismo.

A.2. El número de electrones se calcula dividiendo la carga total por la carga de un electrón:

$$N = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{|\Delta t|}{e} = \frac{0,003 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C/elec}} = 1,875 \cdot 10^{16} \text{ elec.}$$

A.3.



**Exp.1 Buscando la relación entre la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) y la intensidad de corriente ( $I$ ).**

Dada su importancia, interesa redescubrir la ley de Ohm con un experimento cuidadoso; lo ideal es que el experimento lo realicen los alumnos y las alumnas en grupos de 2 o 3; si ello no es posible, se puede ver en el texto el resultado de un experimento concreto.

Para disponer de valores distintos de ddp utilizaremos dos pilas de petaca "destapadas" por la parte superior para hacer accesibles las uniones entre los tres elementos de que constan (1,5 V cada uno).

En nuestro ejemplo, hemos conectado los generadores a una resistencia de 47  $\Omega$ . No interesa que la intensidad sea alta, porque ello haría que la resistencia se calentase a lo largo del experimento y aumentase su valor.

Como en nuestro experimento la variable independiente ha sido la tensión, debemos representar  $I$  (en ordenadas) en función de  $\Delta V$ , lo que nos conduce a una expresión más acorde con el enunciado de la ley de Ohm, como es  $I = k \Delta V$ . Esta ley significa que la intensidad que circula por la resistencia es directamente proporcional a la ddp aplicada.

Si hubiésemos representado  $\Delta V$  en ordenadas e  $I$  en abscisas, tendríamos la ventaja de que la pendiente de la "recta" obtenida es justamente la resistencia del conductor empleado ( $V = R I$ ).

Podemos decir que la ddp  $V$  es la causa del fenómeno y la intensidad  $I$  es el efecto; se cumple la relación más común en las leyes físicas:

$$\text{efecto} = \text{cte} \cdot \text{causa}$$

A.4. De la 1ª pareja de valores obtenemos  $R$ :

$$R = \Delta V / I = 12 \text{ V} / 0,25 \text{ A} = 48 \Omega.$$

A la intensidad  $I = 105 \text{ mA}$  le corresponde una ddp

$$\Delta V = IR = 5,04 \text{ V}.$$

A 3,5 V le corresponde  $I = \Delta V / R = 3,5 / 48 = 0,073 \text{ A}$ .

ddp (V)	Intensidad (mA)
12	250
5,04	105
3,5	73

**Exp.2 Factores de que depende la resistencia.**

Se trata de una pequeña investigación donde alumnas y alumnos deben por su cuenta diseñar un circuito y un procedimiento para comprobar si en  $R$  intervienen factores característicos de un hilo como su longitud, su naturaleza, su sección, y quizá otros.

Algunos consejos prácticos a tener en cuenta si se quieren realizar medidas de  $\Delta V$  e  $I$  algo fiables:

- Se debe utilizar un hilo metálico lo más delgado posible, a fin de que su resistencia no sea muy pequeña, para que se caliente poco y no varíe casi con la temperatura.
- Por el mismo motivo, conviene trabajar con longitudes no inferiores a 2 m.
- Para duplicar la sección de un hilo conductor basta conectar en paralelo dos trozos de igual longitud; con la misma técnica se puede triplicar o cuadruplicar la sección.
- Se puede duplicar la sección de un conductor acudiendo a resistencias de carbón y conectando dos iguales en paralelo.
- Como el valor de la resistencia será pequeño, debemos montar un circuito semejante al de la figura 3.1 y utilizar un amperímetro de buena calidad (resistencia baja).

A.5. En esta actividad se investiga la dependencia de  $R$  con la sección. Lo mejor es hacer una gráfica, aunque por simple observación de los datos vemos que al duplicar  $S$  la resistencia se divide prácticamente por 2, o al triplicar  $S$  la resistencia no es la tercera parte... En definitiva, sólo podemos concluir que si  $S$  aumenta  $R$  disminuye. Pero como al disminuir  $R$  la temperatura aumenta mucho, también lo hace la  $R$ , por lo que el efecto total no es una disminución lineal.

### Exp.3 Resistencias asociadas en serie

La lectura de los tres amperímetros es la misma. También se comprueba que la ddp entre bornes del generador se reparte entre las resistencias en proporción directa a sus valores respectivos; se debe verificar que

$\Delta V_{\text{total}} = \Delta V_{R1} + \Delta V_{R2}$ , siempre teniendo en cuenta la calidad y precisión del voltímetro utilizado.

(Recordar que un buen voltímetro debe tener una resistencia mucho mayor que la que hay entre los puntos A y B a los que se conecta; en ese caso, la intensidad que “absorbe en la medida” el voltímetro es despreciable y así no desvirtúa la medida de la ddp).

### Exp.4 Asociando lámparas

La explicación de las medidas es la siguiente:

2° Al cortocircuitar la lámpara  $L_2$  la resistencia total disminuye y por tanto la intensidad aumenta y *V aumenta*.

3° Desenroscando la lámpara  $L_3$  la resistencia total aumenta y por tanto la intensidad disminuye y *V disminuye*.

4° Al desenroscar la lámpara  $L_1$ , como está en serie el circuito queda abierto y *V* es cero.

**A.6.** Se montan en paralelo, con lo que cada una está a la ddp de la red, 220 V. Si se montaran en serie, al fundirse o desenroscarse una de ellas, el circuito quedaría abierto y no luciría ninguna de las bombillas.

**A.7.** Hay que derivar por una resistencia (shunt) en paralelo con el miliamperímetro la corriente que supere a 30 mA (por tanto 970 mA). Operando, obtenemos:

$$R_p = R_g \frac{I_g}{I_p} = 6 \Omega \cdot \frac{30 \text{ mA}}{970 \text{ mA}} = 0,186 \Omega$$

**A.8.** Ahora debemos asociar al miliamperímetro una resistencia muy elevada,  $R_v$ , de manera que se cumpla:

$\Delta V = I_g (R_g + R_v)$ , siendo  $R_g = 190 \Omega$  e  $I_g = 1 \text{ mA}$ . Operando:  $R_v = 49\,810 \Omega$ .

**A.9.** Cuando al generador se le va conectando un número creciente de lámparas iguales, todas ellas en paralelo, la resistencia equivalente del conjunto va disminuyendo y como consecuencia de la ley de Ohm la intensidad del circuito va aumentando y veremos que la ddp entre bornes del generador decrece; conclusión: “algo” la hace decrecer y ese “algo” es la caída de tensión interna (igual a  $I \cdot R_g$ ), que aumenta a medida que lo hace la intensidad.

Observación: Es buen momento para insistir en que la fem de la pila no cambia en las circunstancias consideradas, ya que la fem sólo depende del proceso químico que tiene lugar en su interior.

**A.10.** Asociados en paralelo, la resistencia equivalente del conjunto de los 3 generadores es  $R_g/3$  y por tanto la intensidad total es:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_g/3} = \frac{1,5}{47 + 0,1/3} = 319 \text{ mA}$$

Asociados en serie, la resistencia equivalente del conjunto de generadores es  $3R_g$  y la intensidad será

$$I = \frac{3\varepsilon}{R + 3R_g} = \frac{4,5}{47 + 0,3} = 0,095 \text{ mA}$$

En general, podemos indicar que la asociación en serie es necesaria si hay que aumentar la ddp que deseamos. La asociación en paralelo de  $N$  generadores iguales permite aumentar la intensidad total en el circuito exterior, que será  $N$  veces la intensidad que corresponde a cada uno de los generadores; así, el rendimiento del conjunto aumenta, al ser la energía disipada en cada generador ( $I^2 R_g$ ) menor.

**A.11.** Si a modo de ejemplo elegimos la energía cinética, el motor eléctrico transforma parte de energía eléctrica en energía cinética de las aspas (que impulsan el aire) y por el contrario la dinamo transforma energía cinética en eléctrica.

**A.12.** Secador del pelo, estufa, plancha, horno, secadora, lavadora y lavavajillas en ciertas etapas del lavado, lámparas de filamento...

### Exp.5 Analizando el brillo de las bombillas.

Estrictamente hablando, el brillo de una bombilla depende de la energía emitida por unidad de tiempo y de la temperatura que alcance el filamento (a mayor temperatura mayor % de energía se emite como “luz” dentro de los límites del espectro visible).

También hay que tener en cuenta que la resistencia del filamento varía mucho con la temperatura, lo que es consecuencia del aumento de la resistividad del material con la temperatura.

La energía por unidad de tiempo, potencia, se puede expresar por las ecuaciones:

$$P = \Delta V I = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

y como muestra la última, el brillo aumenta con la ddp y disminuye con la resistencia.

En el caso 1° (conectamos cada bombilla por separado) se debe concluir que “el brillo” de dos bombillas distintas alimentadas con igual ddp depende de las propias bombillas, o sea de su filamento, de su resistencia; además, a menor valor de  $R$  mayor brillo.

Al conectar las bombillas en serie, la ddp de cada una de ellas será menor que la proporcionada por la pila y por tanto ambas bombillas brillarán menos que en el caso 1°.

Al conectarlas en paralelo, cada una soporta la ddp total de la pila y lucirán igual que en el caso 1°. Suponemos que la ddp de la pila se mantiene constante.

**Exp.6 La energía transformada en una resistencia.** En este experimento tomaremos las siguientes precauciones:

1° Utilizar una resistencia de inmersión de tamaño pequeño para que quepa bien dentro del calorímetro y no conectarla hasta que esté cubierta por el agua.

2° La potencia del calentador o resistencia debe ser tal que el calentamiento del agua no sea demasiado rápido, para poder tomar bien las temperaturas, ni demasiado lento, porque en este caso el calorímetro cedería una energía apreciable al entorno. Un valor de  $R$  entre  $200\ \Omega$  y  $300\ \Omega$  es adecuado, para conectarla a la red de  $220\text{ V}$  de tensión alterna.

La solución más barata es adquirir resistencias sueltas de diferentes valores y potencia adecuada y soldar en el laboratorio sus terminales a un cable eléctrico (aislado) y a un enchufe.

3° Debe tenerse en cuenta la capacidad térmica del calorímetro ( $\text{J}/^\circ\text{C}$ ) o su equivalente en agua ( $E$  gramos de agua).

Los experimentos parciales que conviene realizar son:

1° Determinar la variación de temperatura para distintos intervalos de tiempo (por ejemplo  $2\text{ min}$ ,  $4\text{ min}$  ...).

2° Determinar la variación de temperatura para un intervalo de tiempo fijo, pero variando la ddp aplicada al calentador, lo que se consigue cambiando la posición del cursor sobre el reostato y anotando la lectura del voltímetro.

**A.13.** La energía suministrada por la red y transformada en la estufa es:

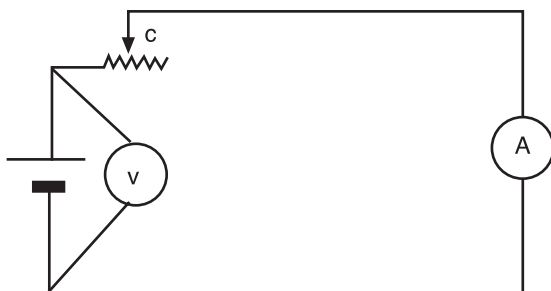
$$W = P \Delta t = 1\text{ kW} \cdot 2\text{ h} = 2\text{ kWh} = 7,2 \cdot 10^6\text{ J}.$$

El *calor útil* realizado por la estufa sobre el ambiente lo calculamos a partir del rendimiento citado en el enunciado:

$$Q = 0,9 W = 0,9 \cdot 7,2 \cdot 10^6\text{ J} = 6,48 \cdot 10^6\text{ J}.$$

### Exp.7 Características de un generador

El experimento clásico se realiza conectando el generador en serie con el reostato, que permite ir cambiando el valor de la intensidad en el circuito (ver figura).



Comenzamos por poner el cursor del reostato en la posición de máxima resistencia y anotamos en una tabla la intensidad  $I$  y la ddp  $\Delta V$  entre los bornes del generador.

Observaciones:

1.- Interesa alcanzar valores de la intensidad grandes, para que la caída de tensión en el interior del generador debido a la resistencia interna sea apreciable.

2.- Una intensidad muy alta mantenida durante algunos segundos calentará apreciablemente el generador y presumiblemente hará variar su resistencia interna; por ello, las medidas con intensidad alta deben ser rápidas.

Como en el circuito se cumple que  $\Delta V = \mathcal{E} - I R_g$  si representamos  $\Delta V$  en ordenadas e  $I$  en abscisas, obtendremos una serie de puntos que permitirán dibujar una recta de ajuste, como muestra la figura 6.8 b del texto, página 205.

La recta citada corta al eje de ordenadas en un valor que coincide numéricamente con la fem del generador.

Por otra parte el módulo de la pendiente de la recta coincide con el valor de  $R_g$ .

**Observación:** Debemos resaltar de nuevo que la fem de un generador y la ddp entre sus bornes no son conceptos equivalentes, ya que  $\mathcal{E}$  está ligado a la acción de fuerzas no conservativas que actúan en el interior del generador y la ddp  $V_{AB}$  es consecuencia de la existencia de un campo eléctrico conservativo en el circuito externo.

**A.14.** Significa que por cada culombio que circula por el motor realiza un trabajo mecánico de  $10\text{ J}$ .

$$R_{to} = \mathcal{E}'_m / \mathcal{E} = 10 / 12 = 0,83.$$

**A.15.** Utilizamos la ecuación  $\mathcal{E} = \mathcal{E}'_m + I R_g + I R_m$  pero tomando  $\mathcal{E} - I R_g = \Delta V = 220\text{ V}$

despejamos la fem:

$$\mathcal{E}'_m = \Delta V - I R_m = 220\text{ V} - 0,2\text{ A} \cdot 75\ \Omega = 205\text{ V}.$$

$$P_{\text{mecánica}} = \mathcal{E}'_m I = 205\text{ V} \cdot 0,2\text{ A} = 41\text{ W}.$$

$$R_{to} (\%) = 100 \frac{\mathcal{E}'_m}{V} \% = 100 \frac{205}{220} \% = 93,18 \%$$

**A.16.** Despejamos la intensidad de la ecuación general

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}'_m + I R_g + I R_m + R$$

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}'_m}{R_g + R_m + R} = \frac{12\text{ V} - 9\text{ V}}{1\ \Omega + 1\ \Omega + 8\ \Omega} = 0,3\text{ A}$$

$$\text{Potencia mecánica} = \mathcal{E}'_m I = 9\text{ V} \cdot 0,3\text{ A} = 2,7\text{ W}.$$

$$R_{to} (\%) = 100 \frac{\mathcal{E}'_m}{V} \% = 100 \frac{9}{12} \% = 75 \%$$

**A.17.** Según la ecuación  $P = \Delta VI$ , si  $\Delta V = \text{cte.}$ , resulta que  $P = \text{cte.} \cdot I$ . Es decir, a cada potencia máxima le corresponde una intensidad máxima.

Si  $P_1 = 3\,300\text{ W}$ , la intensidad es

$$I_1 = \frac{P_1}{\Delta V} = \frac{3\,300\text{ W}}{220\text{ V}} = 15\text{ A}$$

Y por igual motivo, a 4,4 kW le corresponden 20 A y a 5,5 kW le corresponden 25 A.

**A.18.** Puede ser interesante comparar en la pizarra dos recibos distintos, analizando el efecto sobre el precio final del kWh de lo que se paga por la potencia contratada (kW) y del importe de la energía consumida (kWh).

**A.19. Energía hidráulica.** La potencia instalada prácticamente no ha cambiado. Como sabemos, la producción anual depende del régimen de lluvias.

**Energía eólica.** Ha experimentado un crecimiento espectacular, que espera continúe en el futuro. Para 2010 se espera que la producción de energía eléctrica de origen eólico supere a la producción de las hidráulicas.

**Biomasa.** También ha aumentado mucho, aunque en 2004 sólo representó el 4 % de la producción total.

**Solar fotovoltaica.** La potencia instalada es muy escasa, pero su crecimiento se ha acelerado en los tres últimos años; es de suponer que dicho crecimiento sea en los próximos años tan acusado como el de la eólica.

**A.20.** Citamos algunos párrafos obtenidos en diferentes páginas:

### **Termoacumulador**

Equipos solares para agua caliente sanitaria, calefacción y climatización de piscinas. También se conocen como “placas solares para agua caliente”.

### **Acumulador de calor**

Es un aparato del sistema de calefacción que almacena en un núcleo de bloques cerámicos aislando el “calor” producido por cualquier medio, generalmente por la electricidad, para su posterior uso. El principio básico del concepto de acumulador se basa en la alternancia de ciclos de carga y ciclos de descarga, correspondiéndose generalmente los ciclos de carga con la noche y los de descarga con el día, debido a las tarifas reducidas, así como a las mayores necesidades de uso diurno.

### **Cocina vitrocerámica**

Es un sistema de cocción que utiliza un cristal entre la fuente de calor y el recipiente que se quiere calentar; pueden ser de gas, eléctricas o de inducción. Son más cómodas

de limpiar que la de butano y poseen indicadores de calor que advierten de que las placas todavía permanecen calientes, lo que permite un ahorro de energía.

### **Cocina de inducción**

El calentamiento por inducción se basa en el hecho de que determinados materiales, al ser sometidos a campos electromagnéticos, absorben parte de la energía transformándola en calor. Estos materiales son normalmente metálicos y deben presentar alguna de las siguientes propiedades: a) Buena conductividad eléctrica, que posibilita la circulación interna de las llamadas corrientes inducidas o de Foucault. b) Ferromagnetismo, gracias al cual se produce el fenómeno de la denominada histéresis magnética.

Ambos fenómenos posibilitan la transformación de la energía del campo electromagnético en calor generado internamente en el material. El campo electromagnético necesario es creado mediante una fuente de corriente de media/alta frecuencia constituida por componentes electrónicos y un sistema inductor. La naturaleza de este calentamiento lo hace mucho más eficiente que el tradicional, pues se calienta directamente el recipiente a utilizar, y no indirectamente como se hace con las tradicionales vitrocerámicas basadas en resistencias. Esto contribuye a un ahorro de energía cada vez más apreciado en la sociedad actual.

### **La etiqueta energética**

Los niveles de eficiencia energética de los aparatos se determinan por una letra que va desde la A a la G, es decir, hay siete niveles. La A indica la máxima eficiencia y la G la mínima. El cálculo para situar a cada uno en su sitio parte de comparativas que se hicieron en Europa en 1993. Se midió el consumo anual de frigoríficos, lavadoras, etc. y al consumo medio de los aparatos analizados se le asignó el punto intermedio entre las letras D y E. A partir de ese punto o valor medio se calcularon los demás: un electrodoméstico de clase A, por ejemplo, consume sólo un 55% que uno de tipo medio, o incluso menos. El de clase B consume entre un 55% y un 75%; una lavadora C gasta entre un 75% y un 90%, y así sucesivamente.

**Lámpara de bajo consumo**, también llamada *compacta fluorescente* o CFL (sigla del inglés compact fluorescent lamp) es un tipo de lámpara fluorescente que se puede usar con casquillos estándar con rosca Edison estándar (E27) o pequeña (E14).

En comparación con las lámparas incandescentes, las CFL tienen una vida nominal mayor y usan menos energía eléctrica para producir la misma iluminación. De hecho, las lámparas CFL ayudan a ahorrar costos en facturas de electricidad, en compensación a su alto precio dentro de las primeras 500 horas de uso.

Presentadas mundialmente a principios de los años ochenta, las ventas de las lámparas CFL se han incrementado constantemente debido a las mejoras en su funcionamiento y la reducción de sus precios. El más importante avance en la tecnología de las lámparas fluorescentes (incluidas las CFL) ha sido el reemplazo de los balastos magnéticos o cebadores (transformadores usados para su encendido) por los del tipo

electrónico. Este reemplazo ha permitido la eliminación del efecto de "parpadeo" y del lento encendido tradicionalmente asociados a la iluminación fluorescente.

Las lámparas compactas fluorescentes utilizan un 80% menos de energía y pueden durar hasta 12 veces más, ahorrando así dinero en la factura eléctrica.

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

### CONCEPTOS BÁSICO Y LEY DE OHM

3. Utilizando el concepto de intensidad:

$$Q = I \Delta t = 0,2 \text{ A} \cdot 900 \text{ s} = 180 \text{ C}$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{180 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C/elec}} = 1,125 \cdot 10^{21} \text{ elec.}$$

4. Como no conocemos la resistividad, podemos dividir  $R_1$  por  $R_2$  y operar con la ecuación que resulta:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{S_2}{S_1} \rightarrow R_2 = R_1 \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} = 1,5 \cdot \frac{6}{10} \cdot \frac{5}{10} = 0,45 \Omega$$

5. La intensidad del campo eléctrico en el interior del conductor depende de la ddp aplicada al mismo y de su longitud. La relación es  $E = \Delta V/L$ , como se puede deducir por la equivalencia entre las “unidades”  $\text{N/C} = \text{V/m}$ .

Como no conocemos el valor de  $\Delta V$ , acudiremos a la ley de Ohm, es decir  $\Delta V = IR$  y sustituiremos  $R$  por su expresión para un conductor cilíndrico:  $R = \rho L/S$ . Es decir:

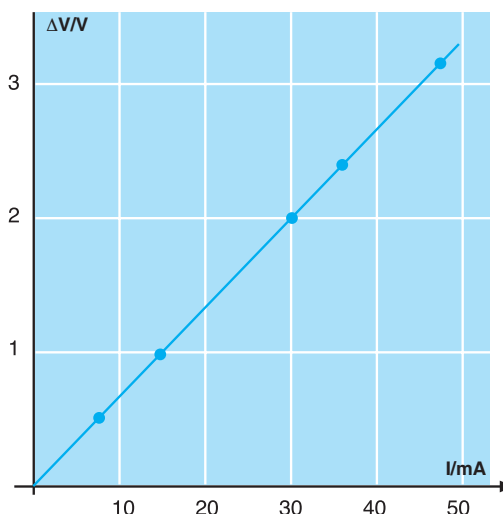
$$E = \frac{IR}{L} = I \frac{\rho L/S}{L} = \frac{I\rho}{S} = \frac{1 \text{ A} \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}}{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,67 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

6. Los alumnos deben elaborar un gráfico, con  $R$  en ordenadas; se deduce que  $R = kL$ , siendo la pendiente de la recta  $k \approx 4,76 \Omega/\text{m}$ .

7. Operando con la fórmula de la resistencia de un conductor cilíndrico en el SI obtenemos:

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m} \cdot 45 \text{ m}}{(\pi \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 0,237 \Omega$$

8.



Según la ley de Ohm, la pendiente de la recta

$$\Delta V = \text{cte } I$$

es la resistencia  $R$ .

Podemos calcular la pendiente representando  $\Delta V$  en ordenadas e  $I$  en abscisas y trazando la recta de ajuste o bien con la calculadora por el método de ajuste de los mínimos cuadrados. El resultado es

$$R = 66 \Omega.$$

### CIRCUITOS ELÉCTRICOS: CÁLCULO DE DDP E INTENSIDAD

9. La solución es asociarla en serie con una resistencia  $R_x$  de valor tal que la ddp de la lámpara sea 125 V y la ddp de la resistencia  $R_x$  sea 95 V. Como la intensidad en ambas resistencias en la misma, porque están en serie, tenemos:

$$I_b = I_x \rightarrow \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_x}{R_x} \rightarrow \frac{125}{R_L} = \frac{95}{R_x}$$

$$R_L/R_x = 125/95 = 1,32.$$

Si fuese al revés, es decir, utilizar una lámpara de 220 V a 125 V, la lámpara casi no luciría al ser la intensidad real mucho menor que la nominal.

10. La intensidad del circuito es

$$I = \Delta V / R = 4,5 \text{ V} / (100 + 220) \Omega = 0,014 \text{ A}.$$

Entre los puntos T y P la ddp es la que proporciona el generador, supuesto ideal, 4,5 V.

Entre Q y S la ddp es

$$V_Q - V_S = R_{QS} I = 220 \Omega \cdot 0,014 \text{ A} = 3,08 \text{ V}.$$

11. La resistencia  $R_1$  está en serie con los dos generadores ideales ( $\varepsilon = 9 \text{ V}$ ) y con la resistencia de  $220 \Omega$ , entre cuyos extremos hay una ddp de  $\Delta V_{220} = 2,86 \text{ V}$ . La ecuación de las ddp aplicada al circuito serie es:

$$\Delta V_{R1} = \varepsilon - \Delta V_{220} = 9 - 2,86 = 6,14 \text{ V}$$

$$R_1 = V_{R1} / I = 6,14 \text{ V} / 0,013 \text{ A} = 472,31 \Omega.$$

12. Como los generadores están en serie,

$$\Delta V_{\text{voltímetro}} = 4,5 \text{ V} \cdot 3 = 13,5 \text{ V}.$$

$$R_{\text{total}} = \frac{220 \cdot 470}{220 + 470} + 220 = 369,9 \Omega$$

Aplicando la ley de Ohm al circuito equivalente,

$$I_{\text{total}} = \frac{\Delta V_{\text{voltímetro}}}{R_{\text{total}}} = \frac{13,5 \text{ V}}{369,9 \Omega} = 0,0365 \text{ A}$$



La ddp en el conjunto paralelo la obtenemos aplicando la ley de Ohm a ese tramo:

$$\Delta V_{\text{paralelo}} = R_{\text{paralelo}} I_{\text{total}} = 149,86 \cdot 0,0365 = 5,47 \text{ V.}$$

La intensidad en la rama donde está el amperímetro es  $I_{\text{amperímetro}} = \Delta V_{\text{paralelo}} / 470 = 0,0116 \text{ A}$ .

13. a) Al conectar las resistencias *en paralelo*, la resistencia equivalente es menor que la suma de ambas y por tanto la intensidad total será mayor que si se conectasen las resistencias en serie.

b) Si las resistencias se conectan en serie, se cumple:

$$R = R_1 + R_2 = 47 + 220 = 267 \Omega.$$

La intensidad será:

$$I = \Delta V / R = 9 \text{ V} / 267 \Omega = 0,0337 \text{ A}.$$

Y aplicando la ley de Ohm a  $R_1$ :

$$\Delta V_{R_1} = I_{R_1} = 0,0337 \text{ A} \cdot 47 \Omega = 1,584 \text{ V}.$$

14. Una lámpara puede hacer de detector de corriente, con tal de que ésta sea suficiente para hacerla brillar y no sea excesiva para fundirla. Cuando aumenta la intensidad en una lámpara ésta *luce más*, pero la luminosidad es difícil de medir y además no es directamente proporcional a la intensidad; por tanto, no sería un buen amperímetro. Por último, para que hiciese el papel de un voltímetro debería tener una resistencia muy elevada y al mismo tiempo lucir proporcionalmente a  $\Delta V$ , cuando lo que ocurre en realidad es que la potencia de la lámpara (y por tanto su brillo) viene dada por  $P = \Delta V^2 / R$ .

En resumen, aparte de los inconvenientes citados, sí que podría hacer de detector cualitativo en determinadas circunstancias.

15. Al llegar la corriente  $I$  a la derivación formada por el amperímetro y  $R_a$ , se cumple la  $R_a = I_x R_x$ ; operando:

$$R_x = R_a \frac{I_a}{I_x} = 0,5 \Omega \frac{0,1 \text{ A}}{0,9 \text{ A}} = 0,056 \Omega$$

16. a) Las tres resistencias de la derecha están en paralelo (para verlo más claro conviene dibujarlas verticales) y su resistencia equivalente se calcula despejando  $R_{\text{eq}}$  de la igualdad

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{220} + \frac{1}{100}$$

con lo que obtenemos  $R_{\text{eq}} = 40,74 \Omega$ .

Esta resistencia está en serie con la de  $47 \Omega$ , por lo que la resistencia total es  $R_{\text{total}} = 87,74 \Omega$ .

b) Aplicando la ley de Ohm al circuito equivalente obtenemos la intensidad total:

$$I_{\text{total}} = \Delta V / R_{\text{total}} = 24 \text{ V} / 87,74 \Omega = 0,2735 \text{ A}.$$

La intensidad total atraviesa la resistencia de  $47 \Omega$ , produciéndose en ella una ddp =  $12,856 \text{ V}$ ; por tanto la ddp que soportan las tres resistencias en paralelo es  $\Delta V_R = 24 - 12,856 = 11,144 \text{ V}$ .

Con estos datos ya podemos calcular la intensidad a través de cada una de las resistencias de  $100 \Omega$  es:

$$I_{100} = \Delta V_R / R = 11,144 \text{ V} / 100 \Omega = 0,11144 \text{ A}$$

y la intensidad en la resistencia de  $220 \Omega$  es:

$$I_{220} = \Delta V_R / R' = 11,144 \text{ V} / 220 \Omega = 0,0507 \text{ A}$$

c) La ddp entre los extremos de  $R$  es, como hemos calculado antes,  $\Delta V_R = 11,144 \text{ V}$ .

17. a) La asociación de generadores equivale a uno de fem  $4,5 \text{ V}$  y resistencia interna  $0,5 \Omega$ ; la resistencia equivalente a las dos en paralelo es

$$R_{\text{paralelo}} = \frac{2 \cdot 4,7}{2 + 4,7} = 1,4 \Omega$$

Por tanto:

$$I_{\text{total}} = \frac{\Delta V_{\text{total}}}{R_{\text{total}}} = \frac{4,5}{0,5 + 1,4} = 0,57 \text{ A}$$

b) La ddp en la resistencia de  $2 \Omega$  es la misma que la que soporta la resistencia equivalente a las dos resistencias en paralelo; por tanto:

$$\Delta V_R = I_{\text{total}} R_{\text{paralelo}} = 0,57 \text{ A} \cdot 1,4 \Omega = 0,80 \text{ V}.$$

Circuito B:

a) La asociación de generadores equivale a un generador único de  $9 \text{ V}$  de fem y  $2 \Omega$  de resistencia interna. Operando como en el circuito A, obtenemos:

$$R_{\text{total}} = 2 + 6 + 1,4 = 9,4 \Omega$$

$$I_{\text{total}} = \frac{\Delta V_{\text{total}}}{R_{\text{total}}} = \frac{9 \text{ V}}{9,4 \Omega} = 0,96 \text{ A}$$

$$b) \Delta V_R = 0,96 \text{ A} \cdot 1,4 \Omega = 1,34 \text{ V}.$$

18. Aunque es posible contestar a la pregunta razonando cualitativamente, vamos a hacer los cálculos tomando  $12 \text{ V}$  como valor de la fem del generador.

Antes de cerrar el interruptor

Las dos resistencias están en serie, y la intensidad que lee el amperímetro, es:



$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{equiv}}} = \frac{12}{220 + 470} = 0,0174 \text{ A}$$

Las lecturas son:

$$\Delta V_1 = 12 \text{ V}; \Delta V_2 = 0,0174 \text{ A} \cdot 220 \Omega = 3,826 \text{ V}.$$

Al cerrar el interruptor, la resistencia equivalente a las dos en paralelo es  $470/2 = 235 \Omega$ ; la resistencia total es  $235 + 220 = 455 \Omega$  y la intensidad total:

$$I = \frac{12 \text{ V}}{455 \Omega} = 0,0264 \text{ A}$$

En la rama que ocupa el amperímetro la intensidad es la mitad de la total, al ser las dos resistencias en paralelo iguales; por tanto, el amperímetro marca  $I_{\text{amp}} = 0,0264/2 = 0,0132 \text{ A}$ .

La lectura del voltímetro  $V_2$  cambiará al valor

$$\Delta V_2 = 220 \Omega \cdot 0,0264 \text{ A} = 5,81 \text{ V}.$$

19. En el circuito b no hay ddp neta, por error en la conexión.

La ddp es máxima en el circuito c, aunque la resistencia interna de los generadores es 4 veces mayor en el c que en el a; en definitiva, al ser normalmente muy baja la resistencia interna de los generadores, lucirá más la bombilla en c.

20. a) Circuito 1: Lucen poco, pero todas igual, porque están en serie.

Circuito 2: Las bombillas 2 y 3 soportan la mitad de la ddp que la 1 y la 4; por tanto, según la ecuación  $P = \Delta V^2/R$ , las bombillas 2 y 3 lucen cada una la cuarta parte que la bombilla 1. También podemos razonar fijándonos en la ecuación de la potencia  $P = I^2 R$ ; como la intensidad en las bombillas 1 y 4 es el doble que en las bombillas 2 y 3, estas últimas lucen 4 veces menos que la 1 y la 4.

Circuito 3: Apliquemos otro método, calculando las intensidades de las distintas lámparas, siendo  $I$  la intensidad total:

$$\Delta V_3 = \Delta V_1 + \Delta V_2 \rightarrow I_3 R = I_1 R + I_1 R = 2 I_1 R$$

$$I_3 = 2 I_1$$

$$I_4 = I.$$

$$\text{Por otra parte: } I = I_3 + I_1 = 2 I_1 + I_1 = 3 I_1$$

$$I_1 = I_2 = I/3; I_3 = 2I/3.$$

Como la potencia de cada lámpara es  $P = I^2 R$ , tomaremos como referencia la potencia de la lámpara que más brilla, la 4, siendo  $P_4 = I^2 R$ . Además:

$$P_3 = I_3^2 R = (2 I/3)^2 R = (4/9) I^2 R = 4/9 P_4$$

$$P_1 = I_1^2 R = (I/3)^2 R = I^2 R/9 = P_4/9$$

$$P_2 = P_1$$

o sea, ordenadas de mayor a menor brillo:

$$P_4 > P_3 > P_2 = P_1.$$

b) Si se funde 1; no luce ninguna en el primer circuito; no brilla ninguna; brillan igual 3 y 4 no 2. Si se funde 2: no luce ninguna; brillan igual 1, 3 y 4; sólo brilla 3 y 4 igual. Se funde la 3: no luce ninguna; brillan igual 1, 2 y 4; brillan igual 1, 2 y 4. Funde 4; no brilla ninguna; no brilla ninguna; no brilla ninguna.

21. En el circuito 1 tenemos  $\Delta V = 5 R_a$ ; en el circuito 2 tenemos:  $\Delta V = 2,1(R_a + 2,2)$ . Igualando ambas ecuaciones

$$5 R_a = 2,1 (R_a + 2,2) \rightarrow R_a = 1,59 \Omega$$

y a partir de la primera ecuación obtenemos

$$\Delta V = 5 R_a = 5 \cdot 1,59 \Omega = 7,95 \text{ V}.$$

22. Para hallar la intensidad a través de  $R_2$  tenemos en cuenta que la intensidad total es igual a la suma de las tres intensidades producidas en la bifurcación; por tanto:

$$I_{\text{total}} = I_{100} + I_{100} + I_{R_2} = 2 I_{100} + I_{R_2}$$

$$0,785 = 2 I_{100} + I_{R_2} \text{ (ec.1)}$$

Por otra parte,  $I_{100} = 12 \text{ V} / 100 \Omega = 0,12 \text{ A}$ ; despejando de la ec.1 la intensidad  $I_{R_2}$  obtenemos:

$$I_{R_2} = 0,785 - 2 \cdot 0,12 = 0,545 \text{ A}$$

y finalmente aplicamos la ley de Ohm a  $R_2$ :

$$R_2 = \frac{\Delta V}{I_{R_2}} = \frac{12 \text{ V}}{0,545 \text{ A}} = 22 \Omega$$

Comprobación:

$$R_{\text{equiv}} = \frac{50 \Omega \cdot 22 \Omega}{(50 + 22) \Omega} = 15,278 \Omega$$

$$I_{\text{total}} = \frac{\Delta V}{R_{\text{equiv}}} = \frac{12 \text{ V}}{15,278 \Omega} = 0,785 \text{ A (Bien)}$$

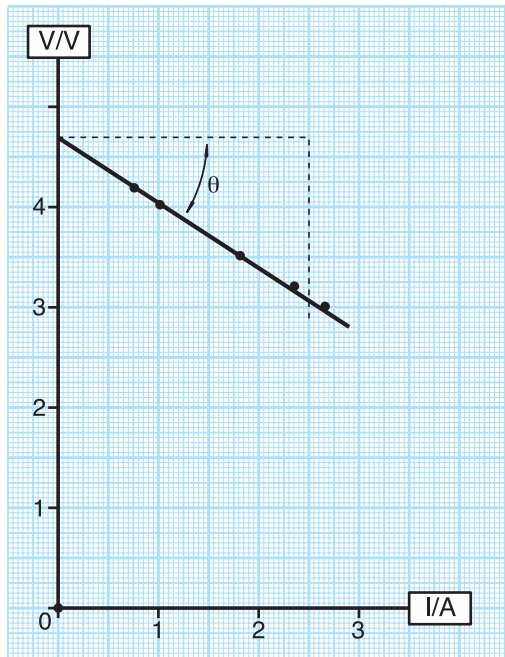
## GENERADOR: FEM Y RESISTENCIA INTERNA

23. La recta de ajuste de la tabla es una línea recta, como se ha representado en la figura 6.8 del libro del alumado (pág.205):

$$\Delta V = \varepsilon - I R_g.$$

La prolongación corta al eje de ordenadas en el valor 4,7 V, que es la fuerza electromotriz. La pendiente de la recta es, en valor absoluto, la resistencia interna:

$$R_g \approx 0,7 \Omega.$$



24. a) Como todos los elementos del circuito están en serie:

$$R_{\text{total}} = R_g + R_{\text{cables}} + R_{\text{bombillas}} = 0,2 + 0,5 + 15 = 15,7 \Omega$$

$$b) I = \varepsilon / R_{\text{total}} = 60 / 15,7 = 3,82 \text{ A}$$

$$c) \Delta V_{\text{bat}} = \varepsilon - I R_g = 60 \text{ V} - 3,82 \text{ A} \cdot 0,2 \Omega = 59,24 \text{ V}.$$

25. Como todos los elementos están conectados en serie, la resistencia total es

$$R_{\text{total}} = R_g + R_1 + R_2 + R_1 = 1 + 1,5 + 6 + 1,5 = 10 \Omega.$$

Calculamos la intensidad:

$$I = \varepsilon / R_{\text{total}} = 10 \text{ V} / 10 \Omega = 1 \text{ A}.$$

$$a) V_{AB} = I R_1 = 1 \text{ A} \cdot 1,5 \Omega = 1,5 \text{ V}.$$

$$b) \Delta V_{\text{pila}} = \varepsilon - I R_g = 10 \text{ V} - 1 \text{ A} \cdot 1 \Omega = 9 \text{ V}$$

c) La caída de tensión entre los puntos B y C es:

$V_{BC} = I R_2 = 1 \text{ A} \cdot 6 \Omega = 6 \text{ V}$  y como el potencial del punto B es cero, será

$$V_C = V_B - V_{BC} = 0 - 6 \text{ V} = -6 \text{ V}.$$

26. Utilizando la ecuación  $\varepsilon = \Delta V + I R_g$  tenemos:

Circuito 1:

$$I_1 = \Delta V_1 / R_1 = 20 \text{ V} / 20 \Omega = 1 \text{ A}$$

$$\varepsilon = \Delta V_1 + I_1 R_g \rightarrow \varepsilon = 20 + R_g \text{ (ec.1)}$$

Circuito 2:

$$\Delta V_2 = I_2 R_2 = 0,208 \text{ A} \cdot 100 \Omega = 20,8 \text{ V}$$

$$\varepsilon = \Delta V_2 + I_2 R_g \rightarrow \varepsilon = 20,8 + 0,208 R_g \text{ (ec.2)}$$

Igualando ambas ecuaciones:

$$20 + R_g = 20,8 + 0,208 R_g$$

$$R_g (1 - 0,208) = 0,8 \rightarrow \underline{R_g = 1,01 \Omega}$$

Para hallar  $\varepsilon$  utilizamos la ec.1:

$$\varepsilon = 20 + R_g = 20 + 1,01 = \underline{21,01 \text{ V} = \varepsilon}$$

27. Al no pasar corriente por el galvanómetro, debe ser  $V_{CB} = \varepsilon$ .

Por otra parte, la ddp de 12 V proporcionada por la pila patrón y existente entre los extremos del hilo conductor se reparte proporcionalmente a la resistencia del trozo de hilo considerado, ya que

$$R = \rho L/S = \text{cte } L.$$

Por ello, podemos escribir la proporción:

$$\frac{V_{AB}}{V_{CB}} = \frac{R_{AB}}{R_{CB}}$$

y aislando  $V_{CB}$ :

$$V_{CB} = \varepsilon = V_{AB} \frac{R_{CB}}{R_{AB}} = 12 \text{ V} \frac{11}{40} = 3,3 \text{ V}$$

28. Si marcamos con la letra D el punto de contacto entre las resistencias  $R_x$  y  $R$ , como no pasa corriente por el galvanómetro, se cumple la condición  $V_D = V_C$ , lo que exige que  $V_{AD} = V_{AC}$ , de donde deducimos la

$$\text{ec.1) } I_1 R_x = I_2 R_{AC}$$

Por el mismo motivo se cumple que  $V_{DB} = V_{CB}$ , de donde deducimos la

$$\text{ec.2) } I_1 \cdot 5 = I_2 R_{CB}$$

Dividiendo la ec.1 por la ec.2:

$$\frac{I_1 R_x}{I_1 \cdot 5} = \frac{I_2 R_{AC}}{I_2 R_{CB}} \rightarrow \frac{R_x}{5} = \frac{R_{AC}}{R_{CB}} \text{ (ec.3)}$$

Pero como se trata de un hilo homogéneo, la resistencia de un trozo es directamente proporcional a su longitud; por ello, se cumple que

$$\frac{R_{AC}}{R_{CB}} = \frac{40}{60} \quad (\text{ec.4})$$

De las ec.3 y 4 deducimos:

$$\frac{R_x}{5} = \frac{40}{60} \rightarrow R_x = \frac{5 \cdot 40}{60} = 3,33 \, \Omega$$

## TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS EN UN CIRCUITO

29. Como las bombillas están conectadas en paralelo, al fundirse una, las 5 restantes siguen luciendo como si no hubiese pasado nada.

b) El consumo es:

$$\Delta E = P \Delta t = 6 \cdot 0,040 \, \text{kW} \cdot 3 \, \text{h} = 0,72 \, \text{kWh}.$$

30. La potencia de la lámpara es  $P = \Delta V^2 / R$ , de modo que lucirán más las lámparas de mayor ddp, es decir la que está en serie; en concreto, la tensión será el doble y lucirá 4 veces más.

También se puede razonar utilizando la ecuación

$$P = I^2 R.$$

31. Según las indicaciones de la lámpara, su resistencia es  $R_L = \Delta V / I = 3,5 \, \text{V} / 0,22 \, \text{A} = 15,91 \, \Omega$ .

En el circuito,

$R_{\text{total}} = 3 R_g + R_L = 3 \cdot 0,3 \, \Omega + 15,91 \, \Omega = 16,81 \, \Omega$ , con lo que la intensidad es

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{total}}} = \frac{4,5 \, \text{V}}{16,81 \, \Omega} = 0,268 \, \text{A}$$

y por tanto la potencia real de la lámpara será

$$P = I^2 R_L = (0,268 \, \text{A})^2 \cdot 15,91 \, \Omega = 1,14 \, \text{W}$$

32. Aplicamos la ley de Ohm a la bombilla:

$$R = \Delta V / I = 220 \, \text{V} / 0,28 \, \text{A} = 785,7 \, \Omega;$$

$$P = \Delta V I = 61,6 \, \text{W};$$

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = 0,0616 \, \text{kW} \cdot 6 \, \text{h} = 0,37 \, \text{kWh}.$$

33. Como  $P = I^2 R$ , despejando  $I$  y sustituyendo los datos obtenemos

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,25 \, \text{W}}{4700 \, \Omega}} = 0,007293 \, \text{A}$$

A partir de la ley de Ohm, obtenemos la ddp máxima que puede soportar:

$$\Delta V = I R = 0,007293 \, \text{A} \cdot 4700 \, \Omega = 34,28 \, \text{V}.$$

34. a)  $\Delta E = P \Delta t = 800 \, \text{W} \cdot 60 \, \text{s} = 48\,000 \, \text{J}.$

b) En vez de unidades del SI utilizaremos en la ecuación anterior el kW y la h, para expresar la energía directamente en kWh:

$$\Delta E = P \Delta t = 0,8 \, \text{kW} \cdot 4 \, \text{h} = 3,2 \, \text{kWh}.$$

35. El consumo se calcula mediante  $\Delta E = P \Delta t$ , por lo que consume más la bombilla de mayor potencia, la de 100 W.

Si el rendimiento de la transformación

*energía eléctrica → energía luminosa*

es el mismo en las dos bombillas (alrededor del 5 % en las bombillas clásicas de filamento), lucirá más la que consuma más energía por unidad de tiempo, es decir la de mayor potencia.

36. Calculamos la potencia útil del motor, teniendo en cuenta que la fuerza que ejerce al elevar la carga es equivalente al peso de la misma, al ser la rapidez constante:

$$P_{\text{útil}} = F v = mg v = 800 \, \text{kg} \cdot 9,8 \, \text{N/kg} \cdot 0,7 \, \text{m/s} = 5\,488 \, \text{W}.$$

La potencia eléctrica es:

$$P_{\text{eléc}} = \Delta V I = 220 \, \text{V} \cdot 55 \, \text{A} = 12\,100 \, \text{W}$$

El rendimiento del motor será:

$$\% R_{\text{to}} = 100 \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{eléc}}} = \frac{5\,488 \, \text{W}}{12\,100 \, \text{W}} = 45,36 \, \%$$

37. a) La capacidad  $Q = 150 \, \text{Ah}$  es realmente la carga que es capaz de acumular la batería. Se puede decir que “podría” mantener una corriente constante de 150 A durante 1 h, o una corriente de 15 A durante 10 h.

b) Teniendo en cuenta que  $Q = I \Delta t$  (ec.1) y *suponiendo* que se mantenga constante la intensidad durante todo el tiempo, la potencia consumida es  $P = \Delta V I$  (ec.2).

Si sustituimos  $I$  en (1):

$$\Delta t = \frac{Q \Delta V}{P} = \frac{150 \, \text{A} \cdot 3\,600 \, \text{s} \cdot 12 \, \text{V}}{25 \, \text{W}} = 259\,200 \, \text{s} = 72 \, \text{h}$$

38. El gasto estimado de cada lavadora en 10 años es:

$$G_A = 2\,500 \, \text{kWh} \cdot 0,14 \, \text{€} / \text{kWh} = 350 \, \text{€}$$

$$G_C = 3\,760 \, \text{kWh} \cdot 0,14 \, \text{€} / \text{kWh} = 526,4 \, \text{€}$$

$$\text{Ahorro: } G_B - G_A = 526,4 \, \text{€} - 350 \, \text{€} = 176,4 \, \text{€}.$$

39. La potencia útil necesaria es

$$P_{\text{útil}} = \frac{\Delta E_{\text{int}}}{\Delta t} = \frac{m c \Delta t}{\Delta t} = \frac{1 \, \text{kg} \cdot 4180 \, \text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 45 \, \text{K}}{600 \, \text{s}} = 313,5 \, \text{W}$$

que representa  $313,5 (100/80) = 392 \, \text{W}$  de potencia eléctrica.

Por tanto,  $R = \Delta V^2 / P = (220 \text{ V})^2 / (392 \text{ W}) = 123,5 \Omega$ .

$$\text{a) } L = \frac{RS}{\rho} = \frac{123,5 \Omega \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}{10^{-6} \Omega \text{ m}} = 24,7 \text{ m}$$

$$\text{b) } I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{220 \text{ V}}{123,5 \Omega} = 1,78 \text{ A}$$

c)  $\Delta E_{\text{eléc}} = P \Delta t = 0,392 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} / 6 = 0,065 \text{ kWh}$ ,  
cuyo coste es:

$$\text{Coste} = 0,065 \text{ kWh} \cdot 0,12 \text{ €/kWh} = 0,0078 \text{ €}.$$

40. a) Como se trata de un circuito formado por un generador y un motor, utilizaremos la ecuación

$$\varepsilon'_m = I R_g + \Delta V_{\text{motor}} \text{ y aislando } \Delta V_{\text{motor}}:$$

$$\Delta V_{\text{motor}} = \varepsilon'_m - I R_g = 12 - 11,5 \cdot 0,1 = 10,85 \text{ V}.$$

b) La ddp en las bornas del motor se puede expresar como  $\Delta V_{\text{motor}} = \varepsilon'_m + I R_m$ . Por tanto:

$$\varepsilon'_m = \Delta V_{\text{motor}} - I R_m = 10,85 - 11,5 \cdot 0,3 = 7,4 \text{ V}.$$

c) La potencia mecánica desarrollada por el motor:

$$P_{\text{mec}} = \varepsilon'_m I = 7,4 \text{ V} \cdot 11,5 \text{ A} = 85,1 \text{ W}.$$

41. Empezamos calculando la potencia teórica del salto de agua, en el SI:

$$P_{\text{teórica}} = \frac{-\Delta E_p}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{5000 \cdot 9,8 \cdot 50}{1} = 2,45 \cdot 10^6 \text{ W}$$

a) Ahora podemos calcular fácilmente la potencia útil o eléctrica:

$$P_{\text{eléctrica}} = P_{\text{teórica}} \cdot R_{\text{to}} = 2,45 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 0,68 = 1,666 \cdot 10^6 \text{ W} = 1,666 \text{ MW}.$$

b) Cálculo de la intensidad:

$$P_{\text{eléc}} = \Delta V I \rightarrow 1,666 \cdot 10^6 \text{ W} = 50000 I$$

$$I = 33,32 \text{ A}.$$

c) La resistencia total de la línea es la de un cable de 60 km:

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m} \cdot 60000 \text{ m}}{20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 51 \Omega$$

y por tanto la potencia disipada en la línea es:

$$P_{\text{dis}} = I^2 R = 33,32^2 \cdot 51 = 56,62 \text{ kW}$$

Finalmente, la pérdida económica diaria por la energía disipada en el transporte, a 0,03 € el kWh, es:

$$\begin{aligned} C_{\text{disipada}} &= P_{\text{dis}} \cdot \Delta t \cdot \text{precio} = \\ &= 56,62 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0,03 \text{ €/kWh} = \\ &= 40,77 \text{ € al día}. \end{aligned}$$

42. a) En 1 año están encendidas 1825 h.

La tradicional consume

$$\Delta E_1 = 0,1 \text{ kW} \cdot 1825 \text{ h} = 182,5 \text{ kWh}$$

y la de 20 W consume

$$\Delta E_2 = 0,02 \text{ kW} \cdot 1825 \text{ h} = 36,5 \text{ kWh}$$

El ahorro energético es de 146 kWh.

b) En las 10 000 h de duración media de la lámpara de bajo consumo se habrían fundido (10 000 h)/(1000 h/lámpara) = 10 lámparas normales, que nos habrían costado

$$C_{L,N} = 0,6 \text{ €/lámp} \cdot 10 \text{ lámp} = 6 \text{ €}$$

mientras que la lámpara de bajo consumo cuesta

$$C_{L,BC} = 9 \text{ €}.$$

El coste de la energía de cada sistema durante las 10 000 h es:

$$\begin{aligned} C_{\text{energía},L,N} &= 0,1 \text{ kW} \cdot 10000 \text{ h} \cdot 0,14 \text{ €/kWh} = \\ &= 140 \text{ €} \end{aligned}$$

$$C_{\text{energía},BC} = 0,02 \text{ kW} \cdot 10000 \text{ h} \cdot 0,14 \text{ €/kWh} = 28 \text{ €}$$

Finalmente, sumamos el coste de la compra y el coste del consumo:

$$C_{\text{total},LN} = C_{L,N} + C_{\text{energía},L,N} = 6 \text{ €} + 140 \text{ €} = 146 \text{ €}$$

$$C_{\text{total},BC} = C_{L,BC} + C_{\text{energía},BC} = 9 \text{ €} + 28 \text{ €} = 37 \text{ €}$$

Y el ahorro es

$$\text{Ahorro} = C_{\text{total},LN} - C_{\text{total},BC} = 146 \text{ €} - 37 \text{ €} = \underline{109 \text{ €}}.$$

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN

1. b)

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{3,5 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{m} \cdot 0,2 \text{ m}}{\pi \cdot (10^{-3} \text{ m})^2} = 2,23 \Omega$$

2. El valor numérico de la fem se puede medir aproximadamente con un voltímetro de muy alta resistencia, conectado a sus bornes; como la resistencia del voltímetro es muy alta, la intensidad que atraviesa la pila será muy baja y el valor de  $IR_g$  será despreciable; por tanto:  $\Delta V = \mathcal{E} - IR_g \approx \mathcal{E}$ .

Conectando a continuación una resistencia exterior  $R$  conocida (de valor suficientemente pequeño para que  $\Delta V$  sea claramente inferior a  $\mathcal{E}$ ) y midiendo  $\Delta V$  e  $I$ , podremos utilizar el valor de  $\mathcal{E}$  medido antes para calcular  $R_g$ :

$$R_g = (\mathcal{E} - \Delta V)/I.$$

3. La resistencia equivalente a la asociación en paralelo es

$$\frac{1}{R_{\text{paralelo}}} = \frac{1}{47 + 100} + \frac{1}{6,67 + 47}$$

Operando, obtenemos  $R_{\text{paralelo}} = 39,32 \Omega$ ; y la resistencia total es

$$R_{\text{total}} = 200 + 39,32 = 239,32 \Omega.$$

a) La intensidad total la calculamos con la ley de Ohm:

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{total}}} = \frac{12 \text{ V}}{239,32 \Omega} = 0,050 \text{ A}$$

Por tanto:  $I_{200} = 0,050 \text{ A}$ .

En la derivación (siendo  $I_1$  la intensidad en la rama superior) se cumple sistema de ecuaciones

$$I_1 + I_2 = 0,050; \quad 147 I_1 = 53,67 I_2$$

y operando:  $I_1 = 0,0134 \text{ A}$ ;  $I_2 = 0,0366 \text{ A}$ .

b) La potencia en la resistencia de 200 ohmios es:

$$P = I^2 R = 0,05^2 \cdot 200 = 0,5 \text{ W}.$$

4. a) Conexión en paralelo

Como los generadores están conectados en paralelo, el circuito equivalente es un generador de fem 4,6 V con

una resistencia interna que es 1/3 del valor de  $R_g$  de cada uno de los generadores, es decir  $R_{g, \text{equiv}} = 0,1 \Omega$ .

Aplicando la ley de Ohm:

$$I_{\text{paral}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{equiv}}}{R_{g, \text{equiv}} + R} = \frac{4,6 \text{ V}}{(0,1 + 47) \Omega} = 0,0977 \text{ A}$$

El rendimiento de esta asociación es:

$$R_{\text{to}} = \frac{\Delta V}{\mathcal{E}_{\text{equiv}}} = \frac{IR}{\mathcal{E}_{\text{equiv}}} = \frac{0,0977 \text{ A} \cdot 47 \Omega}{4,6 \text{ V}} = 0,998$$

b) Conexión en serie

Cuando los generadores se conectan en serie, el circuito equivalente es un generador de fem.

$$\mathcal{E}_{\text{equiv}} = 3\mathcal{E} = 3 \cdot 4,6 \text{ V} = 13,8 \text{ V}$$

y de resistencia interna  $R_{g, \text{equiv}} = 3 R_g = 0,9 \Omega$ ; por tanto:

$$I_{\text{serie}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{equiv}}}{R_{g, \text{equiv}} + R} = \frac{13,8 \text{ V}}{(0,9 + 47) \Omega} = 0,288 \text{ A}$$

El rendimiento de esta asociación es:

$$R_{\text{to}} = \frac{\Delta V}{\mathcal{E}_{\text{equiv}}} = \frac{IR}{\mathcal{E}_{\text{equiv}}} = \frac{0,288 \text{ A} \cdot 47 \Omega}{13,8 \text{ V}} = 0,981; 98,1\%$$

*Observación:* Se confirma que el rendimiento es mayor asociando los generadores en paralelo.

5. Aplicando la ecuación del circuito, deducida de la conservación de la energía,

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}'_m = I (R_g + R_m + R)$$

calculamos la intensidad:

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}'_m}{R_g + R_m + R} = \frac{12 - 9}{0,4 + 4 + 0,5} = 0,61 \text{ A}$$

Por tanto,

$$\Delta V_{\text{motor}} = \mathcal{E}'_m + IR_m = 9 + 0,61 \cdot 4 = 11,44 \text{ V}$$

$$P_{\text{motor}} = \mathcal{E}'_m I = 9 \cdot 0,61 = 5,49 \text{ W}$$

$$P_{\text{dis}} = I^2 R_m = 0,61^2 \cdot 4 = 1,49 \text{ W}.$$

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Además de los criterios de evaluación generales de esta materia, y considerando que necesariamente son muy generales, para realizar la evaluación del alumnado creemos conveniente precisar más y establecer unos criterios específicos para cada tema.

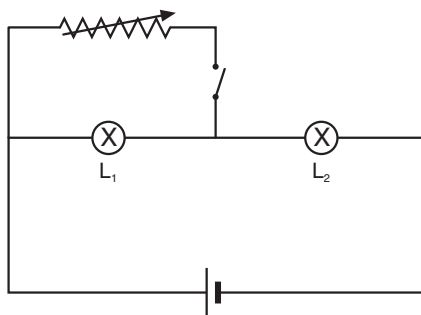
Al terminar el desarrollo del tema las alumnas y los alumnos deben ser capaces de:

- Conocer el significado de los términos científicos propios del tema: generador, amperímetro, asociación serie o paralelo, intensidad...
- Enunciar y utilizar la ley de Ohm, explicando el significado de la resistencia.
- Describir las magnitudes que intervienen en el valor de la resistencia de un conductor cilíndrico y relaciona la resistividad con el material.
- Diferenciar entre fem de un generador y ddp entre bornes, así como entre fcem de un motor y ddp entre bornes.
- Construir gráficos que relacionan dos variables ( $V$  e  $I$ ,  $R$  y  $L$ , etc.) e interpretarlos.
- Dibujar y montar prácticamente circuitos con resistencias en serie y/o derivación y deducir teóricamente las ecuaciones que permiten calcular la resistencia equivalente.
- Dibujar y montar prácticamente circuitos con generadores iguales en serie o derivación y saber establecer el circuito equivalente a cada asociación.
- Diseñar circuitos con aparatos de medida, resistencias, bombillas y generadores para cubrir un determinado objetivo.
- Montar correctamente circuitos con generadores, resistencias y aparatos de medida a partir de un esquema del mismo, interpretando correctamente la indicación del amperímetro y el voltímetro.
- Calcular la intensidad y la ddp en circuitos con generadores, motores y resistencias en serie y/o en paralelo.
- Explicar el efecto que produce en un circuito la variación del valor numérico de alguno de sus componentes (generador o resistencia).
- Interpretar el efecto Joule como la transformación energética básica que ocurre en muchos circuitos y aplicarlo al funcionamiento de lámparas, estufas, calentadores...
- Realizar cálculos sobre el “consumo” energético de un determinado aparato (resistencia o motor) del que se conocen sus características eléctricas.
- Aplicar las características del trabajo científico en las actividades prácticas (diseño de un experimento, realización, informe escrito).
- Conocer y respetar las normas de seguridad relacionadas con la tensión eléctrica.
- Conocer las distintas fuentes de energía eléctrica y el impacto ambiental de los diferentes tipos de centrales eléctricas, paso necesario para poder asumir la necesidad del ahorro energético.
- Valorar críticamente las aportaciones tecnológicas derivadas del uso de la electricidad, analizando los aspectos positivos y los negativos.

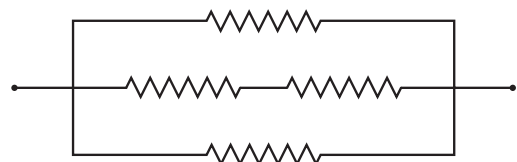
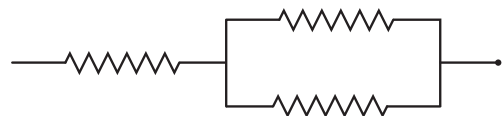


## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

1. Por el filamento de una bombilla pasan 0,3 A. ¿Qué significa ese dato? Calcula los electrones que pasan en 1 minuto por el filamento.
2. Explica con claridad la situación, la misión y el funcionamiento de los siguientes elementos de un circuito: generador, amperímetro, interruptor, voltímetro, fusible.
3. Un alambre conductor de 10 cm de longitud y  $2 \text{ mm}^2$  de sección tiene una resistencia de 1,5 ohmios. ¿Qué resistencia tendrá un hilo de la misma sustancia pero de 20 cm de longitud y sección la mitad? Comenta la diferencia que existe entre la fem de un generador y la ddp entre sus bornes.
4. Queremos comprobar si se cumple la ley de Ohm para un cierto conductor. Diseña un circuito adecuado a nuestro objetivo, dibujando un esquema del mismo donde aparezcan los elementos necesarios conectados correctamente. Explica cómo procederías para comprobar si el conductor utilizado “cumple” la ley.
5. Explica cómo se puede construir un amperímetro que marque hasta 500 mA a partir de un galvanómetro cuya lectura máxima es 2 mA, si conocemos su resistencia interna,  $R_g$ .
6. La figura muestra un circuito con dos lámparas de la misma potencia y una resistencia variable, R, inicialmente desconectada. a) Explica cómo variará la potencia de cada una de las lámparas cuando se conecte la resistencia R ajustada a un valor igual a la resistencia de una de las lámparas. b) ¿Qué ocurrirá ahora con el brillo de cada una de las lámparas si aumentamos el valor de R?



7. Para reparar un aparato eléctrico necesitamos una resistencia de  $200 \Omega$  y sólo tenemos resistencias de  $100 \Omega$  y  $400 \Omega$ . ¿Qué podríamos hacer? Indica dos soluciones.
8. Un circuito contiene dos pilas en serie de 4,5 V cada una, una resistencia de  $47 \Omega$  y otra de  $220 \Omega$ .
  - a) ¿Cómo circula más intensidad, conectando las resistencias entre sí en serie o en paralelo?
  - b) Si las resistencias se conectan en serie, calcula la ddp entre los extremos de una de ellas y la energía disipada en dicha resistencia en 1 min.
9. Tres resistencias de 20, 30 y  $60 \Omega$  están conectadas en paralelo, y a su vez se unen a otra de  $40 \Omega$  en serie. Al conjunto le aplicamos una ddp de 220 V.
  - a) ¿Qué intensidad circula por la resistencia de  $40 \Omega$ ?
  - b) ¿Cuál es la caída de tensión en el conjunto de las tres resistencias?
10. Disponemos de dos generadores iguales (fem =  $\mathcal{E}$ , resistencia interna  $R_g$ ) y queremos conectarlos a una resistencia exterior R. Explica las características del circuito equivalente si asociamos los generadores entre sí 1º en serie y 2º en paralelo.
11. Una pila tiene 10 V de fem. Cuando se conecta a una resistencia de  $50 \Omega$ , la diferencia de potencial entre sus bornes es de 9,5 V. Determina: a) La intensidad de la corriente. b) La resistencia interna de la pila. c) El calor realizado en la resistencia de  $50 \Omega$  en 5 minutos.
12. Cuando se conecta un generador en serie con una resistencia de  $20 \Omega$ , la caída de potencial entre los extremos de la resistencia es de 20 V. Conectando el mismo generador a una resistencia de  $100 \Omega$ , la intensidad de la corriente que circula por el circuito vale 0,208 A. Calcula: a) La fem del generador. b) La resistencia interna del generador.
13. En los tres dibujos siguientes, cada resistencia representa una bombilla y son todas iguales. Si cada uno de los circuitos se conecta a 220 V, ¿qué bombilla o bombillas lucirán más? Justifica la respuesta.





14. En la instalación eléctrica de nuestros hogares la tensión es 220 V. a) Si conectamos una lámpara de  $60\ \Omega$ , ¿qué intensidad la recorre? b) ¿Cuántos kWh "consume" durante 3 h la lámpara?
15. Interesa construir un calentador eléctrico para tensión de 220 V cuya potencia sea 300 W. ¿Cuál debe ser la resistencia en caliente del aparato? ¿Qué tiempo tardará en calentar 1 litro de agua desde  $15\ ^\circ\text{C}$  hasta  $60\ ^\circ\text{C}$ ?  
Dato: calor específico del agua,  $c = 4\ 180\ \text{J/kg K}$ .
16. Una batería de 60 V de fem y resistencia interna  $0,2\ \Omega$ , alimenta un conjunto de bombillas cuya resistencia total es  $15\ \Omega$ . La resistencia total de los conductores empleados en las conexiones es  $0,5\ \Omega$ . Con estos datos, calcula: a) La resistencia total del circuito. b) La intensidad de la corriente que lo recorre. c) La caída de potencial entre los bornes de la batería.
17. Una bombilla de 220 V es recorrida por una intensidad de 0,4 A. Determina su resistencia, su potencia y el consumo al estar encendida durante 6 h. ¿Cuánto gasta la bombilla, si 1 kWh vale 0,14 €?
18. Como no disponemos de aparatos de medida, realizamos el siguiente experimento para medir el valor de una resistencia: La sumergimos en un calorímetro ideal que contiene 1 litro de agua y la conectamos a la tensión de 220 V; cuando circula la corriente durante 5 min la temperatura del agua aumenta  $48\ ^\circ\text{C}$ . Halla el valor de R.
19. Un circuito eléctrico está formado por un generador, un amperímetro, tres resistencias iguales conectadas en paralelo y un voltímetro que mide la ddp entre los extremos de las resistencias. a) Dibuja el circuito. b) Si el amperímetro marca 150 mA y el voltímetro marca 12 V, ¿cuál es el valor de cada resistencia?
20. Una batería de 12 V de fem y resistencia interna  $0,5\ \Omega$  se conecta a un motor cuya fem suponemos constante e igual a 9 V y cuya resistencia interna es  $1\ \Omega$ . Para poder gobernar la potencia del motor, ponemos en serie un reostato cuya resistencia varía entre  $2\ \Omega$  y  $10\ \Omega$ .  
a) Dibuja el circuito.  
b) Determina la potencia mecánica del motor cuando la resistencia del reostato está en la posición de  $4\ \Omega$ .
21. La potencia eléctrica de una central nuclear 945 MW. Si la ddp del alternador que "alimenta" la línea de alta tensión a la salida de la central es 25 kV, calcula: a) La intensidad. b) La energía que cada minuto aporta la central a la red eléctrica. c) El caudal que debería tener un salto de agua que alimentase una central hidroeléctrica de rendimiento 100 % para producir la misma potencia eléctrica que la central nuclear.
22. Haz un resumen de las fuentes de energía que se utilizan en España para la producción de energía eléctrica y del grado de autobastecimiento.

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros

BERKSON, W. (1974). *Las teorías de los campos de fuerzas. De Faraday hasta Einstein*. Alianza: Madrid.

FRANKLIN, B.: *Ensayos sobre electricidad*. Alianza Universidad: Madrid.

MONTERO, A. (2007). *El concepto de fuerza electromotriz en la interpretación de circuitos de corriente estacionaria*. Análisis crítico de su enseñanza y propuesta didáctica alternativa. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación.

SOLANO, F. (2003). *Enseñanza de la Electricidad desde una perspectiva constructivista en los diferentes niveles del sistema educativo: determinación de preconcepciones y propuestas de las nuevas metodologías didácticas para su corrección*. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Departamento de Física.

VARELA, M.<sup>a</sup> P. et al. (2000). *Electricidad y magnetismo*. Síntesis: Madrid.

VV.AA. (1993). *Electricidad*. Colección Ciencia Visual. Santillana: Madrid.

VV.AA. (2006). *222 cuestiones sobre la energía*. Forum atómico español: Madrid

### Revistas y artículos

FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de carga y potencial eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 259-271.

FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1997). Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*.

FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 17(3), pp. 441-452.

GRECA, I. y MOREIRA, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en Electricidad y Magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol.16, n.º 2, pp. 289-303.

GUIASOLA, J. (1997). El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato. *Alambique*, n.º 11. Graó: Barcelona.

GUIASOLA, J. (1999). *Enseñanza/aprendizaje de la teoría eléctrica que explica los fenómenos electrostáticos básicos*. *Alambique*, n.º 19, pp. 9-18.

MARTÍN, A. et al. (1989). Experiencias de investigación-acción sobre el aprendizaje por descubrimiento de los circuitos eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 7 (2), pp. 168-172

MENESES, J. y CABALLERO, M.C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 13, n.º 1, pp. 36-45.

PASTOR, J.M. (1999): La electricidad y el magnetismo en la LOGSE. *Alambique*, n.º 19, pp. 39-46.

PRO, A. y SAURA, O. 1996. Una propuesta metodológica para la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad y el magnetismo. *Investigación en la Escuela*, n.º 28, pp. 79-94).

RAMAL, J.M. y AGUILERA, F. (2004). De la acción a distancia al campo. *Alambique*, n.º 27, pp. 107-114.

SHAMOS, M. (1987). The laws of electric and magnetic force- C. Coulomb, en *Greats experiments in physics*. Dover, 1987.

SEBASTIÁ, J.M. (1993). ¿Cuál brilla más? Predicciones y reflexiones acerca del brillo de las bombillas. *Enseñanza de las Ciencias*. 11(1), pp. 45-50.

SOLBES, J. y MARTÍN, J. (1991): Análisis de la introducción del concepto de campo. *Revista Española de Física* 5(3), pág. 34-39.

VV. AA. (1999). Monográfico: Enseñanza de la electricidad, n.º 19. *Alambique*. Graó, Barcelona.

# LA TEORÍA CINÉTICO- MOLECULAR DE LA MATERIA

# 7

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

El tema empieza con el estudio experimental de las sustancias en estado gaseoso y recordando el modelo corpuscular de la materia; pretendemos establecer un punto de conexión con los contenidos explicados durante la ESO. Por otra parte, añadimos el aspecto cuantitativo, leyes experimentales de los gases, que relacionan las variables representativas del estado gaseoso. Posteriormente, extendemos el modelo corpuscular a los estados líquido y sólido de la materia, diferenciando en todo momento el referente observacional del interpretativo y remarcando el carácter explicativo del modelo.

Nuestro siguiente objetivo es definir y diferenciar las posibles sustancias, simples y compuestas, para introducir la **reacción química** como un **proceso dinámico de transformación** de una o más sustancias (reactivos) en otra u otras diferentes (productos). El estudio experimental de los procesos químicos (leyes de Lavoisier y Proust) y el establecimiento de un modelo interpretativo (teoría atómica de Dalton) permite explicar el **concepto de elemento químico**, caracterizándolo inicialmente por su masa atómica relativa. Un aspecto que consideramos importante es diferenciar los conceptos de sustancia simple y elemento químico, tanto desde el aspecto observacional como interpretativo.

El estudio de las reacciones en que participan gases (ley de Gay-Lussac) y su explicación (hipótesis de Avogadro) nos lleva al **concepto de molécula**. Otro aspecto que merece especial atención es **diferenciar los términos átomo y molécula**. Los átomos son las partículas constituyentes de las moléculas, y sólo existe un número finito de átomos que al combinarse dan lugar a un número indefinido de moléculas.

Por otra parte, los átomos se representan por símbolos, mientras que las moléculas se representan por fórmulas.

En el estudio de las **fórmulas químicas** pretendemos explicar el significado y los tipos de fórmulas usadas para representar las distintas sustancias. El análisis de la información proporcionada por las fórmulas da lugar a determinaciones cuantitativas tales como el cálculo de la masa molecular o fórmula relativa, la determinación de la composición centesimal de las sustancias o la deducción de la fórmula a partir de la composición de una sustancia.

La necesidad de establecer una relación entre el estudio empírico de las transformaciones químicas y su modelo interpretativo dio lugar a la introducción de una nueva magnitud física: **la cantidad de sustancia**. En el desarrollo del apartado dedicado a esa magnitud física hemos pretendido justificar su necesidad y establecer sus relaciones con las otras magnitudes físicas (masa, volumen y número de entidades) que permiten cuantificarla.

Por último, centramos el estudio del tema en las disoluciones y su preparación. En primer lugar, y mediante una lectura (Agítese antes de usarse) precisamos el **concepto de disolución** y lo diferenciamos de otro tipo de mezclas, tales como las suspensiones y los sistemas coloidales. A continuación, introducimos la magnitud cantidad de sustancia en la forma de expresar **la concentración de las disoluciones**, y terminamos explicando el **proceso de preparación de disoluciones tituladas** en el laboratorio, aspecto que consideramos que debe desarrollarse desde orientaciones prácticas.

## 2. CONTENIDOS

### 1. Estudio experimental de los gases: la ley de los gases ideales

- El estado gaseoso.
- Relación de la presión ejercida por un gas con el volumen: ley de Boyle.
- Relación del volumen ocupado por una determinada cantidad de gas con su temperatura: ley de Gay - Lussac.
- La ley de los gases ideales para una determinada cantidad de gas.
- Elaboración de un modelo explicativo: modelo corpuscular.

### 2. El modelo cinético - corpuscular es extensible a todos los estados de la materia

- Extensión del modelo corpuscular al estado líquido.
- Extensión del modelo corpuscular al estado sólido.

### 3. Clasificación de los sistemas materiales

### 4. La transformación química de la materia y sus leyes

- Concepto de reacción química.
- Ley de Lavoisier.
- Ley de Proust.

### 5. Teoría atómica de Dalton

- Postulados de la teoría.
- Capacidad predictiva: ley de las proporciones múltiples.
- Capacidad explicativa de la teoría.

### 6. Los gases y sus leyes de combinación en las transformaciones químicas

- Ley volumétrica o de los volúmenes de combinación.
- La hipótesis de Avogadro.
- El concepto de molécula.

### 7. El elemento químico

- Concepto de elemento químico.
- Limitaciones del modelo cinético: superación mediante el modelo atómico-molecular.

### 8. Masas atómicas y moleculares

- Masa atómica relativa.
- Masa molecular relativa.

### 9. La fórmula química y su significado

- Fórmula empírica, molecular y estructural.
- Composición centesimal de un compuesto.
- Determinación de la fórmula molecular de un compuesto.

### 10. La cantidad de sustancia

- Concepto de cantidad de sustancia.
- Relación de la cantidad de sustancia con la masa.
- Relación de la cantidad de sustancia con el número de entidades elementales.
- Introducción de la magnitud cantidad de sustancia en la ecuación de los gases ideales. Relación de la cantidad de sustancia con el volumen.
- Determinación de fórmulas empíricas usando el concepto de cantidad de sustancia.

### 11. Las disoluciones y su concentración

- Diferencia entre suspensión, sistema coloidal y disoluciones verdaderas.
- Formas de expresar la concentración de una disolución.

### 12. Preparación de disoluciones

- Preparación de una disolución a partir de una disolución concentrada.
- Preparación de una disolución a partir de un sólido soluble.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades a desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender el modelo cinético - corpuscular para explicar las propiedades de la materia.</li> <li>2. Diferenciar los conceptos de sustancia y mezcla.</li> <li>3. Reconocer las transformaciones químicas de la materia.</li> <li>4. Comprender las leyes experimentales de las reacciones químicas y explicarlas basándose en los postulados de la teoría atómica.</li> <li>5. Diferenciar los conceptos de elemento químico y sustancia simple.</li> <li>6. Asimilar y diferenciar los conceptos de átomo, molécula y agrupación atómica.</li> <li>7. Comprender el concepto de masa atómica y molecular relativa.</li> <li>8. Conocer el significado de la fórmula química.</li> <li>9. Diferenciar la fórmula molecular de la empírica.</li> <li>10. Comprender el concepto de cantidad de sustancia.</li> <li>11. Diferenciar y establecer relaciones entre los conceptos de masa, volumen, número de entidades y cantidad de sustancia.</li> <li>12. Calcular la concentración de una disolución en distintas unidades.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usar ecuaciones apropiadas para deducir el valor de una variable usada para definir el estado de un gas cuando otra variable (o variables) cambia de valor.</li> <li>2. Reconocer y diferenciar las sustancias basándose en sus propiedades características.</li> <li>3. Utilizar técnicas habituales en el laboratorio para separar sustancias.</li> <li>4. Identificar las transformaciones químicas de materia.</li> <li>5. Calcular la masa molecular o fórmula relativa de una sustancia a partir de su fórmula representativa y de las masas atómicas relativas.</li> <li>6. Determinar la composición centesimal de un compuesto a partir de su fórmula representativa y las masas atómicas relativas.</li> <li>7. Determinar la fórmula molecular de un compuesto conociendo su composición centesimal y la masa molecular.</li> <li>8. Realizar cálculos relacionados con la cantidad de sustancia.</li> <li>9. Usar correctamente la ecuación de los gases ideales.</li> <li>10. Determinar la fórmula empírica de una sustancia a partir de su composición centesimal.</li> <li>11. Aplicar procedimientos correctos en la preparación de disoluciones de concentración establecida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valorar el campo de validez de las leyes y sus aplicaciones.</li> <li>2. Reconocer la importancia de los modelos y su contrastación con las leyes experimentales.</li> <li>3. Diseñar experimentos adecuados basándose en la valoración de distintos criterios: objetivos del experimento, medios a utilizar, seguridad, etc.</li> <li>4. Respetar las normas de seguridad básicas para trabajar en el laboratorio.</li> <li>5. Valorar las aportaciones de las distintas teorías en la evolución del conocimiento científico.</li> <li>6. Valorar la importancia de las disoluciones en nuestra vida.</li> <li>7. Adquirir autonomía suficiente para utilizar los aprendizajes desarrollados en distintos contextos y con sentido crítico y creativo.</li> <li>8. Apreciar la importancia de la participación responsable y de colaboración entre los distintos miembros de la clase.</li> </ol>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** La actividad tiene como objetivo resaltar la importancia de los gases en el desarrollo de la vida. El alumnado puede citar como ejemplo de gases y su aplicación el oxígeno, gas que permite la vida, el ozono que nos protege de las radiaciones ultravioleta, el dióxido de carbono (un gas importante en el efecto invernadero y que se usa en muchas bebidas refrescantes), el agua en estado gaseoso que permite cerrar el ciclo del agua de la naturaleza.

**A.2.** En primer lugar medimos la masa del balón vacío, para lo cual debemos extraerle el aire del interior con una bomba de vacío. A continuación introducimos el gas en el interior del balón por el tubo, sin que entre el aire del exterior. Posteriormente volvemos a pesar el balón con el gas. La masa del gas se calcula por diferencia:

$$m_{\text{gas}} = m_{\text{gas+balón}} - m_{\text{balón}}$$

**A.3.** Cálculo del volumen:

$$V_2 = \frac{0,5 \text{ L} \cdot 78,0 \text{ kPa}}{101,325 \text{ kPa}} = 0,385 \text{ L}$$

Cálculo de la presión:

$$P_2 = \frac{0,5 \text{ L} \cdot 78,0 \text{ kPa}}{0,250 \text{ L}} = 156 \text{ kPa}$$

**A.4.** La realización de la gráfica propuesta en la actividad (figura 1) debe establecer que el volumen que ocupa una determinada cantidad de gas a presión constante es proporcional a la temperatura del gas (por ser una gráfica lineal) y que la temperatura mínima posible es  $-273,15^\circ\text{C}$ , ya que a esa temperatura se anularía el volumen del gas (lo cual es imposible).

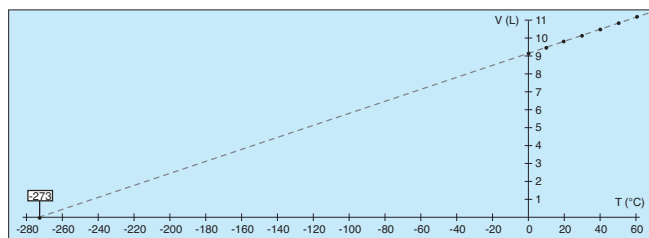


Figura 1

Debemos advertir que una pequeña variación en el trazado de la línea de ajuste puede producir un gran error en el valor del cero absoluto. De ello deducimos que, siempre que sea posible, se deben evitar las extrapolaciones muy alejadas del intervalo de datos proporcionados.

**A.5.** Cálculo del volumen:

$$V_2 = \frac{313,15 \text{ K} \cdot 36,0 \text{ L}}{293,15 \text{ K}} = 38,5 \text{ L}$$

Cálculo de la temperatura:

$$T_2 = \frac{8,0 \text{ L} \cdot 293,15 \text{ K}}{36,0 \text{ L}} = 65,14 \text{ K}$$

**A.6.** Cálculo de la temperatura:

$$T_2 = \frac{5 \text{ atm} \cdot 298,15 \text{ K}}{1,315 \text{ atm}} = 1133,7$$

**A.7.** El globo no puede hincharse por efecto de la presión del aire contenido entre el globo y la botella, que al no poder salir comprime al globo. Al realizar un agujero en la botella el aire contenido en su interior puede escaparse al expandirse el globo.

Un líquido hierve cuando su presión de vapor se iguala a la presión del entorno. Si aumentamos la presión del entorno el líquido debe aumentar su presión de vapor, y en consecuencia eleva su temperatura de ebullición.

**A.8.** La parte expuesta al Sol se transforma en un sólido oscuro que no es soluble en agua. Este experimento evidencia que las sustancias pueden reaccionar por efecto de la luz solar.

**A.9.** Como la masa se conserva en las reacciones químicas (ley de Lavoisier), y por tratarse de un sistema cerrado, la masa del sistema permanece constante.

#### Experimento 1: La conservación de la masa

En el experimento proponemos una verificación experimental del principio de conservación de masa. La primera reacción ha sido seleccionada por formar un precipitado amarillo ( $\text{PbI}_2$ ) muy vistoso, permitiendo verificar la conservación de la masa en las reacciones químicas. La reacción II da lugar a la formación de una sustancia en estado gaseoso ( $\text{CO}_2$ ) y ello hace cuestionar, a ciertos estudiantes, el principio de conservación de la masa, por pérdida de masa del sistema abierto (situación mostrada en la foto). Ello permite al profesor o profesora detectar el preconceito de inmaterialidad de los gases a fin de hacer las reflexiones oportunas, y establecer la necesidad de realizar estas reacciones en un sistema cerrado. Para ello, proponemos usar un erlenmeyer y un tubo de centrífuga en su interior, cerrando el erlenmeyer con un tapón de goma. Recomendamos preparar previamente las cantidades de reactivos adecuadas para evidenciar la reacción y que su realización no ocasione la proyección del tapón por excesiva presión del gas.



La reacción III ha sido escogida por no aparentar ningún cambio observable en la naturaleza de las sustancias; ello puede dar lugar a introducir las reacciones ácido-base y comprobar con papel indicador el cambio de propiedades.

A.10. a) Para comprobar que se cumple la ley de las proporciones constantes podemos detectar la masa de sustancia que reacciona por diferencia con la masa del mismo después de la reacción:

$m_{\text{reactivo que reacciona}} = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}} \text{ (después de la reacción)}$

Ello nos permite elaborar una tabla del tipo:

Masas de las sustancias que reaccionan		$m_{\text{FeS}}/\text{g}$	Proporción $m_{\text{Fe}}/m_{\text{S}}$
$m_{\text{S}}/\text{g}$	$m_{\text{Fe}}/\text{g}$		
5,7	10	15,7	1,75
2,85	5	7,85	1,75
5	8,74	13,74	1,75

Al analizar la tabla comprobamos que la proporción entre el hierro y el azufre es constante.

b) La proporción en masa entre el hierro y el azufre es:

$$\frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{S}}} = 1,75$$

c) Denominando “x” a la masa de hierro que reacciona “y” a la masa de azufre establecemos el siguiente sistema de ecuaciones:

Primera ecuación:  $x + y = 100$

Segunda ecuación:  $x / y = 1,75$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$y = \text{masa de azufre} = 36,36 \text{ g,}$

$x = \text{masa de hierro} = 63,64 \text{ g}$

A.11. Estos compuestos son binarios, formados por cloro y hierro. Para comprobar que se cumple la ley de las proporciones múltiples seguimos el algoritmo propuesto en el libro:

- Tomar de referencia como elemento el cloro y una masa 10 g.
- A partir de la composición centesimal calcula la masa del hierro que se combina con 10 g de Cl.

En el compuesto I
$10 \text{ g de Cl} \times \frac{34,45 \text{ g de Fe}}{65,55 \text{ g de Cl}} = 5,25 \text{ g de Fe}$
En el compuesto II
$10 \text{ g de Cl} \times \frac{44,08 \text{ g de Fe}}{55,92 \text{ g de Cl}} = 7,88 \text{ g de Fe}$

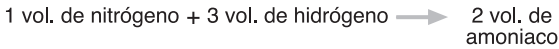
- Dividir las masas calculadas para establecer la relación:

$$\frac{m_{\text{Fe compuesto II}}}{m_{\text{Fe compuesto I}}} = \frac{7,88 \text{ g}}{5,25 \text{ g}} = 1,5 = \frac{3}{2}$$

A.12.



Deducción de la molécula de nitrógeno: (N<sub>2</sub>)  
y la de oxígeno: (O<sub>2</sub>)



Deducción de la molécula de amoníaco: (NH<sub>3</sub>)

A.13. La actividad ha sido planteada para realizar una reflexión sobre las características que debe tener el átomo tomado de referencia; el alumnado suele indicar que el átomo debe pertenecer a un elemento químico que se combine con muchos elementos distintos y sea muy ligero.

A.14. En dicha actividad podemos establecer que las fórmulas de los compuestos determinan el valor de las masas atómicas relativas calculadas. Así por ejemplo, si tomamos como fórmula del agua (HO) estableceremos que la masa atómica relativa del oxígeno es 8, mientras que si tomamos la fórmula correcta (H<sub>2</sub>O) es 16. Podemos concluir que la corrección de los resultados se fundamenta en la autenticidad de las fórmulas usadas.

A.15. El carácter relativo de la escala de masas atómicas usada determina que las masas calculadas sean adimensionales.

La masa atómica del cloro es 35,45 veces mayor que la masa de un átomo de hidrógeno o 1/12 de la masa de un átomo de C-12.

A.16.

Fórmula	Cálculo de la masa molecular o fórmula
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	$M_r = 6 \cdot 12 + 6 \cdot 1 = 78$
NaHCO <sub>3</sub>	$M_r = 22,99 + 1 + 12 + 3 \cdot 16 = 83,99$
SO <sub>2</sub>	$M_r = 32,06 + 2 \cdot 16 = 64,06$
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	$M_r = 6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16 = 180$
CaCl <sub>2</sub>	$M_r = 40 + 2 \cdot 35,45 = 110,9$
SiO <sub>2</sub>	$M_r = 28,086 + 2 \cdot 16 = 60,086$
NaCl	$M_r = 22,99 + 35,45 = 58,44$



A.17.

Tabla 11. Resultados de la A. 17			
Mineral	Magnetita	Hematites	Siderita
Fórmula	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeCO}_3$
Masa fórmula relativa	231,55	159,7	115,86
% de Fe	72,36	69,94	48,20

A.18. Fórmula general:  $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z$

Deducción de los subíndices:

$$X = \frac{74,02 \times 162,20}{12,01 \times 100} = 10$$

$$Y = \frac{8,70 \times 162,20}{1,008 \times 100} = 14$$

$$Z = \frac{17,28 \times 162,20}{14,01 \times 100} = 2$$

Fórmula molecular:  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$

A.19.

a)  $M = 17 \text{ g/mol}$ .

b) Que un mol de moléculas de amoníaco tiene una masa de 17 g.

c) 34 g de  $\text{H}_2\text{S}$  (su masa molar)

A.20.

$$a) n = \frac{12,04 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}} = 2 \text{ mol de moléculas de nitrógeno}$$

$$b) n = \frac{3,01 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}} = 0,5 \text{ mol de moléculas de cloro}$$

A.21. No es correcto puesto que la masa molar es distinta para el oxígeno molecular y en el ozono.

A.22. La actividad tiene como objetivo diferenciar los conceptos masa y cantidad de sustancia. Como ambos platillos contienen la misma masa la aguja de la balanza no se inclinará, pero en 1 g de Ag ( $9,27 \cdot 10^{-3}$  moles de átomos de Ag) hay más cantidad de sustancia que en 1 g de Pb ( $4,83 \cdot 10^{-3}$  moles de átomos de Pb).

A.23. Puesto que todas las masas son idénticas la cantidad con mayor número de moléculas corresponde a la sustancia con menor masa molar, o masa molecular relativa. En este caso es el  $\text{CO}_2$ .

A.24. La cantidad de sustancia en 8 g de  $\text{H}_2\text{O}$  es:

$$n = \frac{8 \text{ g}}{18 \text{ g} \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,44 \text{ mol de moléculas de } \text{H}_2\text{O}$$

La cantidad de sustancia en  $12,04 \cdot 10^{23}$  moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  es:

$$n = \frac{12,04 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}} = 2 \text{ mol de moléculas de agua}$$

A.25. En primer lugar calculamos la cantidad de sustancia (gas en condiciones normales):

$$n = \frac{40 \text{ L}}{22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}} = 1,79 \text{ mol de } \text{O}_2$$

El número de moléculas es:

$$N = 1,79 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 10,78 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } \text{O}_2$$

Puesto que la masa relativa del  $\text{O}_2$  es  $M_r = 32$ , su masa molar es  $M = 32 \text{ g/mol}$ . En consecuencia, la masa es:

$$m = 1,79 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g/mol} = 57,28 \text{ g de } \text{O}_2.$$

A.26. Calculamos la cantidad de sustancia:

$$n = \frac{19 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}} = 3,16 \text{ mol de moléculas de metano}$$

Y puesto que el gas se encuentra en condiciones normales:

$$V = 3,16 \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ L/mol} = 70,78 \text{ L}$$

$$m = n \cdot M = 3,16 \text{ mol} \cdot 16,042 \text{ g/mol} = 50,69 \text{ g}$$

A.27. Apartado a:

$$R = \frac{1 \text{ atm} \cdot 22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol} \cdot 273,15 \text{ K}} = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Apartado b:

$n$  (mol);  $T$  (K);  $P$  (atm);  $V$  (L).

Apartado c:

$$R = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \cdot 273,15 \text{ K}} = 8,314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

**A.28.** Para calcular la cantidad de sustancia aplicamos la ecuación de los gases ideales, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

$$P = 2 \text{ atm}; T = 290,15 \text{ K}; V = 50 \text{ L}$$

Por tanto:

$$n = \frac{P V}{R T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 50 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm}}{\text{Kmol}} \cdot 290,15 \text{ K}} = 4,20 \text{ mol de } O_2$$

El número de moléculas es:

$$N = 4,20 \text{ mol} \cdot N_A = 25,3 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } O_2$$

**A.29.** La actividad plantea una reflexión sobre las diferencias existentes entre los conceptos de cantidad de sustancia, masa y volumen. Establecemos que tanto la cantidad de sustancia como la masa son independientes de las condiciones experimentales (2 moles de moléculas de agua poseen una masa de 36 g, independientemente del estado del agua), mientras que el volumen ocupado por dicha cantidad de sustancia depende de las condiciones experimentales; en efecto si  $P = 1 \text{ atm}$  y  $t = 25^\circ \text{ C}$ , el agua se encuentra en estado líquido, y ocupa un volumen:

$$V = 36 \text{ g} / 1 \text{ g/cm}^3 = 36 \text{ cm}^3;$$

mientras que a  $P = 1 \text{ atm}$  y  $t = 120^\circ \text{ C}$ , el agua se encuentra en estado gaseoso ocupando un volumen de 64,5 L.

**A.30.**

Sustancias	CO <sub>2</sub> (g)	SiCl <sub>4</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)
M <sub>r</sub>	44'01	169,89	16,042	34,016
M / g/mol	44'01	169,89	16,042	34,016
n / mol	0,45	4	0,83	0,59
m / g	20	679,56	13,31	20
N	2,71·10 <sup>23</sup>	24,09·10 <sup>24</sup>	50·10 <sup>22</sup>	3,55·10 <sup>23</sup>

**A.31.** Cálculo de la cantidad de CO<sub>2</sub>:

$$n_{\text{Total}} = 2 \text{ mol} + 0,33 \text{ mol} = 2,33 \text{ mol de CO}_2$$

Cálculo de la masa total:

$$m_{\text{Total}} = 88,02 \text{ g} + 14,52 \text{ g} = 102,54 \text{ g}$$

Cálculo del volumen total:

$$V = \frac{2,33 \text{ mol} \cdot R \cdot 350 \text{ K}}{1,5 \text{ atm}} = 44,6 \text{ L}$$

**A.32.** En primer lugar calculamos la masa de cada elemento que hay en 0,875 g del compuesto.

Elemento	Cálculo	m/g
H	$0,525 \text{ g de H}_2\text{O} \times \frac{2,016 \text{ g de H}}{18,016 \text{ g de H}_2\text{O}}$	0,06
C	$1,283 \text{ g de CO}_2 \times \frac{12,01 \text{ g de C}}{44,01 \text{ g de CO}_2}$	0,35
O	Por diferencia $m_O = 0,875 \text{ g} - 0,06 \text{ g} - 0,35 \text{ g}$	0,465

A continuación, establecemos la fórmula empírica

Elemento	Masa referencia	Masa molar	Cantidad de sustancia (n)	Relación molar (n/n*)
H	0,06 g	1,008 g/mol	0,059 mol	2
C	0,35 g	12,01 g/mol	0,029 mol	1
O	0,465	16,00 g/mol	0,029 mol*	1

Por tanto la fórmula empírica es CH<sub>2</sub>O.

Para determinar su fórmula molecular (CH<sub>2</sub>O)<sub>a</sub> debemos calcular el factor a.

El factor a es el número natural resultante de dividir la masa molecular (M<sub>r</sub>) por la masa empírica

$$M_{\text{empírica}} = 12,01 + 2,016 + 16 = 30,026.$$

Es decir:

$$a = \frac{M_r}{30,026}$$

Puesto que la masa molecular relativa es numéricamente igual a la masa molar, debemos calcular la masa molar del compuesto; para ello nos dan su densidad relativa. La densidad de la sustancia en estado gaseoso es:

$$\rho_{\text{relativa}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{aire}}} = 2,08 \rightarrow \rho = 2,69 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Y puesto que suponemos un comportamiento ideal, calculamos su masa molar mediante la ecuación de los gases ideales:

$$M = \rho \times \frac{R \cdot T}{p} = 2,69 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{R \cdot 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 60,2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

En consecuencia;  $M_r = 60,2 \rightarrow a = \frac{60,2}{30,026} = 2$   
 La fórmula molecular de la sustancia es:  $(CH_2O)_2$

A.33.

Comparación de las propiedades de las disoluciones, los coloides y las suspensiones			
Propiedad	Disolución	Coloide	Suspensión
Tamaño de la partícula	< que 1 nm	10-10 000 nm	> que 10 000 nm
Homogeneidad	homógena	en el límite	heterogénea
Acción de la gravedad	no sedimenta	no sedimenta	sedimenta
Filtrabilidad	no filtrable	por membranas	filtrable
Ejemplos sanguíneos	Agua salada, urea	albúmina, fibrinógeno	Suspensión de cél. rojas, cél. blancas

El profesor o profesora puede aprovechar el análisis para diferenciar los conceptos de mezcla y disolución según se expone en la tabla:

MEZCLAS	DISOLUCIONES
Son heterogéneas	Son homogéneas.
La masa es una propiedad aditiva	La masa es una propiedad aditiva.
El volumen es aditivo	No siempre el volumen es aditivo; en algunos casos, como agua- alcohol, disminuye el volumen en el estado final.
La relación de masas entre los componentes puede ser cualquiera	La relación de masas entre los componentes es variable entre unos límites; en unos casos son completamente solubles un componente en otro, y en otros casos llegamos a la saturación.

A.34. Para analizar las representaciones calculamos las proporciones entre las partículas de soluto y las moléculas de agua representadas en cada diagrama.

Diagrama	A	B	C	D
Proporción	5/10	4/5 = 8/10	2/5 = 4/10	4/10

El diagrama B representa la disolución más concentrada, por ser la de mayor proporción de soluto. Y los diagramas C y D representan disoluciones de idéntica concentración.

A.35. a) Al interpolar en la gráfica se establece:

Sustancia	Temperatura	Solubilidad
KNO <sub>3</sub>	50 °C	$\frac{90 \text{ g}}{100 \text{ g de agua}}$
KCl	50 °C	$\frac{40 \text{ g}}{100 \text{ g de agua}}$

Este resultado evidencia que la solubilidad, en agua, depende de la naturaleza del soluto.

b) No es posible obtener una disolución de NH<sub>4</sub>Cl al 45 % a 20°C, puesto que la solubilidad es inferior. Sin embargo, a 50 °C sí que es posible. Con ello se evidencia que la solubilidad determina la concentración máxima de las disoluciones.

A.36.

a) Determinación de la concentración de la disolución de NH<sub>3</sub>.

- Volumen de referencia:  $V = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$
- Masa de disolución:

$$m_{\text{disolución}} = 100 \text{ mL} \cdot 1,12 \text{ g/ mL} = 112 \text{ g.}$$

- Masa de soluto:  $m_{\text{soluto}} = 0,3 \cdot 112 \text{ g} = 33,6 \text{ g}$
- Cantidad de sustancia de soluto:

$$n = 33,6 \text{ g} / 17,034 \text{ g/mol} = 1,97 \text{ mol.}$$

- Concentración de la disolución:

$$c = 1,97 \text{ mol} / 0,1 \text{ L} = 19,7 \text{ mol/L.}$$

b) Determinación de la concentración de la disolución de  $\text{HNO}_3$ .

• Volumen de referencia:  $V = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$

• Masa de disolución:

$$m_{\text{disolución}} = 100 \text{ mL} \cdot 1,38 \text{ g/mL} = 138 \text{ g.}$$

• Masa de soluto:  $m_{\text{solute}} = 0,6 \cdot 138 \text{ g} = 82,8 \text{ g}$

• Cantidad de sustancia de soluto:

$$n = 82,8 \text{ g} / 63,018 \text{ g/mol} = 1,31 \text{ mol.}$$

• Concentración de la disolución:

$$c = 1,31 \text{ mol} / 0,1 \text{ L} = 13,1 \text{ mol/L.}$$

**A.37.** Al tomar 10 mL de disolución de la botella tenemos 18,4 g de disolución. Y puesto que la riqueza en masa es del 96 % la masa de soluto es de 17,6 g. Para calcular la cantidad de sustancia usamos la masa molar indicada en la botella 98,08 g/mol, y aplicando la relación:

$$n = \frac{17,6 \text{ g}}{98,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,18 \text{ mol.}$$

$$\text{Siendo su concentración: } c_{\text{inicial}} = \frac{0,18 \text{ mol}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 18 \text{ mol/L}$$

La concentración de la disolución de la pipeta es la misma que la de la botella, de donde procede.

Al verter los 10 mL en el matraz la cantidad de sustancia de la pipeta pasa al matraz. Y puesto que añadimos agua a la disolución procedente de la pipeta, en el matraz, la disolución inicial de la botella es más concentrada que la formada en el matraz. Ahora, la concentración en el matraz es:

$$c_{\text{final}} = \frac{0,18 \text{ mol}}{50 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 3,6 \text{ mol/L}$$

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

### COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS GASES

1. Ecuación de gases ideales entre dos estados

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Para aplicarla debemos expresar las temperaturas en la escala absoluta (K):

$T_1 = 263,15 \text{ K}$ ;  $T_2 = 310,15 \text{ K}$ . Despejando  $V_2$ , obtenemos:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2} \times V_1 = \\ &= \frac{310,15 \text{ K}}{263,15 \text{ K}} \times \frac{756 \text{ mm de Hg}}{752 \text{ mm de Hg}} \times 450 \text{ mL} = 533,19 \text{ mL} \end{aligned}$$

2. Aplicando la ecuación:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Y despejando  $T_2$ , obtenemos:

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \times \frac{P_2}{P_1} \times \frac{V_2}{V_1} = 300,15 \text{ K} \times \frac{1 \text{ atm}}{3 \text{ atm}} \times \frac{10 \text{ L}}{5 \text{ L}} = \\ &= 200,1 \text{ K} \rightarrow t = -73,05^\circ \text{C} \end{aligned}$$

3. Al aplicar la ecuación  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ , y despejar  $V_2$  obtenemos:

$$V_2 = \frac{3 \text{ atm}}{0,921 \text{ atm}} \times 5 \text{ cm}^3 = 16,3 \text{ cm}^3$$

4. En primer lugar calculamos el volumen que ocupa el helio a la presión de 1 atm:

$$V_2 = \frac{P_1}{P_2} \times V_1 = \frac{8 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \times 30 \text{ L} = 240 \text{ L}$$

Como cada globo ocupa un volumen de 2 L, el número de globos que se pueden llenar es:

$$n = \frac{240 \text{ L}}{2 \text{ L}} = 120 \text{ globos}$$

5. La condición que imponemos es que el volumen sea constante. El razonamiento para deducir la validez del método debe basarse en la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{\text{cantidad de gas} \times T}{P} = \text{constante}$$

- Si  $T$  disminuye y la presión se mantiene constante para mantener constante el volumen deberemos aumentar la cantidad de gas.
- Si  $T \uparrow$  y  $P \downarrow$  para mantener constante el volumen deberemos disminuir la cantidad de gas.
- Si hacemos constante  $T$  y disminuimos la presión para mantener constante el volumen debemos disminuir la cantidad de gas.
- Si  $T \uparrow$  y la presión se mantiene constante para mantener el volumen deberemos disminuir la cantidad de gas.

Por tanto, el único procedimiento que implica aumentar la cantidad de gas es el (a).

- a) Aplicando la ecuación de los gases ideales entre los estados indicados en la tabla

Estado	Inicial	Final
Condiciones	$V_1 = 1,5 \text{ L}; T_1 = 293,15 \text{ K}; P_1 = 1,118 \text{ atm}$	$V_2 = 1 \text{ L}; P_2 = 1,6 \text{ atm}; T_2 = ?$
Relación	$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$	
Obtención de $T_2$	$T_2 = \frac{1,6 \text{ atm}}{1,118 \text{ atm}} \times \frac{1 \text{ L}}{1,5 \text{ L}} \times 293,15 \text{ K} = 279,7 \text{ K} \rightarrow t = 6,54 \text{ } ^\circ\text{C}$	

- En este caso debemos tener en cuenta.

Estado	Inicial	Final
Condiciones	$V_1 = 1,5 \text{ L}; T_1 = 293,16 \text{ K}; P_1 = 1,118 \text{ atm}$	$V_2 = 1 \text{ L}; P_2 = ? \text{ atm}; T_2 = 298,16 \text{ K}$
Relación	$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$	
Obtención de $P_2$	$P_2 = \frac{298,16 \text{ K}}{293,16 \text{ K}} \times \frac{1,5 \text{ L}}{1 \text{ L}} \times 1,118 \text{ atm} = 1,7 \text{ atm}$	

## COMPOSICIÓN DE LA MATERIA

- El axioma fundamental de la teoría corpuscular es su dinamismo. Las partículas deben de estar en un movimiento caótico. Por ello el diagrama correcto es el (d); los otros diagramas llevan asociadas ideas incorrectas tales como: la baja temperatura hace que las partículas caigan por su propio peso (b), el frío agrupa las partículas (a) o da lugar a que se adhieran a la superficie (c), como el vapor de agua cuando se enfría. Ello evidencia que el alumnado extrapola observaciones cotidianas al modelo interpretativo si más.

- Las diferencias pueden resumirse en la tabla siguiente:

Sistema a comparar	Referente observacional	Referente interpretativo
Mezcla y sustancia pura	En la mezclas podemos separar por procedimientos físicos las sustancias integrantes y sus propiedades dependen de la composición. Las sustancias puras poseen propiedades físicas, en determinadas condiciones, constantes que permiten identificarlas.	La mezcla es un sistema formado por diferentes clases de partículas mientras que en las sustancias puras sólo hay una clase de partícula.
Sustancia simple y compuesta	Las sustancias compuestas se descomponen mediante procedimiento químicos en sustancias más simples. Sin embargo, las sustancias simples no pueden descomponerse.	Las sustancias simples están integradas por un único elemento químico mientras que en las compuestas existen varios elementos químicos.

9. a) Puesto que la temperatura se mantiene constante en el proceso de cambio de estado es una sustancia pura. Por otra parte, como al reaccionar sólo se obtiene un producto se deduce que es simple.
- b) Es una disolución por ser homogénea y presentar una temperatura de ebullición variable.
- c) Como la temperatura de fusión es constante se trata de una sustancia pura. Y puesto que se descompone en dos sustancias distintas es compuesta.
- d) El sistema es una mezcla de tres componentes. Podemos identificar los componentes a partir de los tramos horizontales de la gráfica, ya que la temperatura de cada tramo corresponde a la temperatura de ebullición de cada componente.
10. Observación: inicialmente no diferenciaremos los términos mezcla homogénea y disolución. Posteriormente, al explicar las disoluciones ya precisaremos la diferencia entre ambos conceptos.

Sistema	Clasificación	Observación
Aire de montaña	Mezcla homogénea	El alumnado asocia al aire de la montaña una cierta pureza, olvidando que el aire es una mezcla de gases.
Agua mineral	Mezcla homogénea (disolución).	Debemos señalar el significado del término “mineral”. Para que el alumnado reflexione sobre ello podemos comentar algún análisis químico que suelen indicarse en la etiqueta de la botella.
Vino de mesa	Mezcla homogénea (disolución)	Recordemos el significado de la graduación de alcohol del vino.
Leche de vaca recién ordeñada.	Mezcla homogénea.	Se puede analizar la etiqueta de una botella de leche y preguntar al alumnado el origen de los diferentes componentes.
Sal de cocina	A discutir en clase, pura corresponde a NaCl.	Depende del tipo de comercialización.
Aceite de oliva	Mezcla homogénea (disolución)	Analizar su origen y el significado
Vinagre	Mezcla homogénea (disolución)	
Azúcar	En principio podemos considerarla una sustancia pura	Los azúcares blancos son alimentos muy puros con el 99% en sacarosa.
Sacarina	Sustancia pura	Endulzante sintético de fórmula $C_6H_4CONHSO_2$ y de nombre: 3-oxo-2,3-dihidrobenczo(d)isotiazol-1,1-dióxido
Amoniaco de droguería	Mezcla homogénea (disolución)	Explicar que una característica es su concentración y que el amoníaco puro, a temperatura ambiente, es gaseoso.
Alcohol de farmacia	Mezcla homogénea (disolución)	Exponer el significado del % que aparece en la etiqueta.
Lejía	Mezcla homogénea (disolución)	Analizar distintas etiquetas de lejía.
Salfumán	Mezcla homogénea (disolución)	Disolución de ácido clorhídrico.
Zumo de naranja y coca cola	Mezcla homogénea (disolución)	Posteriormente a comentar una vez leída la lectura: “Agítese antes de usarse”.



11. a) Mezcla de una sustancia simple y compuesta.  
 b) Un compuesto.  
 c) Una sustancia simple.  
 d) Una mezcla de sustancias simples.

12. Según la teoría atómica la reacción consiste en un proceso de reorganización de los átomos que forman las partículas. En consecuencia, sólo los sistemas b y c representan reacciones químicas.

13.

Diagrama	1	2	3	4
Representa	c	b	d	a

14. a) Se mantienen en equilibrio según el principio de conservación de la masa.

b) En el plato II se ha producido un gas que al abrir el tapón escapará y, en consecuencia, la balanza se inclinará hacia el plato I.

15. a) La masa de cloro se determina por diferencia entre la masa del compuesto formado y la de cinc que ha reaccionado.

b) La proporción entre el cinc y el cloro en el compuesto es de  $(m_{Zn} / m_{Cl})_{correcta} = 0,92$ , en el tercer experimento  $m_{Zn} / m_{Cl}$  es de 0,81 indicando un posible error puesto que a 1,94 g de Zn le deberían corresponder aproximadamente 2,11 g de Cl.

c) Para determinar las masas planteamos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$m_{Zn} + m_{Cl} = 10 \text{ g (ley de Lavoisier)}$$

$$m_{Zn} / m_{Cl} = 0,92 \text{ (Ley de Proust)}$$

Al resolver el sistema obtenemos:

$$m_{Zn} = 4,79 \text{ g}; m_{Cl} = 5,21 \text{ g}$$

d) En primer lugar comprobamos que la proporción inicial:

$$(m_{Zn}/m_{Cl})_{inicial} = 5 \text{ g} / 3 \text{ g} =$$

$$= 1,67 > (m_{Zn} / m_{Cl})_{correcta} = 0,92$$

Por tanto, hay un exceso de cinc y reacciona todo el cloro.

La masa de cinc que reacciona es:

$$m_{Zn} = 0,92 \cdot 3 \text{ g} = 2,76 \text{ g}$$

En consecuencia:

$$m_{compuesto} = m_{Zn} + m_{Cl} = 2,76 \text{ g} + 3 \text{ g} = 5,76 \text{ g}$$

16. Si tomamos de referencia una masa de 100 g de oxígeno y calculamos la masa de nitrógeno que se combina con esta cantidad en cada compuesto obtenemos:

Compuesto	Cálculo de la masa de N que se combina con 100 g de O.	Masa de nitrógeno
I	$100 \text{ g de O} \times \frac{63,65 \text{ g de N}}{36,35 \text{ g de O}}$	175,103 g
II	$100 \text{ g de O} \times \frac{46,68 \text{ g de N}}{53,32 \text{ g de O}}$	87,547 g
III	$100 \text{ g de O} \times \frac{30,05 \text{ g de N}}{69,95 \text{ g de O}}$	42,959 g

Si analizamos la tabla podemos comprobar que:

$$m_N(I) = 2 \text{ } m_N(II) = 4 \text{ } m_N(III)$$

17. En primer lugar en base a la fórmula del primer compuesto ( $XY_2$ ) y su composición centesimal determinamos la relación entre las masas relativas de los elementos ( $m_X / m_Y$ ).

Aplicando el concepto de composición centesimal establecemos las ecuaciones:

- Primera ecuación, composición centesimal de X:

$$44,06 = \frac{m_X}{m_{XY_2}} \times 100$$

- Segunda ecuación, composición centesimal de Y:

$$55,94 = \frac{2 \times m_Y}{m_{XY_2}} \times 100$$

Dividiendo las dos ecuaciones obtenemos:

$$\frac{m_X}{m_Y} = 1,575$$

En segundo lugar, suponemos que la fórmula del segundo compuesto es del tipo  $XY_n$ , siendo n un número entero.

Teniendo en cuenta la composición centesimal del segundo compuesto planteamos las ecuaciones:

- Primera ecuación, composición centesimal de X:

$$34,43 = \frac{m_X}{m_{XY_2}} \times 100$$

- Segunda ecuación, composición centesimal de Y:

$$65,57 = \frac{n \times m_Y}{m_{XY_n}} \times 100$$

Dividiendo las dos ecuaciones establecemos la relación:

$$\frac{m_X}{m_Y} = 0,525 n$$

Y puesto que la relación entre las masas relativas es constante:

$$n = \frac{1,575}{0,51} = 3$$

Por tanto la fórmula del compuesto II es  $XY_3$

18. Para calcular el volumen de hidrógeno establecemos la relación:

$$0,24 \text{ L de } N_2 \times \frac{3 \text{ L de } H_2}{1 \text{ L de } N_2} = 0,72 \text{ L de } H_2$$

El volumen de amoníaco formado es:

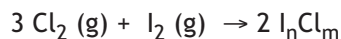
$$0,24 \text{ L de } N_2 \times \frac{2 \text{ L de amoníaco}}{1 \text{ L de } N_2} = 0,48 \text{ L de amoníaco}$$

Por tanto con 0,24 L de  $N_2$  reaccionan 0,72 L de  $H_2$  formando 0,48 L de amoníaco y quedando sin reaccionar 2,28 L de  $H_2$ .

19. La relación entre volúmenes corresponde a la proporción en que se combinan, tomando 1 V = 25 cm<sup>3</sup>, establecemos:



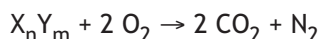
Puesto que esta relación corresponde a la molecular:



Y deben conservarse la clase y el número de átomos, establecemos: n = 1; m = 3.

Por tanto, la fórmula es:  $ICl_3$ .

20. Planteando la relación molecular a partir de la relación de volúmenes, establecemos:



Aplicando el principio atómico de la conservación del tipo y cantidad de cada átomo, establecemos:  $C_2N_2$

## FÓRMULAS QUÍMICAS

21.

Compuesto	Fórmula	Masa molecular relativa	Porcentaje de nitrógeno %
Urea	$CO(NH_2)_2$	60,62	$\frac{2 \times 14,01}{60,62} \times 100 = 46,65$
Nitrato de amonio	$NH_4NO_3$	80,05	$\frac{2 \times 14,01}{80,05} \times 100 = 35,01$
Guanidina	$HNC(NH_2)_2$	59,08	$\frac{3 \times 14,01}{59,08} \times 100 = 71,14$

22. En primer lugar determinamos los porcentajes de hierro en cada compuesto

Compuesto	Fórmula	Masa molecular relativa	Porcentaje de hierro %
Pirita	$FeS_2$	119,99	$\frac{55,85}{119,99} \times 100 = 46,54$
Magnetita	$Fe_3O_4$	231,55	$\frac{3 \times 55,85}{231,55} \times 100 = 72,36$

Tomando de referencia la misma masa de compuestos (100 g) la cantidad de hierro obtenido es:

$$100 \text{ g de Pirita} \times \frac{90 \text{ g de } FeS_2}{100 \text{ g de pirita}} \times \frac{46,52 \text{ g de Fe}}{100 \text{ g de } FeS_2} = 41,89 \text{ g de Fe}$$

$$100 \text{ g de Magnetita} \times \frac{55 \text{ g de } Fe_3O_4}{100 \text{ g de pirita}} \times \frac{72,35 \text{ g de Fe}}{100 \text{ g de } Fe_3O_4} = 39,79 \text{ g de Fe}$$

Por tanto, resulta más rentable la pirita.

23. La cantidad mínima de hierro presente en una molécula de hemoglobina es 1 átomo, si aplicamos la fórmula del porcentaje de hierro establecemos:

$$0,34 = \frac{1 \times 55,85}{M_r} \times 100$$

Despejando  $M_r$ , obtenemos: 16 426,47.

24. Suponiendo que la fórmula molecular de la cortisona es  $C_xH_yO_z$  determinaremos los subíndices x, y, z aplicando la fórmula de la composición centesimal.

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$69,9 = \frac{x \cdot 12,01}{360} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow x = \frac{69,9 \times 360}{12,01 \times 100}$	X = 21
H	$7,83 = \frac{y \cdot 1,008}{360} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow y = \frac{7,83 \times 360}{1,008 \times 100}$	Y = 28
O	$22,21 = \frac{z \cdot 16}{360} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow z = \frac{22,21 \times 360}{16 \times 100}$	Z = 5

La fórmula molecular del compuesto es  $C_{21}H_{28}O_5$

25. Suponiendo que la fórmula molecular de la fructosa es  $C_xH_yO_z$  determinaremos los subíndices x, y, z aplicando la fórmula de la composición centesimal.

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$40 = \frac{x \cdot 12,01}{180,16} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow x = \frac{40 \times 180,16}{12,01 \times 100}$	X = 6
H	$6,72 = \frac{y \cdot 1,008}{180,16} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow y = \frac{6,72 \times 180,16}{1,008 \times 100}$	Y = 12
O	$53,29 = \frac{z \cdot 16}{180,16} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow z = \frac{53,29 \times 180,16}{16 \times 100}$	Z = 6

La fórmula molecular del compuesto es  $C_6H_{12}O_6$

26. Planteando la ecuación:

$$75,27 = \frac{2 \times m_x}{(2 \times m_x + 5 \times 16)} \times 100$$

obtenemos al despejar:  $M_r(X) = 121,75$

27. A partir de la fórmula del compuesto obtenemos la proporción en que se combinan los elementos:

$$\frac{m_P}{m_S} = \frac{4 \times 30,97}{3 \times 32,07} = 1,29$$

Para resolver el apartado (b), planteamos el siguiente sistema de ecuaciones:

- Primera ecuación (ley de Proust):  $\frac{m_P}{m_S} = 1,29$

- Segunda ecuación (ley de Lavoisier):  $m_P + m_S = 1 \text{ kg}$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$m_S = 0,437 \text{ kg}; m_P = 0,563 \text{ kg}$$

## CANTIDAD DE SUSTANCIA

28. Ya que los dos recipientes se encuentran en las mismas condiciones de presión, temperatura y volumen deben contener la misma cantidad de sustancia. Es decir:  $n(CH_4) = n(X)$

Lo cual permite determinar la masa molar del gas desconocido

$$\frac{0,707 \text{ g}}{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{1,325}{M_x}$$

Despejando obtenemos:  $M_x = 30 \text{ g/mol}$ , es decir la masa molecular relativa del gas A es 30, que corresponde al compuesto de fórmula  $C_2H_6$ .

29. La masa molecular relativa del compuesto es 282,494  $\rightarrow M = 284,494 \text{ g/mol}$

La cantidad de sustancia es:

$$n = 1 \cdot 10^{-12} \text{ g} / 284,494 \text{ g/mol} = 3,54 \cdot 10^{-15} \text{ mol de moléculas}$$

El número de moléculas se calcula a partir de la relación:  $N = n \times N_A = 2,13 \cdot 10^9 \text{ moléculas}$ .

30. a)  $M_r(C_2H_6O) = 46,068 \rightarrow M = 46,068 \text{ g/mol}$

La masa de alcohol es:

$$m = v \cdot \rho = 252 \text{ mL} \times 0,785 \text{ g/mL} = 197,82 \text{ g}$$

La cantidad de sustancia es:

$$n = 197,82 \text{ g} / 46,068 \text{ g/mol} = 4,29 \text{ mol de } C_2H_6O$$

b)  $m = 1,9 \text{ mol} \times 46,068 \text{ g/mol} = 87,529 \text{ g}$  de alcohol.

Para calcular el volumen aplicaremos el concepto de densidad:

$$V = 87,529 \text{ g} / 0,785 \text{ g/mL} = 111,5 \text{ mL.}$$

31.

Recipiente	Cálculo de la masa de agua	Masa de agua
a	$2 \text{ mol} \times \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ mol}}$	36 g
b	$3,01 \cdot 10^{23} \text{ moléculas} \times \frac{1 \text{ mol}}{N_A} \times \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ mol}}$	9 g
c	$25 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ mL}}$	25 g
d	$n = \frac{1 \text{ atm} \times 10 \text{ L}}{R \times 373,15 \text{ K}} = 0,326 \text{ mol} \rightarrow$ $\rightarrow 0,326 \text{ mol} \times \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 5,9 \text{ g}$	5,9 g
	Masa total de agua	75,9 g

32. Solución. En primer lugar, calculamos el número de moléculas presentes en 10 g de  $\text{NH}_3$ :

$$10 \text{ g de } \text{NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol}}{17,034 \text{ g}} \times \frac{N_A \text{ moléculas}}{1 \text{ mol}} =$$

$$= 3,54 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } \text{NH}_3$$

Restamos las moléculas extraídas

$$\text{Moléculas de } \text{NH}_3 \text{ finales} = 3,5352 \cdot 10^{23} - 10^{23} = 2,5352 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$$

Calculamos la cantidad de sustancia correspondiente a estas moléculas:

$$2,54 \cdot 10^{23} \text{ moléculas} \times \frac{1 \text{ mol}}{N_A} = 0,421 \text{ mol de amoníaco}$$

El volumen ocupado en CN:

$$0,421 \text{ mol} \times \frac{22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} = 9,43 \text{ L de amoníaco}$$

33. Calculamos la cantidad de sustancia que hay en cada depósito.

Condiciones	Cálculo de n	Cantidad de sustancia
$V = 4 \text{ L}; P = 8,5 \text{ atm}; T = 273,15 \text{ K}$	$n = \frac{8,5 \text{ atm} \times 4 \text{ L}}{R \times 273,15 \text{ K}}$	1,518 mol
$V = 7 \text{ L}; P = 6 \text{ atm}; T = 273,15 \text{ K}$	$n = \frac{6 \text{ atm} \times 7 \text{ L}}{R \times 273,15 \text{ K}}$	1,875 mol

La cantidad de sustancia total cuando se unen los dos recipientes es:

$$n_T = 1,518 \text{ mol} + 1,875 \text{ mol} = 3,393 \text{ mol}$$

Si el volumen total es de 11 L y la temperatura se mantiene a 273,15 K, por tanto:

$$P = \frac{3,393 \text{ mol} \times R \times 273,15 \text{ K}}{11 \text{ L}} = 6,9 \text{ atm}$$

34. Para saber que gas contiene menor número de moléculas calcularemos la cantidad de sustancia de cada situación:  $n = PV/RT$

$$n_a = \frac{1 \text{ atm} \times 20 \text{ L}}{R \times 600 \text{ K}} = 0,407 \text{ mol}$$

$$n_b = n_c = \frac{2 \text{ atm} \times 10 \text{ L}}{R \times 300 \text{ K}} = 0,813 \text{ mol}$$

Por tanto, hay menos moléculas en el apartado a.

35. a) Puesto que las condiciones físicas V y T son idénticas en ambos recipientes y como la presión es directamente proporcional a la cantidad de sustancia, la presión será mayor en el recipiente que contiene mayor cantidad de sustancia.

Puesto que la masa de gas es idéntica, en ambos recipientes, el gas de menor masa molar ( $M_{\text{O}_2} < M_{\text{CO}_2}$ ) da lugar a mayor cantidad de sustancia ( $n = m/M$ ); y en consecuencia ejerce mayor presión.

b) Para calcular la presión ejercida aplicamos la ecuación de los gases ideales:  $P = n \cdot R \cdot T / V$

Recipiente gas	M / g/mol	n = m/M	Condiciones	P / atm
$\text{CO}_2$	44,01	2,272 mol	$V = 10 \text{ L}$ $T = 293,15 \text{ K}$	5,46
$\text{O}_2$	32	3,125 mol		7,51

En consecuencia el recipiente que contiene O<sub>2</sub> ejerce mayor presión, puesto que la masa molar es menor y hay mayor cantidad de sustancia.

c) Los dos ejercen la misma presión.

36. En primer lugar calculamos la cantidad de sustancia que hay en el recipiente.

Condiciones: V = 28 L, T = 30°C + 273,15 = 303,15 K;  
P = (780 / 760) atm = 1,026 atm.

Aplicando la ecuación de los gases ideales:

$$n = \frac{1,206 \text{ atm} \times 28 \text{ L}}{R \times 303,15 \text{ K}} = 1,156 \text{ mol de He}$$

Como la masa molar es 4,003 g/mol, la masa de helio es:

$$m = 1,156 \text{ mol} \times 4,003 \text{ g/mol} = 4,626 \text{ g de He.}$$

Para calcular la temperatura máxima sabiendo que P<sub>máx</sub> = 2 atm, aplicamos la ecuación:

$$T = \frac{PV}{Rn} = \frac{2 \text{ atm} \times 28 \text{ L}}{R \times 1,156 \text{ mol}} = 590,76 \text{ K}$$

37.

Fórmula gases ideales	Fórmula cantidad de sustancia	Fórmula densidad
P·V = n · R·T	N = m / M	ρ = m / V
Relación: P·V = (m/M)·R·T → P·M = (m / V) · R·T → ρ = (P·M) / (R·T)		
Aplicación. Condiciones: P = 1 atm; T = 298,15 K; M <sub>r</sub> = 58,12 → M = 58,12 g/mol ρ = (1 atm · 58,12 g/mol) / (R · 298,16) = 2,38 g / mol		

38.

El siguiente problema se puede realizar sin calcular la fórmula molecular. Puesto que podemos usar la proporción correspondiente a la fórmula empírica. Sin embargo, consideramos que en este nivel de aprendizaje se determine la masa molar y la fórmula molecular del compuesto. Si el profesor o profesora considera conveniente puede realizar el problema a partir de la fórmula empírica y reflexionar sobre el significado de la proporción.

Teniendo en cuenta la relación:

$$\rho = (P \cdot M) / (R \cdot T), \text{ y las condiciones:}$$

$$T = 95^\circ \text{C} + 273,15 = 368,15 \text{ K};$$

$$P = (758 / 760) \text{ atm} = 0,997 \text{ atm};$$

$$\rho = 3,3 \text{ g / L},$$

se calcula la masa molar del compuesto:

$$M = \frac{\rho RT}{P} = 3,3 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{R \times 368,16 \text{ K}}{0,997 \text{ atm}} = 99,89 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Por tanto la cantidad de sustancia en 10 g de compuesto es:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{10 \text{ g}}{99,89 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,10 \text{ mol de compuesto}$$

Para calcular la fórmula molecular del compuesto C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>Cl<sub>z</sub> haremos uso de su composición centesimal y la masa molecular relativa 99,89.

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$24,20 = \frac{x \cdot 12,01}{99,89} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow x = \frac{24,20 \times 99,8}{12,01 \times 100}$	X = 2
H	$4,10 = \frac{y \cdot 1,008}{99,89} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow y = \frac{4,10 \times 99,8}{1,008 \times 100}$	Y = 4
Cl	$71,70 = \frac{z \cdot 35,45}{99,89} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow z = \frac{71,70 \times 99,8}{35,45 \times 100}$	Z = 2

Por tanto la fórmula molecular es C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>

Y el número de átomos de Cl en 0,10 mol del compuesto es:

$$0,10 \text{ mol de compuesto} \times \frac{N_A \text{ moléculas de } C_2H_4Cl_2}{1 \text{ mol de compuesto}} \times \frac{2 \text{ átomos de Cl}}{1 \text{ molécula de } C_2H_4Cl_2} = 1,204 \times 10^{23} \text{ átomos de Cl}$$

39. En primer lugar calculamos la masa de cada elemento que hay en 50 g del carbonato de calcio.

Elemento	Cálculo	M / g
Ca	$28 \text{ g de CaO} \times \frac{40,08 \text{ g de Ca}}{56,08 \text{ g de CaO}}$	20,01
C	$22 \text{ g de CO}_2 \times \frac{12,01 \text{ g de C}}{44,01 \text{ g de CO}_2}$	6 g
O	Por diferencia 50 g - 20,01 g - 6 g	23,99

A continuación, establecemos la fórmula empírica

Elemento	Masa referencia	Masa molar	Cantidad de sustancia (n)	Relación molar (n/ n*)
Ca	20,01 g	40,08 g/mol	0,5 mol	1
C	6,00 g	12,01 g/mol	0,5 mol *	1
O	23,99	16,00 g/mol	1,45 mol	3

La fórmula empírica del carbonato de calcio es:  $\text{CaCO}_3$

40. Ver la observación expuesta en el problema 38.

En primer lugar calculamos la cantidad de sustancia a partir de la ecuación de los gases ideales.

Condiciones:  $P = 1 \text{ atm}$ ;  $V = 1 \text{ L}$ ;  $T = 273,15 \text{ K}$

$$n = \frac{P \times V}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{R \times 273,15 \text{ K}} = 0,0046 \text{ mol del compuesto}$$

La masa molar del compuesto es:

$$M = \frac{1,966 \text{ g}}{0,0046 \text{ mol}} = 44,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

A partir de la composición centesimal establecemos la fórmula molecular del compuesto  $\text{C}_x\text{H}_y$

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$81,82 = \frac{x \cdot 12,01}{44,04} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow x = \frac{81,82 \times 44,04}{12,01 \times 100}$	$X = 3$
H	$18,18 = \frac{y \cdot 1,008}{44,04} \times 100 \rightarrow$ $\rightarrow y = \frac{18,18 \times 44,04}{1,008 \times 100}$	$Y = 8$

Por tanto la fórmula molecular es  $\text{C}_3\text{H}_8$

Y el número de átomos de C en 20 g del compuesto es:

$$20 \text{ g de compuesto} \times \frac{1 \text{ mol del compuesto}}{44,04 \text{ g del compuesto}} \times \frac{N_A \text{ moléculas de } \text{C}_3\text{H}_8}{1 \text{ mol del compuesto}} \times \frac{3 \text{ átomos de c}}{1 \text{ molécula de c}} = 8,2 \cdot 10^{23} \text{ átomos de c}$$

41. En primer lugar calculamos la masa de cada elemento que hay en 10 g del compuesto.

Elemento	Cálculo	M / g
H	$8,18 \text{ g de } \text{H}_2\text{O} \times \frac{2,016 \text{ g de H}}{18,016 \text{ g de } \text{H}_2\text{O}}$	0,92
C	$m \text{ de } \text{CO}_2 = \frac{0,98 \text{ atm} \times 11,4 \text{ L}}{R \times 298,15 \text{ K}} \times$ $\times 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 19,9 \text{ g} \rightarrow$ $\rightarrow 19,9 \text{ g de } \text{CO}_2 \frac{12,01 \text{ g de C}}{44,01 \text{ g de } \text{CO}_2}$	5,43 g
O	Por diferencia $m_O = 10 \text{ g} - 0,92 \text{ g} - 5,43 \text{ g}$	3,65

A continuación, establecemos la fórmula empírica:

Elemento	Masa referencia	Masa molar g/mol	Cantidad de sustancia (n/mol)	Relación molar (n/ n*)
H	0,91 g	1,008	0,903	4
C	5,43 g	12,01	0,452	2
O	3,66	16,00	0,228	1

Por tanto la fórmula empírica es  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$  y su masa empírica relativa es 44,052.

La masa molar del compuesto se calcula a partir de la cantidad de sustancia:

$$n = \frac{0,97 \text{ atm} \times 14,911 \text{ L}}{R \times 573,16 \text{ K}} = 0,308 \text{ mol del compuesto}$$

La masa molar es:

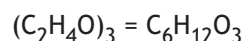
$$M = 40,92 \text{ g} / 0,308 \text{ mol} = 132,9 \text{ g} / \text{mol}.$$

Por tanto, la masa molecular relativa es 132,9.

El cociente entre la masa molecular y empírica es:

$$a = \frac{132,9}{44,052} = 3$$

En consecuencia la fórmula molecular es:



42. En primer lugar calculamos la masa de cada elemento que hay en 9,027 g del compuesto.

Elemento	Cálculo	M / g	%
H	$2,700 \text{ g } H_2O \times \frac{2,016 \text{ g de H}}{18,016 \text{ g de } H_2O}$	0,302 g	3,35
C	$8,800 \text{ g } CO_2 \times \frac{12,01 \text{ g de C}}{44,01 \text{ g de } CO_2}$	2,401 g	26,60
N	1,400 g	1,400 g	15,51
O	Por diferencia $m_O = 9,027 \text{ g} - 0,302 \text{ g} - 2,401 \text{ g} - 1,400$	4,924 g	54,55

La masa molar del compuesto se calcula a partir de la cantidad de sustancia en el vapor:

$$n = \frac{3 \text{ atm} \times 0,1 \text{ L}}{R \times 543,15 \text{ K}} = 0,00674 \text{ mol de compuesto}$$

La masa molar es:

$$M = 1,212 \text{ g} / 0,00674 \text{ mol} = 179,82 \text{ g} / \text{mol}.$$

Por tanto, la masa molecular relativa es 179,82.

Calculamos la fórmula molecular  $C_xH_yO_zN_w$  a partir de la composición centesimal.

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$26,60 = \frac{x \times 12,01}{179,938} \times 100$	X = 4
H	$3,35 = \frac{y \times 1,008}{179,938} \times 100$	Y = 6
O	$54,55 = \frac{z \times 16}{179,938} \times 100$	Z = 6
N	$15,51 = \frac{w \times 14,01}{179,938} \times 100$	W = 2

Por tanto la fórmula molecular es:  $C_4H_6O_6N_2$ , simplificándola obtenemos la fórmula empírica:  $C_2H_3O_3N$

43. Calculamos la masa de los componentes de la disolución:

$$m_{\text{Formaldehído}} = 40 \text{ cm}^3 \times 0,82 \text{ g/cm}^3 = 32,8 \text{ g}$$

Como  $m_{\text{agua}} = 100 \text{ g}$ , la masa de la disolución es:

$$m_{\text{disolución}} = 32,8 \text{ g} + 100 \text{ g} = 132,8 \text{ g}$$

El porcentaje en masa de formaldehído es:

$$\% \text{ en masa de formaldehído} = \frac{32,8 \text{ g}}{132,8 \text{ g}} \times 100 = 24,7\%$$

Para calcular la concentración molar debemos suponer que los volúmenes son aditivos:

$$V_{\text{disolución}} = 100 \text{ cm}^3 + 40 \text{ cm}^3 = 140 \text{ cm}^3 = 0,140 \text{ L}$$

Para calcular la cantidad de sustancia de soluto (formaldehído) determinamos su masa molecular relativa ( $M_r(\text{CH}_2\text{O}) = 30,016$ ) y, por tanto, la masa molar es 30,016 g/mol. La cantidad de sustancia de formaldehído es:

$$n_{\text{CH}_2\text{O}} = \frac{32,8 \text{ g}}{30,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,093 \text{ mol}$$

La concentración molar de la disolución es:

$$c = \frac{1,093 \text{ mol}}{0,140 \text{ L}} = 7,81 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

44. La cantidad de sustancia de ácido acético es:

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}) = 0,64 \text{ mol/L} \cdot 0,473 \text{ L} = 0,3027 \text{ mol}$$

Puesto que la masa molecular relativa de  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  es 60,052, la masa molar del ácido acético es 60,052 g/mol.

La masa de ácido es:

$$m = 0,3027 \text{ mol} \times 60,052 \text{ g/mol} = 18,18 \text{ g de } \text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$$

45. a) Cálculo del porcentaje en masa:

$$\text{Masa de disolución} = 5 \text{ g} + 35 \text{ g} = 40 \text{ g}$$

$$\% \text{ de soluto} = \frac{5 \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100 = 12,5\%$$

- b) Cálculo de la concentración molar

Determinación del volumen de disolución:

$$V = m / \rho = 40 \text{ g} / 1,06 \text{ g/cm}^3 = 37,74 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la cantidad de soluto

$$(\text{HCl} \rightarrow M_r = 36,458 \rightarrow M = 36,458 \text{ g/mol})$$

$$n = \frac{5 \text{ g}}{36,458 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,137 \text{ mol}$$



Cálculo de la concentración molar:

$$c = \frac{0,137 \text{ mol}}{0,03774 \text{ L}} = 3,63 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

46. Denominando “x” al volumen de HCl de  $C = 2 \text{ mol/L}$  e “y” al volumen de HCl de  $C = 6 \text{ mol/L}$ .

Planteamos las siguientes dos ecuaciones.

- a) Carácter aditivo de la cantidad de sustancia:

Cantidad de sustancia total =  $0,5 \text{ L} \times 3 \text{ mol/L} = 1,5 \text{ mol}$

Ecuación 1:

$$1,5 \text{ mol} = x \cdot 2 \text{ mol/L} + y \cdot 6 \text{ mol/L}$$

- b) Suponiendo que los volúmenes son aditivos:

Ecuación 2:

$$0,5 \text{ L} = x + y$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$x = 0,375 \text{ L}; y = 0,125 \text{ L}$$

47. Designando como x la masa (g) de disolución al 30% planteamos la ecuación:

$$10\% = \frac{x \cdot 0,3}{(300 \text{ g} + x)} \cdot 100$$

Al resolverla se obtiene  $x = 150 \text{ g}$ .

48. Cálculo del porcentaje en masa.

$$m_{\text{disolución}} = 17,1 \text{ g} + 100 \text{ g} = 117,1 \text{ g}$$

Determinación del porcentaje

$$\% \text{ en masa} = \frac{17,1 \text{ g}}{117,1 \text{ g}} \times 100 = 14,6\%$$

Cálculo de la concentración molar.

$$M_r(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342,296 \rightarrow M = 342,296 \text{ g/mol}$$

$$\text{Determinación de } n = 17,1 \text{ g} / 342,296 \text{ g/mol} = 0,05 \text{ mol}$$

Determinación del volumen de disolución:

$$V = 117 \text{ g} / 1,10 \text{ g/mL} = 106,36 \text{ mL} = 0,10636 \text{ L}$$

La concentración molar es:

$$c = \frac{0,05 \text{ mol}}{0,10636 \text{ L}} = 0,47 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

49. La cantidad de sustancia total es:

$$n_{\text{Total}} = (0,4 \text{ L} \times 2 \text{ mol/L}) + (0,1 \text{ L} \times 3 \text{ mol/L}) = 1,1 \text{ mol}$$

Puesto que el volumen de toda la disolución es 1 L, establecemos:

$$c = \frac{1,1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

50. La masa de disolución que tomamos es:

$$m_{\text{disolución}} = 10 \text{ mL} \times 1,70 \text{ g/mL} = 17,0 \text{ g}$$

La masa  $\text{H}_3\text{PO}_4$  que hay es:

$$17,0 \text{ g de disolución} \times 0,85 \text{ g } \text{H}_3\text{PO}_4/\text{g disolución} = 14,45 \text{ g de } \text{H}_3\text{PO}_4$$

$$\text{Puesto que } M_r(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \rightarrow M = 98 \text{ g/mol}$$

La cantidad de sustancia es:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 14,45 \text{ g} / 98 \text{ g/mol} = 0,147 \text{ mol.}$$

La concentración molar es:

$$c = \frac{0,147 \text{ mol}}{0,5 \text{ L}} = 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

51. Las características de la disolución a preparar, concentración ( $c = 2 \text{ mol/L}$ ) y volumen de la disolución ( $V = 0,1 \text{ L}$ ), permiten calcular la cantidad de soluto necesaria:

$$n_{\text{soluto}} = 2 \text{ mol/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,2 \text{ mol}$$

La etiqueta del sólido informa de la masa molar de la sustancia (158,04 g/mol), lo que permite calcular la masa de soluto necesaria:

$$m_{\text{soluto}} = 0,2 \text{ mol} \times 158,04 \text{ g/mol} = 31,608 \text{ g}$$

Y por otra parte, la etiqueta del recipiente también indica la riqueza en soluto del sólido. Y por ello, podemos calcular la masa de sólido a pesar:

$$\text{Masa sólido} = 31,608 \text{ g} / 0,9 = 35,12 \text{ g}$$

Una vez realizados los cálculos procederemos a la pesada de 35,12 g de sólido que disolveremos con un poco de agua destilada, para posteriormente introducir en un matraz de 100 mL y enrasarlo con agua destilada.

Una vez preparada la disolución, ponemos una etiqueta al matraz indicando la naturaleza de la disolución ( $\text{KMnO}_4 \text{ (aq)}$ ), su concentración (2 mol/L) y la fecha de preparación.

52. Tomando un volumen de referencia de 1 mL, establecemos.

- $m_{\text{disolución}} = 1 \text{ mL} \times 1,19 \text{ g/mL} = 1,19 \text{ g}$
- $m_{\text{solute}} = 0,375 \times 1,19 \text{ g} = 0,446 \text{ g}$
- Puesto que  $M_r(\text{HCl}) = 36,458 \rightarrow M = 36,458 \text{ g/mol}$ .

La cantidad de soluto es:

$$n = 0,446 \text{ g} / 36,458 \text{ g/mol} = 0,0122 \text{ mol}$$

- La concentración molar es:

$$c = 0,0122 \text{ mol} / 0,001 \text{ L} = 12,23 \text{ mol/L}$$

La cantidad de sustancia que ha reaccionado es:

$$n_{\text{HCl}} = 0,120 \text{ L} \times 12,23 \text{ mol/L} = 1,4676 \text{ mol}$$

La cantidad de cinc que ha reaccionado:

$$n_{\text{Zn}} = n_{\text{HCl}} / 2 = 1,4676 \text{ mol} / 2 = 0,7338 \text{ mol}$$

La masa de cinc que ha reaccionado es:

$$0,7338 \text{ mol} \times 65,39 \text{ g/mol} = 48 \text{ g}$$

Por tanto, la riqueza del cinc es:

$$(48 \text{ g} / 50 \text{ g}) \times 100 = 96 \%$$

53. La cantidad de soluto inicial es:

$$n_{\text{solute}} = 200 \text{ g/M}$$

La concentración de la disolución A es:

$$c_A = (200/M) / 0,250 \text{ L} = (800 / M) \text{ mol/L}$$

La cantidad de soluto que tomamos para formar la disolución B es:

$$n_B = 0,025 \text{ L} \times (800/M) \text{ mol/L} = 20/M \text{ mol}$$

La concentración de la disolución B es:

$$c_B = \frac{20}{0,250 \text{ L}} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Despejando, obtenemos  $M = 160 \text{ g/mol}$ .

54.

a) Cálculo de la masa molar:

$$c_B = \frac{10}{0,1 \text{ L}} = 0,2771 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Despejando, obtenemos  $M = 360,88 \text{ g/mol}$ .

b) Determinación de la fórmula molecular. Para ello, calculamos el porcentaje de cada elemento en el compuesto:

- Porcentaje de C (referencia 1,5200 g de compuesto)

$$2,2240 \text{ g de C} \times \frac{12,01 \text{ g de C}}{44,01 \text{ g de CO}_2} = 0,607 \text{ g de C}$$

$$\% \text{ de C} = \frac{0,607 \text{ g de C}}{1,5200 \text{ g de compuesto}} \times 100 = 39,93 \%$$

- Porcentaje de hidrógeno (referencia 2,5300 g de compuesto)

$$0,2530 \text{ g de H}_2\text{O} \times \frac{2,016 \text{ g de H}}{18,016 \text{ g de H}_2\text{O}} = 0,0283 \text{ g de H}$$

$$\% \text{ de H} = \frac{0,0283 \text{ g de H}}{2,5300 \text{ g de compuesto}} \times 100 = 1,12\%$$

- El porcentaje de cloro lo obtenemos por diferencia.

$$\% \text{ de Cl} = 100 - 39,93 - 1,12 = 58,95 \%$$

Para deducir la fórmula molecular ( $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_z$ ) usaremos la composición centesimal del compuesto y su masa molecular relativa (360,88).

Elemento	Composición centesimal	Subíndices
C	$39,93 = \frac{x \times 12,01}{360,88} \times 100$	$x = 12$
H	$1,12 = \frac{y \times 1,008}{360,88} \times 100$	$y = 4$
Cl	$58,95 = \frac{z \times 35,45}{360,88} \times 100$	$z = 6$

La fórmula molecular del compuesto es:  $\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6$

c) El número de átomos de cloro que hay en 10 g del compuesto se determina:

- Calculando la cantidad de sustancia del compuesto:

$$n_{\text{compuesto}} = \frac{10 \text{ g}}{360,88 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0277 \text{ mol}$$

- El número de moléculas del compuesto:

$$N = 0,0277 \text{ mol} \times N_A = 1,67 \cdot 10^{22} \text{ moléculas de } \text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6$$

- Los átomos de cloro que hay en estas moléculas son:

$$\begin{aligned} & 1,67 \cdot 10^{22} \text{ moléculas de } \text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6 \times (6 \text{ átomos de Cl} / 1 \text{ molécula de } \text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_6) = \\ & = 1,002 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Cl.} \end{aligned}$$

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN

1. Analizar texto del libro
2. En primer lugar determinamos la proporción correcta en que reaccionan el hierro y el oxígeno.

Masa de hierro que reacciona = 6 g; Masa de oxígeno que reacciona = 5 g - 3,5 g = 1,5 g.

Proporción de la reacción:

$$\left(\frac{m_{Fe}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{6\text{ g}}{1,5\text{ g}} = 4$$

La proporción inicial que se desea hacer reaccionar es:

$$\left(\frac{m_{Fe}}{m_O}\right)_{inicial} = \frac{12\text{ g}}{2\text{ g}} = 6 > \left(\frac{m_{Fe}}{m_O}\right)_{correcta}$$

Por tanto hay un exceso de Fe y reacciona todo el oxígeno.

Calculamos la cantidad de hierro que reacciona (x):

$$\left(\frac{m_{Fe}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{x}{2\text{ g}} = 4$$

Es decir, reaccionan 8 g de Fe.

En consecuencia la masa de óxido de hierro formado es:

$$M_{\text{óxido de hierro}} = M_O + M_{Fe} = 2\text{ g} + 8\text{ g} = 10\text{ g}$$

3.

Comp.	$m_{Cu}/m_O$ (*)	$m_{Cu}$	$m_O$	$M_{comp}$
I	3,97	79,88 (1)	20,12	100 (2)
II	7,94	88,81	11,19	100 (3)

(\*) La proporción se obtiene a partir de la fórmula del compuesto

Compuesto CuO

$$\left(\frac{m_{Cu}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{63,55}{16,00} = 3,97$$

Compuesto Cu<sub>2</sub>O

$$\left(\frac{m_{Cu}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{2 \times 63,55}{16,00} = 7,94$$

(1)

$$\left(\frac{m_{Cu}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{x}{20,12\text{ g}} = 3,97 \rightarrow x = 79,88\text{ g}$$

$$(2) m_{\text{compuesto}} = 79,88\text{ g} + 20,12\text{ g} = 100\text{ g}$$

(3) Se plantea un sistema de ecuaciones:

• Primera ecuación (ley de Proust) :

$$\left(\frac{m_{Cu}}{m_O}\right)_{correcta} = \frac{x}{y} = 7,94$$

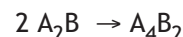
• Segunda ecuación (ley de conservación de la masa):

$$x + y = 100$$

Al resolver el sistema obtenemos:

$$x = m_{Cu} = 88,81\text{ g}; y = m_O = 11,19\text{ g}$$

4. Puesto que el volumen se reduce, en idénticas condiciones, la relación entre moléculas debe reducirse (diagrama b). En consecuencia, la reacción puede representarse por la ecuación:



5.

For.	n / mol	m / g	V / L	N / 10 <sup>23</sup>
NH <sub>3</sub>	2	34	24,45	12,044
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,136	50	30,74	6,843
H <sub>2</sub> O	277,78	5000	5	1672,79
CO <sub>2</sub>	1,328	58,432	16,33	8

6.

- a) Para calcular la cantidad de sustancia tenemos en cuenta que Mr (KOH) = 56,108 → M = 56,108 g/mol. En consecuencia:

$$n_{KOH} = \frac{54,9\text{ g}}{56,108\frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,978\text{ mol}$$

La concentración molar es:

$$c = \frac{0,978\text{ mol}}{0,5\text{ L}} = 1,957\frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 1,96\frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

La masa total de la disolución es:

$$M_{\text{disolución}} = 1,09\text{ g/cm}^3 \times 500\text{ cm}^3 = 545\text{ g}$$

Por tanto el porcentaje en masa es:

$$\% \text{ de KOH} = \frac{54,9 \text{ g}}{545 \text{ g}} \times 100 = 10,1\%$$

b) La cantidad de sustancia necesaria es:

$$n(\text{KOH}) = 0,2 \text{ L} \times 0,1 \text{ mol/L} = 0,02 \text{ mol}$$

Puesto que esta cantidad debe tomarse de la disolución anterior planteamos la ecuación:

$$c = \frac{0,02 \text{ mol}}{V} = 1,957 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Despejando el volumen obtenemos:

$$V = 0,0102 \text{ L} = 10,2 \text{ mL}$$

7. Las características de la disolución a preparar, concentración ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ) y volumen de la disolución ( $V = 0,5 \text{ L}$ ), permiten calcular la cantidad de soluto necesaria:

$$n_{\text{solute}} = 1 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ mol}$$

La etiqueta del reactivo informa de la masa molar de la sustancia ( $40,00 \text{ g/mol}$ ), lo que permite calcular la masa de soluto necesaria:

$$m_{\text{solute}} = 0,5 \text{ mol} \times 40,00 \text{ g/mol} = 20,00 \text{ g}$$

Y por otra parte, la etiqueta del recipiente también indica la riqueza en soluto del sólido. Y por ello, podemos calcularla masa de sólido a pesar:

$$\text{Masa sólido} = 20,00 \text{ g} / 0,9 = 22,22 \text{ g}$$

Una vez realizados los cálculos procederemos a la pesada de  $22,22 \text{ g}$  de sólido que disolveremos con un poco de agua destilada, para posteriormente introducir en un matraz de  $500 \text{ mL}$  y enrasarlo con agua destilada.

Una vez preparada la disolución, ponemos una etiqueta al matraz indicando la naturaleza de la disolución ( $\text{KOH (aq)}$ ), su concentración ( $1 \text{ mol/L}$ ) y la fecha de preparación.

8. Para determinar la fórmula empírica realizamos los siguientes cálculos:

a)

Elemento	Masa referencia	Masa molar	Cantidad de sustancia (n)	Relación molar (n/ n*)
C	81,82 g	12,01 g/mol	6,81 mol*	$1 \times 3 \rightarrow 3$
H	18,18 g	1,008 g/mol	18,04 mol	$2,65 \times 3 \rightarrow 8$

La fórmula empírica es  $\text{C}_3\text{H}_8$

- b) Para calcular la masa molar aplicamos la ecuación de los gases ideales para determinar la cantidad de sustancia:

Condiciones	Cálculo de n	Cantidad de sustancia
$V = 1 \text{ L}; P = 1 \text{ atm}; T = 273,15 \text{ K}$	$n = \frac{1 \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{R \times 273,15 \text{ K}}$	0,0446 mol

Por tanto:

$$n_{\text{compuesto}} = \frac{1,966 \text{ g}}{M \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,446 \text{ mol} \rightarrow M = 44,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

- c) La fórmula molecular es:  $(\text{C}_3\text{H}_8)_a$ ,

siendo  $a = (M \text{ empírica}) / (M \text{ molecular}) = 1$ .

La fórmula molecular del compuesto es:  $\text{C}_3\text{H}_8$

9. Analizar la lectura “Lavoisier y la consolidación de Química como ciencia”.

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos criterios de evaluación específicos para el presente tema.

Los alumnos y alumnas deben ser capaces de:

1. Explicar observaciones cotidianas usando el modelo corpuscular.
2. Aplicar correctamente la ley de los gases ideales a un sistema que evoluciona entre dos estados.
3. Aplicar la ley de la conservación de la masa y la ley de Proust al estudio cuantitativo de las reacciones químicas.
4. Explicar las leyes ponderales a partir de los postulados de la teoría atómica de Dalton.
5. Determinar la composición centesimal de un compuesto a partir de su fórmula química.
6. Deducir la fórmula molecular de un compuesto a partir de su composición centesimal y la masa molecular.
7. Realizar cálculos relacionados con la magnitud cantidad de sustancia.
8. Deducir la fórmula empírica de un compuesto conociendo la composición centesimal y haciendo uso de la magnitud cantidad de sustancia.
9. Calcular el volumen ocupado por una sustancia a partir de sus condiciones físicas (P y T) y usando la ecuación de los gases ideales o el concepto de densidad, según proceda.
10. Calcular la concentración, expresada en mol/L o en porcentaje másico, para disoluciones en estado líquido.
11. Saber explicar los procedimientos y los cálculos necesarios para preparar una disolución de concentración determinada, a partir de un soluto sólido o de una disolución concentrada.

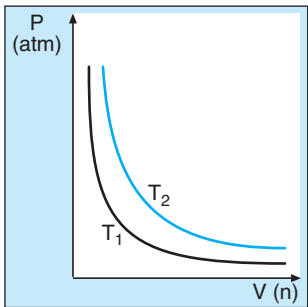
6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

En función de las capacidades a desarrollar y de los criterios de evaluación indicados, y a título de ejemplos ilustrativos, proponemos los siguientes ejercicios para elaborar una prueba escrita de evaluación final del tema.

- 1. Usando el modelo corpuscular de la materia explica los siguientes fenómenos:
  - a) Si tapas con el dedo la punta de una jeringuilla de plástico, es posible reducir el volumen de aire que contiene.
  - b) Si mezclamos 5 cm<sup>3</sup> de alcohol en 5 cm<sup>3</sup> de agua el volumen total de la disolución no son 10 cm<sup>3</sup>.

Analiza los fenómenos expuestos y responde a la pregunta, ¿se conserva el volumen siempre que no haya variación de la cantidad de materia?

- 2. La gráfica de la figura anexa, representa la variación de la presión que ejerce una determinada cantidad de gas en función del volumen ocupado, a diferentes temperaturas T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>. ¿Qué temperatura es mayor?



- 3. Cuando se calienta cobre en polvo en presencia de aire se obtienen 1,25 g de óxido de cobre por cada gramo de cobre quemado. ¿Qué masa de oxígeno se necesita para quemar 6,30 g de cobre?
- 4. En una bombona de 1000 mL tenemos un gas que ejerce una presión de 800 mm de Hg a 2° C. La conectamos a una segunda bombona (inicialmente vacía) de 3 L de capacidad. ¿Cuál será la presión ejercida por el gas si no varía la temperatura?
- 5. El hidrógeno (H<sub>2</sub>) reacciona con el oxígeno (O<sub>2</sub>) de forma explosiva para formar vapor de agua (H<sub>2</sub>O). Llenamos tres tubos de una mezcla de oxígeno e hidrógeno, cuya composición es la siguiente:

Tubo	V <sub>O<sub>2</sub></sub> /cm <sup>3</sup>	V <sub>H<sub>2</sub></sub> /cm <sup>3</sup>
1	25	75
2	50	50
3	25	75

¿Cuál es el volumen de gas que permanece sin reaccionar en cada tubo después de producirse la reacción?

- 6. El butano contiene 82,76 % de carbono y 17,24 % de hidrógeno. Halla su fórmula molecular sabiendo que la masa molecular relativa es 58.
- 7. Sabemos que el azufre arde produciendo un gas, SO<sub>2</sub>, responsable de la lluvia ácida. Analiza la fórmula del gas y determina en qué proporción se combina el azufre con el oxígeno para formar dicho gas, y usa la relación establecida para completar la tabla siguiente:

m <sub>S</sub> / g (inicial)	m <sub>O</sub> / g (inicial)	m <sub>SO<sub>2</sub></sub> / g	m <sub>S</sub> / g exceso	m <sub>O</sub> / g exceso
10	10			
15		40		
30	20			
		60	20	

Datos: A<sub>r</sub> (S) = 32; A<sub>r</sub> (O) = 16

- 8. Completa la siguiente tabla, explicando los cálculos realizados.

Fórmula	condiciones	n/mol	m/g	V/L
CrO <sub>3</sub>	t = 25° C P = 1 atm (sólido) ρ = 2,70 g/cm <sup>3</sup>		20	
C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	t = 25° C P = 1 atm (gas)	5		
CH <sub>3</sub> COBr	t = 50° C P = 800 mm Hg de Hg (gas)			4

- 9. El clometiléter (CH<sub>3</sub>– O – CH<sub>3</sub>) es un compuesto muy volátil, gaseoso a temperatura ambiente, que ha sido propuesto como un combustible diésel. En un pistón de 12 L se introduce una cantidad de dimetiléter a presión de 800 mm de Hg y 20° C. Calcula:
  - a) La cantidad de moléculas presentes.
  - b) Los átomos de cada elemento.
  - c) La presión ejercida por el gas sobre el pistón, si el volumen se reduce a 3 L sin variar su temperatura.

10. El teflón se elabora a partir de una sustancia fluorocarbonada (compuesto de carbono y flúor), el perfluoretileno. En el análisis de una muestra de 0,5936 g de perfluoretileno se convirtió todo el flúor de la muestra en 0,802 g de  $\text{CaF}_2$ . A partir de dicha información, deduce la fórmula empírica del compuesto.

Datos:  $A_r(\text{Ca}) = 40$ ;  $A_r(\text{F}) = 19$

11. En momentos de estrés o alteración nerviosa, el cuerpo humano libera una sustancia denominada adrenalina.

Experimentalmente se ha determinado que la composición centesimal de la adrenalina es:

Elem.	C	H	O	N
% masa	56,80	6,50	28,42	8,28

Determina la fórmula empírica de la adrenalina.

Datos:  $A_r(\text{C}) = 12$ ;  $A_r(\text{H}) = 1$ ;

$A_r(\text{O}) = 16$ ;  $A_r(\text{N}) = 14$ .

12. Un compuesto está formado por C, H, O y su masa molecular es de 60 g/mol. Cuando se queman 30 g del compuesto en presencia de un exceso de oxígeno, se obtiene una igual cantidad de sustancia de  $\text{CO}_2$  y de agua. Sabiendo que el  $\text{CO}_2$  obtenido genera en un pistón de 10 L, a 120 °C, una presión de 2449 mm de Hg, calcula:

a) La fórmula empírica del compuesto.

b) La fórmula molecular del compuesto.

13. Una bebida alcohólica contiene un 35 % en masa de alcohol etílico ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ). Una persona adulta ingiere 100 g de la misma, y se ha determinado que el 15 % del alcohol ingerido pasa directamente a la sangre. Determina la concentración de alcohol en la sangre si consideramos que la persona posee 7 L de sangre.

Datos:  $A_r(\text{C}) = 12$ ;  $A_r(\text{H}) = 1$ ;  $A_r(\text{O}) = 16$ ;

14. El ácido sulfúrico es un producto muy consumido en nuestra sociedad. Dos de los usos más frecuentes son los limpiadores para desagües y en las baterías de los automóviles.

- Si un líquido limpiador para desagüe contiene 175 g de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  por 100 mL de disolución, ¿cuál es su concentración?
- El ácido de una batería ordinaria para automóviles es 5 mol/L de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . ¿Qué masa de ácido sulfúrico hay en 1 L de esta disolución?

15. Explica cómo prepararías 500 mL de una disolución de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,1 mol/L, a partir de un bote de reactivo sólido cuya etiqueta es la que indica la figura anexa.



16. El ácido nítrico [ $\text{HNO}_3(\text{dis})$ ] concentrado es del 70 % en masa y su densidad es 1,4 g/cm<sup>3</sup>. ¿Qué volumen de ácido nítrico concentrado se necesita para preparar 100 mL de una disolución de ácido nítrico 0,2 mol/L? Explica el proceso a realizar para preparar la disolución solicitada.



## 7. BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Libros

BENSAUDE-VINCENT, B. (1993). *Lavoisier una revolución científica*. En SERRES, M. Historia de las ciencias. Madrid: Cátedra.

BERTOMEU, J.R; GARCÍA, A. (2006). *La revolución química*. Universitat de València.

DOMÍNGUEZ, M<sup>a</sup> C. (2004). *Dificultats en la comprensió dels conceptes de substància química, substància simple i compost*. Proposta de millora basada en estratègies d'ensenyament-aprenentatge per investigació orientada. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de didàctica de les ciències experimentals i socials.

HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos*. Vélez-Málaga: Elzevir.

LAINCHBURY, A., STEPHENS, J. y THOMPSON, A. (1995). ILPAC. Londres: John Murray.

LLORENS, J.A. (1991) *Comenzando a aprender química*. Madrid: Ediciones Visor.

PÉLLON, I. (2002). *Un químico ilustrado: Lavoisier*. Ediciones Nivola. Científicos para la Historia.

PÉLLON, I. (2003). *El hombre que pesó los átomos*. Dalton. Ediciones Nivola. Científicos para la Historia.

POZO, I., GÓMEZ, M.A. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

POZO, I., GÓMEZ, M.A., LIMÓN, SANZ. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia. Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. Madrid: CIDE-MEC.

ORO, L.A; FURIÓ, C; AZCONA, R. (1997). *Aspectos didácticos de la Física y Química*. Zaragoza: Ediciones Universitarias.

O'CONNOR, R. (1974). *Problemas de química aplicada*. Bogotá: Ediciones Harla.

### Artículos

ANDRADE, J.J., CORSO, H.L., GENNARI, F.C. (2006). *Se busca una magnitud para la unidad mol*. Revista Eureka. 3 (2), pp. 229- 236. <http://www.apac-eureka.org/revista>

AZCONA, R., FURIÓ, C... (2005). *¿Cómo se puede favorecer una buena comprensión de la cantidad de sustancia y el mol en una clase de bachillerato?* Enseñanza de las Ciencias. Número extra. VII Congreso.

BARLET, D. y ESPINOZA, O. (1995). *Cantidad de sustancia, una ilustración experimental*, Educación Química, 6 (2), pp 136-138.

CAAMAÑO, A. (1998). *Nomenclatura, símbolos y escritura de las magnitudes fisicoquímicas*. Alambique. 17, pp. 47-57.

CARBONELL, F. y FURIÓ C.J. (1987). *Opiniones de los adolescentes del cambio sustancial en las reacciones químicas*, Enseñanza de las Ciencias, 5 (1), pp. 3-9.

FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA G. (1999). Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (3), pp. 359 - 376.

FURIÓ, C. AZCONA, R. y GUIASOLA, J. (2002). Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), pp. 229-241.

FURIÓ-MAS, C; DOMÍNGUEZ-SALES, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), pp. 241-258.

GARRITZ, A., GASQUE, L. (2002). El mol: un concepto evasivo. *Una estrategia didáctica para enseñarlo*. Alambique. 33, pp. 99-109

GRUPO ALKALI (1990). Ideas de los alumnos acerca del mol. *Estudio curricular. Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 111-119.

MARTÍN DEL POZO, R. (2001). Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), pp. 199 -215.

MOLINA, G.J., ROMERO, A., HARO, J.A. y RUIZ, B. (1995). Demostración práctica de la ley de Boyle-Mariotte, *Educación Química*, 6 (2), 132-136.

MORENO, A. (2006). Atomismo versus energetismo: controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (3), pp. 411- 428.

NAPPA, N.; INSAUSTI M<sup>a</sup>.J. Y SIGÜENZA, A.F. (2005), Obstáculos para generar representaciones mentales sobre la disolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias Vol. 2, N° 3*, pp. 344-363. <http://www.apac-eureka.org/>

NURRENBERN, S.C. y PICKERING, M. (1987). Concept Learning versus Problem Solving: Is There a Difference? *Journal of Chemical Education*, 64 (6), pp. 508-510.

PRIETO, T. y BLANCO, A. (2000). *Visión escolar de la naturaleza y estructura de la materia*. Alambique. 26, pp. 75 -82.

RINGNES, V. (1989). Origin of the Names of Chemical Elements, *Journal of Chemical Education*, 66 (9), pp. 731-738.

JIMENEZ, M<sup>a</sup> R.; SANCHEZ, M<sup>a</sup>; ESTEBAN. (2001). Aprender química de la vida cotidiana más allá de lo anecdótico. *Alambique*, n° 28, pp. 53-62.

VERDÚ, J. (1993). Sobre los errores en el uso del concepto de mol y de las magnitudes relacionadas. *Revista Española de Física*, 7 (1).

# LA REACCIÓN QUÍMICA: ESTEQUIOMETRÍA

# 8

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

Al seleccionar los contenidos y el nivel que han de desarrollarse, se ha tenido en cuenta lo estudiado previamente, tanto en la ESO como en los temas previos.

En la E.S.O. se han estudiado los sistemas materiales y se ha introducido el modelo corpuscular para explicar el comportamiento de la materia en estado gaseoso, su validez en los diferentes estados y la justificación de los cambios químicos a partir de dicho modelo. Así mismo, se ha analizado la carga eléctrica como otra propiedad general y se ha incorporado la naturaleza eléctrica de la materia al modelo corpuscular.

Además, se ha profundizado en la diversidad de sistemas materiales, la idea de discontinuidad en la materia, se ha presentado la tabla periódica, los modelos atómicos de Dalton y Rutherford, y la clasificación de las sustancias químicas por el tipo de enlace. También se ha insistido en la

diferencia entre fenómenos físicos y químicos, se ha manejado la información contenida en la ecuación química, se ha podido utilizar la cantidad de sustancia, y, probablemente, se han realizado cálculos sencillos con ecuaciones químicas.

En el tema 7 se ha profundizado en la teoría atómico-molecular de la materia, estudiando las leyes ponderales y las leyes del estado gaseoso. Se ha llegado a la idea de molécula, la necesidad de la magnitud cantidad de sustancia y se han utilizado diversas formas de expresar la concentración de las disoluciones.

En el desarrollo del Tema se han incluido diversos experimentos, pues consideramos que son necesarios para presentar o reforzar los diversos aspectos relacionados con la reacción química. Así mismo, se desarrolla algún ejemplo de química industrial y química medioambiental en relación con la reacción química.

## 2. CONTENIDOS

1. *Importancia del conocimiento y estudio de las transformaciones químicas.*
2. *Interpretación (submicroscópica) de una reacción química. La ecuación química.*
  - Moléculas.
  - Cantidad de sustancia.
  - Masa.
  - Volumen.
  - Obtención de la ecuación química.
3. *Cálculos con ecuaciones químicas*
  - Masa – masa.
  - Masa – volumen de gas.
  - Volumen de gas – volumen de gas.
  - Masa – volumen disolución.
  - Volumen disolución – volumen disolución.
4. *Factores que condicionan los cálculos estequiométricos*
  - Reactivo limitante.
  - Riqueza de una muestra.
  - Rendimiento de una reacción.
5. *Química, industria y medio ambiente.*

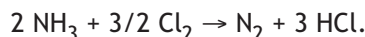
### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Conocer el modelo elemental de reacción química.</div> <div>2. Interpretar la información contenida en la ecuación química.</div> <div>3.Saber el significado del reactivo limitante, la riqueza de los reactivos y el rendimiento de una reacción.</div> <div>4. Razonar químicamente algunos procesos industriales y medioambientales.</div>	<div>1. Ajustar diferentes reacciones químicas.</div> <div>2. Interpretar la información contenida en la ecuación química.</div> <div>3. Realizar cálculos estequiométricos en los que aparezcan relaciones: masa-masa, masa-volumen de gas, volumen de gas-volumen de gas, masa-volumen de disolución, volumen de disolución-volumen de disolución.</div> <div>4. Utilizar adecuadamente el concepto de reactivo limitante.</div> <div>5. Manejar en los cálculos químicos la riqueza de los reactivos y el rendimiento de la reacción.</div> <div>6. Comprobar experimentalmente los cálculos estequiométricos en diferentes reacciones químicas.</div> <div>7. Elegir el material de laboratorio adecuado para la reacción química estudiada experimentalmente.</div> <div>8. Realizar informes de los experimentos realizados.</div>	<div>1. Conocer y respetar las normas de seguridad de un laboratorio químico.</div> <div>2. Tratar con cuidado todo el material del laboratorio químico.</div> <div>3. Realizar los experimentos sin malgastar los reactivos y recuperando, si fuese posible, los productos obtenidos.</div> <div>4. Valorar las diferentes aportaciones en la Historia de la Química, que nos han legado la posibilidad de conocer de forma sencilla lo que es una reacción química.</div> <div>5. Defender el medio ambiente desde una actitud personal responsable.</div>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** No pueden existir fracciones de moléculas; por tanto si los coeficientes estequiométricos no son números enteros no se puede leer en moléculas la ecuación química, como ocurre en el ejemplo:



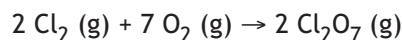
**A.2.** Es un error habitual que los alumnos/as asignen el estado físico a los átomos o a las moléculas. Por este motivo se pregunta, en esta actividad, si son correctas las expresiones:

4 moléculas de  $\text{NH}_3$  (g) y 4 mol de  $\text{NH}_3$  (g).

Es evidente que la primera expresión no es correcta y la segunda sí. Una vez que los alumnos/as han reflexionado en este aspecto no deben tener problemas en interpretar de forma correcta el estado físico de reactivos y productos que, con frecuencia, aparece en la ecuación química.

**A.5.** Se debe razonar la fórmula del óxido de cloro con la lectura en volúmenes de la ecuación química. Si  $200 \text{ cm}^3$  de  $\text{Cl}_2$  (g) reaccionan con  $700 \text{ cm}^3$  de  $\text{O}_2$  (g) para dar  $200 \text{ cm}^3$  de un óxido de cloro en estado gaseoso, medidos todos los volúmenes en las mismas condiciones de presión y temperatura, podemos establecer la mínima relación entre volúmenes y, de este modo, afirmar:

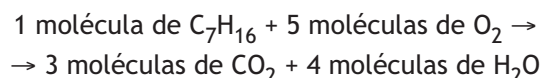
2 volúmenes de  $\text{Cl}_2$  (g) reaccionan con 7 volúmenes de  $\text{O}_2$  (g), obteniéndose 2 volúmenes de un óxido de cloro (g). Por la hipótesis de Avogadro sabemos que la relación con volúmenes es la misma que la relación con moléculas y, como el cloro y el oxígeno están formados por moléculas diatómicas podemos escribir:



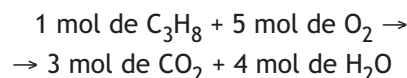
Por tanto, la fórmula del óxido de cloro es  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .

**A.6.** Partiendo de:  $\text{C}_3\text{H}_8 (\text{g}) + 5 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ , se llega a establecer las siguientes relaciones:

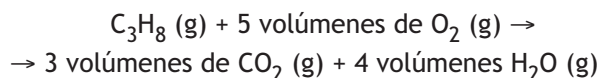
**Moléculas**



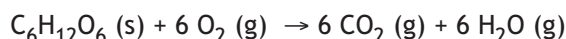
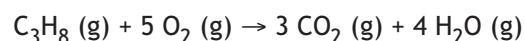
**Cantidad de sustancia**



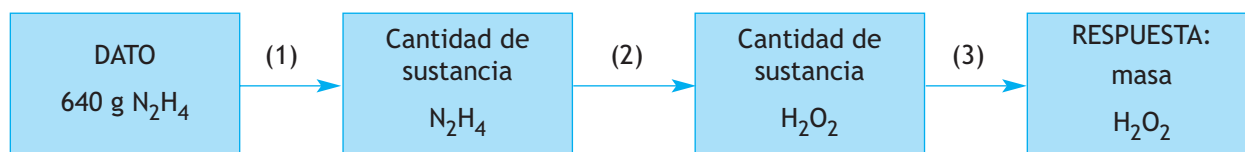
**Volúmenes**



**A.7.** Se pide ajustar dos reacciones de combustión, para ello se iguala el número de átomos de carbono, después el de hidrógeno y, por último, el de oxígeno. Procediendo de esta forma se obtiene:

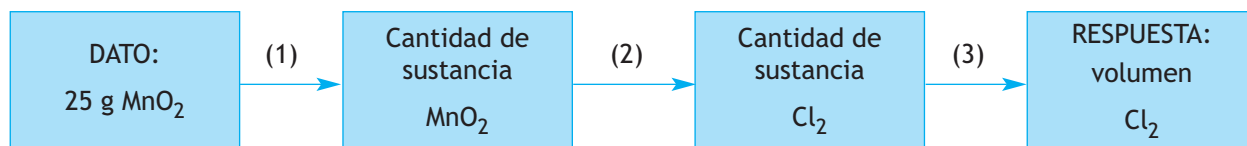


**A.8.** Se puede plantear un esquema de solución semejante a:



$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 640 \text{ g } \text{N}_2\text{H}_4 \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{N}_2\text{H}_4}{32 \text{ g } \text{N}_2\text{H}_4} \cdot \frac{2 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}_2}{1 \text{ mol } \text{N}_2\text{H}_4} \cdot \frac{34 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2}{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}_2} = 1360 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2$$

**A.9.** Se puede resolver desarrollando las siguientes etapas:



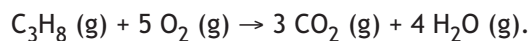
$$n(\text{Cl}_2) = 25 \text{ g } \text{MnO}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{MnO}_2}{86,9 \text{ g } \text{MnO}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{Cl}_2}{1 \text{ mol } \text{MnO}_2} = 0,288 \text{ mol } \text{Cl}_2$$

3) El cálculo del volumen de cloro se realiza a partir de la ecuación de los gases ideales ( $PV = nRT$ ):

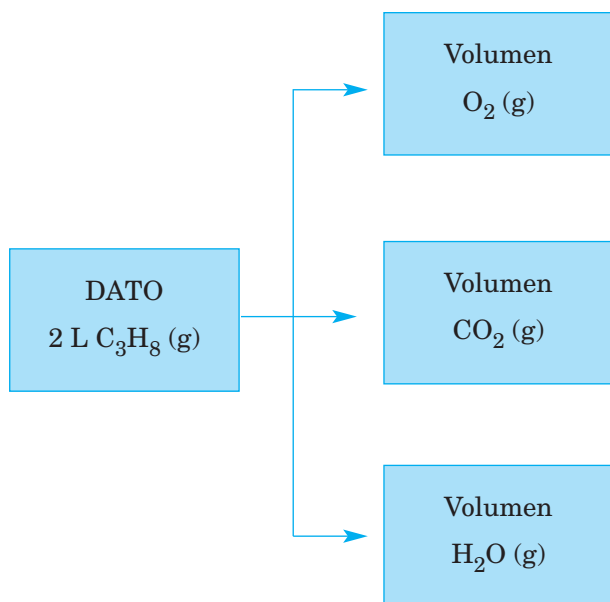
$$V(\text{Cl}_2) = \frac{nRT}{P} = \frac{0,288 \cdot 0,082 \cdot 298}{1} \text{ L } \text{Cl}_2 = 7,03 \text{ L } \text{Cl}_2$$

**A.10.** Para solucionar esta actividad se debe leer la ecuación química en volúmenes (ley de las combinaciones volumétricas).

El proceso que tiene lugar es:



Un esquema de solución que se puede utilizar es:



1)

$$V(\text{O}_2) = 2 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8 \cdot \frac{5 \text{ L } \text{O}_2}{1 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8} = 10 \text{ L } \text{O}_2$$

2)

$$V(\text{CO}_2) = 2 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8 \cdot \frac{3 \text{ L } \text{CO}_2}{1 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8} = 6 \text{ L } \text{CO}_2$$

3)

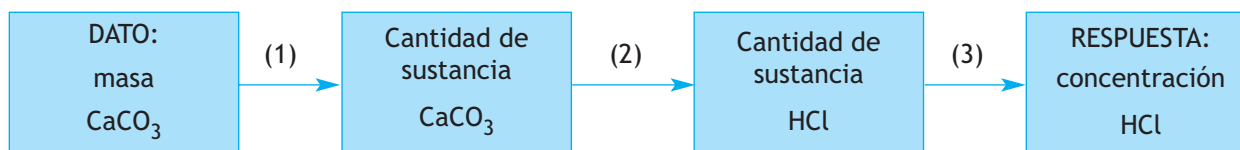
$$V(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8 \cdot \frac{4 \text{ L } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ L } \text{C}_3\text{H}_8} = 8 \text{ L } \text{H}_2\text{O}$$

Por tanto, la variación del volumen es:

$$\Delta V = V(\text{CO}_2) + V(\text{H}_2\text{O}) - V(\text{C}_3\text{H}_8) - V(\text{O}_2) = 2 \text{ L}$$

**A.11.**

Para resolver esta actividad desarrollamos las siguientes etapas:



$$n(\text{HCl}) = m \text{ g } \text{CaCO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \cdot \frac{2 \text{ mol } \text{HCl}}{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3} = \frac{m}{50} \text{ mol } \text{HCl}$$

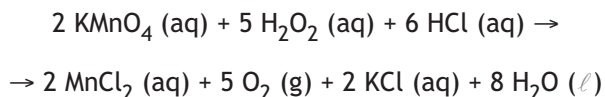
3

$$[\text{HCl}] = \frac{\frac{m}{50} \text{ mol}}{V \text{ L}} = \frac{m}{50 \cdot V} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Como  $m = 1 \text{ g}$  y  $V = 0,015 \text{ mL}$ , obtenemos:  
 $[\text{HCl}] = 1,3 \text{ mol/L}$

### Experimento 1.

El Exp.1 consiste en la determinación de la concentración de agua oxigenada con permanganato. La ecuación química de la reacción es:



a) Para realizar el experimento los alumnos/as deben indicar el material necesario y el procedimiento a seguir. Con las aportaciones de cada grupo se llegará a seleccionar el material: erlenmeyer, bureta y pipeta, así como al desarrollo experimental. Para que los alumnos/as puedan indicar éste conviene que el profesor/a mezcle permanganato y agua oxigenada, en medio ácido. De esta forma no tendrán demasiada dificultad en llegar al diseño experimental, que consistirá en ir añadiendo, poco a poco, desde la bureta el agua oxigenada a la disolución de permanganato acidulada, a la que se ha añadido un poco de agua, que se encuentra en el matraz erlenmeyer. La desaparición del color del permanganato indica el final de la reacción.

b) Para determinar la concentración del agua oxigenada se realizarán los siguientes cálculos:

$$n(\text{KMnO}_4) = c_1 \cdot V_1 \quad n(\text{H}_2\text{O}_2) = c_2 \cdot V_2$$

$$\frac{n(\text{KMnO}_4)}{n(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{2}{5}; \quad \frac{c_1 \cdot V_1}{c_2 \cdot V_2} = \frac{2}{5}$$

Como deseamos obtener la concentración del agua oxigenada ( $c_2$ ), de la anterior relación se obtiene:

$$c_2 = \frac{5 \cdot c_1 \cdot V_1}{2 \cdot V_2}$$

El  $V_1$  es el volumen de la disolución de  $\text{KMnO}_4$  que introducimos en el matraz erlenmeyer; la concentración de la disolución de  $\text{KMnO}_4$  es  $0,15 \text{ mol/L}$ ; y  $V_2$  es el volumen de agua oxigenada que hemos añadido desde la bureta.

A título de ejemplo ofrecemos un resultado experimental:

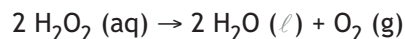
$$V_1 = 40 \text{ mL} \quad V_2 (\text{experimental}) = 17,5 \text{ mL}$$

$$c_1 = 0,15 \text{ mol/L}$$

Por tanto:

$$c_2 = \frac{5 \cdot V_1 \cdot c_1}{2 \cdot V_2} = \\ = \frac{5 \cdot 40 \cdot 0,15}{2 \cdot 17,5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,86 \text{ mol/L}$$

c) El agua oxigenada que habitualmente se vende en farmacias es de 10 volúmenes. El agua oxigenada se descompone de acuerdo con la siguiente ecuación química:



La expresión 10 volúmenes quiere decir los litros de oxígeno, medidos en condiciones normales, que se obtendrían de 1 litro de disolución de agua oxigenada.

A partir de 10 litros de oxígeno podemos calcular la cantidad de sustancia de  $\text{H}_2\text{O}_2$  que habrá en 1 litro, es decir, la molaridad:

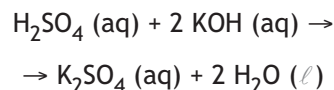
$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = \\ = 10 \text{ L O}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol O}_2}{22,4 \text{ L O}_2} \cdot \frac{2 \text{ mol H}_2\text{O}_2}{1 \text{ mol O}_2} =$$

$$= 0,89 \text{ mol H}_2\text{O}_2$$

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,89 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

La diferencia respecto al resultado previsto se debe a que el agua oxigenada se va descomponiendo, aunque lentamente, con el transcurrir del tiempo.

A.12. El proceso de neutralización puede representarse por la siguiente ecuación química:



Si denominamos:  $V_a$  : Volumen ácido

$V_b$  : Volumen base = 20 mL

$c_a$  : Molaridad ácido;

$c_b$  : Molaridad base = 1 mol/L

la cantidad de sustancia del ácido y la base es:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = V_a \cdot c_a$$

$$n(\text{KOH}) = V_b \cdot c_b$$

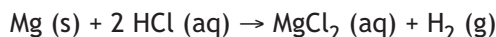
$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{KOH})} = \frac{1}{2} \quad \frac{V_a \cdot c_a}{V_b \cdot c_b} = \frac{1}{2}$$

Por tanto:

$$V_a = \frac{V_b \cdot c_b}{2 \cdot c_a} = \frac{20 \cdot 1}{2 \cdot 0,5} = 20 \text{ mL}$$

A.14. Esta actividad es también un cálculo con reactivo limitante.

La reacción que tiene lugar es:



Mezclamos 0,60 g de magnesio con 50 mL de ácido clorhídrico,  $c = 1'5 \text{ mol/L}$ . La cantidad de sustancia de cada reactivo es:



$$n(\text{Mg}) = 0,60 \text{ g Mg} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}}{24,3 \text{ g Mg}} = 0,0247 \text{ mol Mg}$$

$$n(\text{HCl}) = 1,5 \frac{\text{mol HCl}}{\text{L}} \cdot 0,05 \text{ L} = 0,075 \text{ mol HCl}$$

Si suponemos que reacciona todo el magnesio, la cantidad de sustancia de HCl necesaria sería:

$$n(\text{HCl}) = 0,0247 \text{ mol Mg} \cdot \frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol Mg}} = 0,0494 \text{ mol HCl}$$

Como hay ácido clorhídrico sobrante, el magnesio es el reactivo limitante y con él hay que realizar el cálculo.

La cantidad de sustancia de hidrógeno obtenida es:

$$n(\text{H}_2) = 0,0247 \text{ mol Mg} \cdot \frac{1 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol Mg}} = 0,0247 \text{ mol H}_2$$

Por lo que:

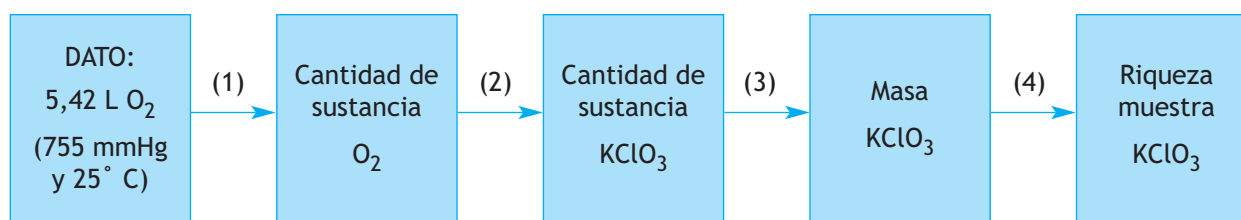
$$V(\text{H}_2) = \frac{nRT}{P} = \frac{0,0247 \cdot 0,082 \cdot 300}{750/760} \text{ L H}_2 = 0,616 \text{ L H}_2$$

**A.15.** Esta actividad se presta a que el profesor/a monte el experimento de la fig. 4.6 del libro de texto. Al descomponerse el clorato de potasio se obtiene oxígeno que puede recogerse sobre agua en un tubo de desprendimiento. El oxígeno así obtenido puede avivar la combustión del punto de ignición de una cerilla recién apagada, por ejemplo. Una vez realizado el experimento el profesor/a debe destapar el tubo de ensayo que contiene al clorato de potasio, pues por descompresión se pueden producir movimientos bruscos de la masa de agua.

Para determinar la riqueza de la muestra de clorato de potasio hay que tener en cuenta la ecuación química del proceso:



El esquema que se puede seguir es el siguiente:



$$1) \quad n(\text{O}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{755 \cdot 5,42}{760 \cdot 0,082 \cdot 298} \text{ mol O}_2 = 0,22 \text{ mol O}_2$$

$$2) \text{ y } 3) \quad m(\text{KClO}_3) = 0,22 \text{ mol O}_2 \cdot \frac{2 \text{ mol KClO}_3}{3 \text{ mol O}_2} \cdot \frac{122,6 \text{ g KClO}_3}{1 \text{ mol KClO}_3} = 17,98 \text{ g KClO}_3$$

$$4) \quad \text{Riqueza de la muestra} = \frac{17,98}{20} \cdot 100 = 89,9 \%$$

**A.16.** Si la reacción fuese completa la cantidad de sustancia de amoníaco obtenida sería 2 mol, es decir,  $n(\text{NH}_3)_{\text{teóricos}} = 2 \text{ mol}$ .

La cantidad de sustancia de amoníaco, realmente obtenida, es:

$$n(\text{NH}_3)_{\text{reales}} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 20}{0,082 \cdot 300} \text{ mol NH}_3 = 0,813 \text{ mol NH}_3$$

El rendimiento de la reacción es:

$$\text{Rendimiento de la reacción} = \frac{n(\text{NH}_3)_{\text{reales}}}{n(\text{NH}_3)_{\text{teóricos}}} \cdot 100 = \frac{0,813}{2} \cdot 100 = 40,65 \%$$

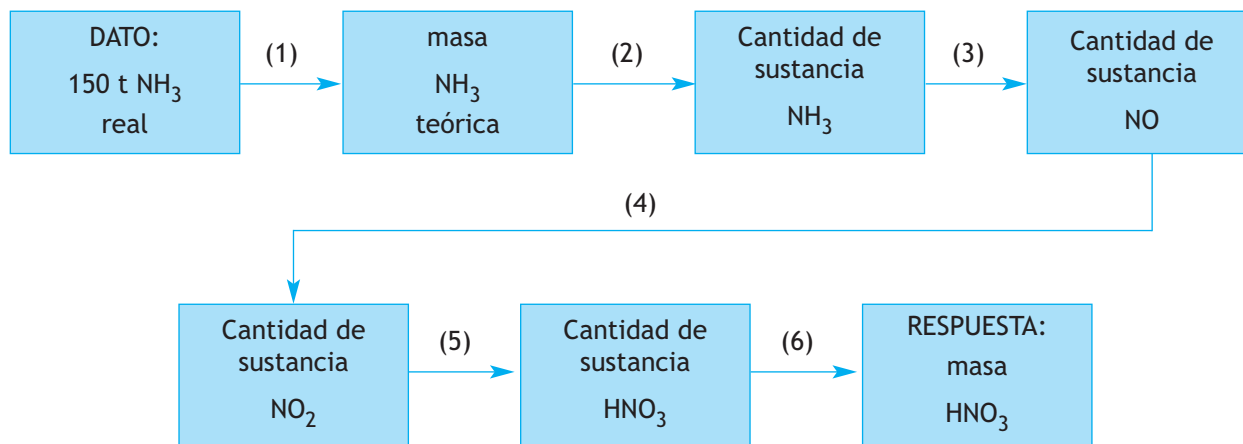
### Experimento 3

Este experimento tiene como finalidad que los alumnos/as comprueben dos de las propiedades del ácido sulfúrico, como ácido y como agente deshidratante.

a) El ácido sulfúrico diluido, como ácido, vuelve rojo el papel indicador universal, reacciona con el cinc, con desprendimiento de hidrógeno; y con el carbonato de calcio, con desprendimiento de dióxido de carbono.

b) El ácido sulfúrico concentrado es un poderoso agente deshidratante, y, por esta razón, carboniza a los hidratos de carbono.

A.17. Esta actividad se propone como un ejemplo de reacciones consecutivas. La actividad puede desarrollarse siguiendo las siguientes etapas:



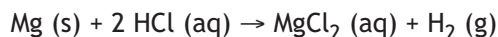
$$m(\text{HNO}_3) = 150 \cdot 10^6 \text{ g NH}_3 \text{ real} \cdot \frac{100 \text{ g NH}_3 \text{ teórico}}{65 \text{ g NH}_3 \text{ real}} \cdot \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17 \text{ g NH}_3} \cdot \frac{4 \text{ mol NO}}{4 \text{ mol NH}_3} \cdot \frac{2 \text{ mol NO}_2}{2 \text{ mol NO}} \cdot \frac{2 \text{ mol HNO}_3}{3 \text{ mol NO}_2} \cdot \frac{63 \text{ g HNO}_3}{1 \text{ mol HNO}_3} = 570,14 \cdot 10^6 \text{ g HNO}_3 = 570,14 \text{ t HNO}_3$$

### Experimento 4

#### Comprobación experimental de la estequiometría de una reacción química

A continuación ofrecemos un resultado del experimento anterior.

La ecuación química, cuya estequiometría se desea comprobar, es:



La densidad lineal de la cinta de magnesio empleada era:  $l = 9,5 \text{ mg / cm}$ .

Se midieron 3,3 cm de la cinta de magnesio, por tanto la cantidad de sustancia de magnesio es:

$$n(\text{Mg}) = \frac{3,3 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3}}{24,3} \text{ mol Mg} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ mol Mg}$$

Al hacer reaccionar el magnesio con ácido clorhídrico se obtuvieron 31,5 cm<sup>3</sup> de hidrógeno, quedando una altura de agua sobre la superficie libre de 14,5 cm, siendo la temperatura de 15 °C y la presión atmosférica de 762 mmHg. La presión de vapor de agua a 15 °C es de 12,8 mmHg.

La presión del hidrógeno es:

$$P(\text{H}_2) = 762 - 12,8 - \frac{145}{13,6} = 738,5 \text{ mmHg}$$

Con ello la cantidad de sustancia de hidrógeno es:

$$n(\text{H}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{738,5 \cdot 31,5 \cdot 10^{-3}}{760 \cdot 0,082 \cdot 288} \text{ mol H}_2 = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol H}_2$$

Por tanto, hemos demostrado que

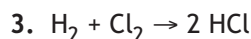
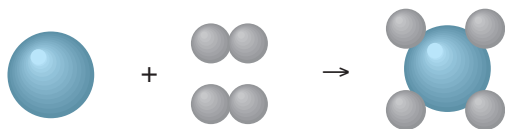
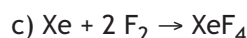
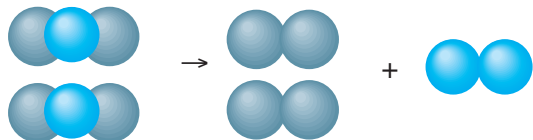
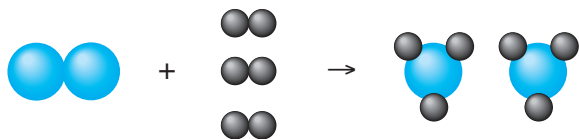
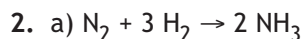
$$n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2)$$

de acuerdo con la ecuación química.

## 4.2. SOLUCIÓN A LOS EJERCICIOS FINALES

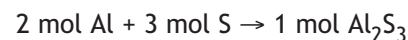
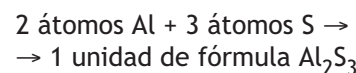
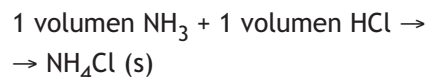
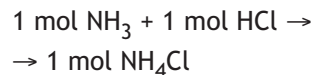
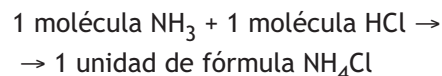
### Un modelo para explicar la reacción química

- 4 átomos de S reaccionan con 6 moléculas de  $O_2$  formando 4 moléculas de  $SO_3$  y quedan 2 átomos de S sin reaccionar, como indica el esquema D.



- $2 ZnS + 3 O_2 \rightarrow 2 ZnO + 2 SO_2$
  - $Ca_3P_2 + 6 H_2O \rightarrow 3 Ca(OH)_2 + 2 PH_3$
  - $2 P + 5 Cl_2 \rightarrow 2 PCl_5$
  - $3 H_2SO_4 + 2 Al(OH)_3 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + 6 H_2O$
  - $Pb + 2 AgNO_3 \rightarrow Pb(NO_3)_2 + 2 Ag$

- $2 C_2H_2 (g) + 5 O_2 (g) \rightarrow 4 CO_2 (g) + 2 H_2O (g)$   
 2 moléculas  $C_2H_2$  + 5 moléculas  $O_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow 4$  moléculas  $CO_2$  + 2 moléculas  $H_2O$   
  
 2 mol  $C_2H_2$  + 5 mol  $O_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow 4$  mol  $CO_2$  + 2 mol  $H_2O$   
  
 52 g  $C_2H_2$  + 160 g  $O_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow 176$  g  $CO_2$  + 36 g  $H_2O$   
  
 2 volúmenes  $C_2H_2$  + 5 volúmenes  $O_2 \rightarrow$   
 $\rightarrow 4$  volúmenes  $CO_2$  + 2 volúmenes  $H_2O$



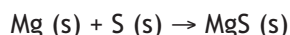
### Cálculos con ecuaciones químicas

- Un posible camino de solución es:

$$m(HCN) = \frac{25g \text{ Ca(CN)}_2}{1 \text{ mol Ca(CN)}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca(CN)}_2}{92g \text{ Ca(CN)}_2}$$

$$\frac{2 \text{ mol HCN}}{1 \text{ mol Ca(CN)}_2} \cdot \frac{27g \text{ HCN}}{1 \text{ mol HCN}} = 14,67 \text{ g (HCN)}$$

- La reacción que tiene lugar es:



La proporción estequiométrica, de acuerdo con la ecuación química es:

$$\frac{m(Mg)}{m(S)} = \frac{24,3}{32}$$

Por tanto:

$$m(Mg) = \frac{24,3}{32} \cdot m(S) = 0,759 \cdot m(S)$$

De conformidad con el dato del ejercicio:

$m(Mg) + m(S) = 100$  g, es decir:

$1,759 \cdot m(S) = 100$  g

de donde se obtiene:

$m(S) = 56,84$  g y  $m(Mg) = 43,16$  g.

- Teniendo presente la ley de Lavoisier:  
 $m(MgS) = 100$  g.

9. a) Un camino posible de solución es:

$$m(S) = 120 \text{ g KNO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol KNO}_3}{101,1 \text{ g KNO}_3} \cdot \frac{3 \text{ mol S}}{10 \text{ mol KNO}_3} \cdot \frac{32 \text{ g S}}{1 \text{ mol S}} = 11,39 \text{ g S}$$

$$m(C) = 120 \text{ g KNO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol KNO}_3}{101,1 \text{ g KNO}_3} \cdot \frac{8 \text{ mol C}}{10 \text{ mol KNO}_3} \cdot \frac{12 \text{ g C}}{1 \text{ mol C}} = 11,39 \text{ g C}$$

b) Por cada 10 mol KNO<sub>3</sub> se obtienen 11 mol de gases (6 mol CO<sub>2</sub> y 5 mol N<sub>2</sub>), por consiguiente:

$$n(\text{gases}) = 120 \text{ g KNO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol KNO}_3}{101,1 \text{ g KNO}_3} \cdot \frac{11 \text{ mol gases}}{10 \text{ mol KNO}_3} = 1,306 \text{ mol gases}$$

Teniendo en cuenta la ecuación de los gases ideales:

$$V(\text{gases}) = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1,306 \cdot 0,082 \cdot 373}{1,5} \text{ L} = 26,62 \text{ L}$$

10. El ejercicio puede solucionarse mediante el siguiente cálculo:

$$V(\text{CO}_2) = 20 \text{ g PAX} \cdot \frac{1 \text{ mol PAX}}{376 \text{ g PAX}} = \frac{24 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol PAX}} \cdot \frac{22,4 \text{ L CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 28,60 \text{ L CO}_2$$

11. La ecuación química del proceso es: C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> (ℓ) + 25/2 O<sub>2</sub> (g) → 8 CO<sub>2</sub> (g) + 9 H<sub>2</sub>O (g)

La cantidad de sustancia de oxígeno necesaria es:

$$n(\text{O}_2) = 60 \cdot 10^3 \text{ mL C}_8\text{H}_{18} \cdot \frac{0,70 \text{ g C}_8\text{H}_{18}}{\text{mL C}_8\text{H}_{18}} \cdot \frac{1 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}}{114 \text{ g C}_8\text{H}_{18}} \cdot \frac{12,5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}} = 4605,26 \text{ mol CO}_2$$

Utilizando la ecuación de los gases ideales:

$$V(\text{O}_2) = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{4605,26 \cdot 0,082 \cdot 298 \cdot 760}{765} \text{ L} = 1,118 \cdot 10^5 \text{ L}$$

A partir de este dato se obtiene el volumen de aire:

$$V(\text{aire}) = 1,118 \cdot 10^5 \text{ L O}_2 \cdot \frac{100 \text{ L aire}}{21 \text{ L O}_2} = 5,32 \cdot 10^5 \text{ L aire}$$

12. a) La masa de ZnO y de C se puede obtener mediante el siguiente cálculo:

$$m(\text{ZnO}) = 250 \text{ kg Zn} \cdot \frac{1 \text{ kmol Zn}}{65,37 \text{ kg Zn}} \cdot \frac{1 \text{ kmol ZnO}}{1 \text{ kmol Zn}} \cdot \frac{81,37 \text{ kg ZnO}}{1 \text{ kmol ZnO}} = 311,19 \text{ kg ZnO}$$

$$m(C) = 250 \text{ kg Zn} \cdot \frac{1 \text{ kmol Zn}}{65,37 \text{ kg Zn}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{1 \text{ kmol Zn}} \cdot \frac{12 \text{ kg C}}{1 \text{ kmol C}} = 45,89 \text{ kg C}$$

b) La cantidad de sustancia de CO es:

$$n(\text{CO}) = 250 \text{ kg Zn} \cdot \frac{1 \text{ kmol Zn}}{65,37 \text{ kg Zn}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}}{1 \text{ kmol Zn}} = 3,824 \text{ kmol CO}$$

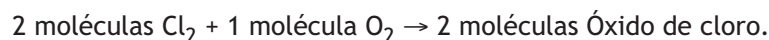
Utilizando la ecuación de los gases ideales:

$$V(\text{CO}) = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{3,824 \cdot 10^3 \cdot 0,082 \cdot 1200}{1} \text{ L} = 3,76 \cdot 10^5 \text{ L}$$

13. Según los datos del ejercicio: 50 cm<sup>3</sup> Cloro + 25 cm<sup>3</sup> Oxígeno → 50 cm<sup>3</sup> Óxido de cloro.

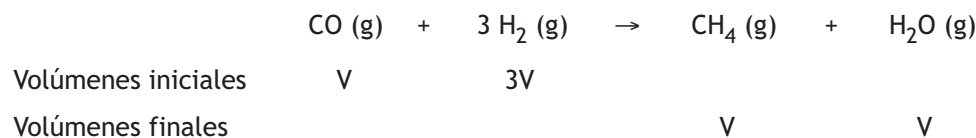
La mínima relación entre los volúmenes es: 2 V Cloro + 1 V Oxígeno → 2 V Óxido de cloro.

De acuerdo con la hipótesis de Avogadro:



Luego la fórmula molecular de este óxido de cloro es  $\text{Cl}_2\text{O}$ .

14. Para resolver el ejercicio hay que hacer una lectura de la ecuación química en volúmenes:



Como el volumen total final es 120 L, se cumple  $2V = 120 \text{ L}$ , es decir,  $V = 60 \text{ L}$ .

Por tanto,  $V(\text{CO}) = 60 \text{ L}$  y  $V(\text{H}_2) = 180 \text{ L}$ .

- 15 Podemos calcular la concentración del ácido nítrico mediante el siguiente cálculo:

$$[\text{HNO}_3] = \frac{n(\text{HNO}_3)}{V(\text{L})} = \frac{0,250 \text{ g CaCO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{100 \text{ g CaCO}_3} \cdot \frac{2 \text{ mol HNO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3}}{18,3 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 0,273 \text{ M}$$

16. Suponiendo que 0,08 M fuese acidez en exceso, el número de comprimidos a tomar se podría calcular así:

$$\begin{aligned} n(\text{comprimidos}) &= \frac{0,08 \text{ mol HCl}}{\cancel{\text{L}}} \cdot \cancel{3 \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ mol Al(OH)}_3}{3 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{78 \text{ g Al(OH)}_3}{1 \text{ mol Al(OH)}_3} \cdot \frac{1 \text{ comprimido}}{0,375 \text{ g Al(OH)}_3} = \\ &= 16,64 \text{ comprimidos} \end{aligned}$$

17. Teniendo en cuenta la estequiometría de la reacción:

$$\frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{3}$$

la cantidad de sustancia se relaciona con la molaridad mediante la siguiente expresión:

$$n = c \cdot V, \text{ por tanto: } \frac{V_a \cdot c_a}{V_b \cdot c_b} = \frac{1}{3}$$

De aquí se obtiene:

18. Se puede obtener la concentración de la disolución de cloruro de potasio mediante el siguiente cálculo:

$$[\text{KCl}] = \frac{n(\text{KCl})}{V(\text{L})} = \frac{0,1 \text{ mol AgNO}_3 \cdot \cancel{25,5 \cdot 10^{-3} \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ mol KCl}}{1 \text{ mol AgNO}_3}}{20 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 0,1275 \text{ mol / L}$$

### Factores que condicionan los cálculos estequiométricos

19. La cantidad de sustancia de sulfato de amonio e hidróxido de sodio es:

$$n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 13,2 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{132 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 0,1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{1 \text{ mol NaOH}}{\cancel{\text{L}}} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cancel{\text{ L}} = 0,05 \text{ mol NaOH}$$

Teniendo presente la ecuación química, 0,1 mol  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  necesita 0,2 mol NaOH. Como esta cantidad no la tenemos, el sulfato de amonio está en exceso y el *reactivo limitante* es el hidróxido de sodio; con éste hay que realizar el cálculo.

20. La cantidad de sustancia de carbonato de sodio, carbonato de calcio y dióxido de silicio es:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2000 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3} = 18,87 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3$$

$$n(\text{CaCO}_3) = 3000 \text{ g CaCO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{100 \text{ g CaCO}_3} = 30 \text{ mol CaCO}_3$$

$$n(\text{SiO}_2) = 7500 \text{ g SiO}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol SiO}_2}{60,09 \text{ g SiO}_2} = 124,81 \text{ mol SiO}_2$$

Según la ecuación química 18,87 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  requieren 18,87 mol  $\text{CaCO}_3$  y 113,22 mol  $\text{SiO}_2$ . Por tanto, el *reactivo limitante* es el carbonato de sodio y con él hay que realizar el cálculo:

$$m(\text{vidrio}) = 18,87 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol vidrio}}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} \cdot \frac{478,54 \text{ g vidrio}}{1 \text{ mol vidrio}} = 9030 \text{ g vidrio} = 9,03 \text{ kg vidrio}$$

22. Con la ecuación de los gases ideales obtenemos:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{745 \cdot 10}{760 \cdot 0,082 \cdot 288} \text{ mol CO}_2 = 0,415 \text{ mol CO}_2$$

A partir de la estequiometría de la reacción y con la riqueza se obtiene la masa del mineral:

$$m(\text{mineral}) = 0,415 \text{ mol CO}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol MgCO}_3}{1 \text{ mol CO}_2} \cdot \frac{84,31 \text{ g MgCO}_3}{1 \text{ mol MgCO}_3} \cdot \frac{100 \text{ g mineral}}{93,8 \text{ g MgCO}_3} = 37,30 \text{ g mineral}$$

23. La reacción química que tiene lugar es:  $\text{NaCl (aq)} + \text{AgNO}_3 \text{ (aq)} \rightarrow \text{AgCl (s)} + \text{NaNO}_3 \text{ (aq)}$ .

La masa de cloruro de sodio que estaba presente en 25 mL de disolución es:

$$m(\text{NaCl}) = 2,21 \text{ g AgCl} \cdot \frac{1 \text{ mol AgCl}}{143,32 \text{ g AgCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ mol AgCl}} \cdot \frac{58,45 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 0,90 \text{ g NaCl}$$

Como 0,90 g NaCl existían en 25 mL de disolución, en 100 mL habría 3,6 g NaCl.

La riqueza en cloruro de sodio en la muestra inicial es, por consiguiente:

$$\text{Riqueza en NaCl} = \frac{m(\text{NaCl})}{m \text{ total}} \cdot 100 = \frac{3,6}{4} \cdot 100 = 90 \%$$

24. La masa que teóricamente podría obtenerse de tetracloruro de carbono a partir de 24 t de metano es:

$$m(\text{CCl}_4) = 24 \text{ t CH}_4 \cdot \frac{153,8 \text{ t CCl}_4}{16 \text{ t CH}_4} = 230,7 \text{ t CCl}_4$$

Por lo tanto el rendimiento de la reacción es:

$$\text{Rendimiento de la reacción} = \frac{m(\text{CCl}_4) \text{ real}}{m(\text{CCl}_4) \text{ teórica}} \cdot 100 = \frac{164}{230,7} \cdot 100 = 71,09 \%$$

25. Con la ecuación de los gases ideales calculamos la cantidad de sustancia de cloro:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{755 \cdot 5000}{760 \cdot 0,082 \cdot 300} \text{ mol Cl}_2 = 201,91 \text{ mol Cl}_2$$

Teniendo presente la ecuación química y el rendimiento de la reacción, obtenemos la masa de hipoclorito de sodio:

$$m(\text{NaClO}) = 201,91 \text{ mol } \text{Cl}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{NaClO}}{1 \text{ mol } \text{Cl}_2} \cdot \frac{74,45 \text{ g } \text{NaClO}}{1 \text{ mol } \text{NaClO}} \cdot \frac{90 \text{ g } \text{NaClO reales}}{100 \text{ g } \text{NaClO}} = 13529,3 \text{ g } \text{NaClO reales}$$

26. 127.

28.  $x = 7$ .

29.  $\text{MgCl}_2$

30. 64,7 %;  $V = 0,16 \text{ mL}$

31. 40,63 %

32. 12,14 g

33.  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; 86,3 %.

### 4.3. SOLUCIÓN A LOS EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN

1.  $3 \text{ A} + 2 \text{ B}_3 \rightarrow 3 \text{ AB}_2$

2. a) Este apartado se puede resolver con el siguiente cálculo:

$$V(\text{CO}_2) = 500 \text{ g } \text{LiOH} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{LiOH}}{23,94 \text{ g } \text{LiOH}} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{CO}_2}{2 \text{ mol } \text{LiOH}} \cdot \frac{22,4 \text{ L } \text{CO}_2}{1 \text{ mol } \text{CO}_2} = 233,92 \text{ L } \text{CO}_2$$

b) Un cálculo semejante permite obtener la masa de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ :

$$m(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 500 \text{ g } \text{LiOH} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{LiOH}}{23,94 \text{ g } \text{LiOH}} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{Li}_2\text{CO}_3}{2 \text{ mol } \text{LiOH}} \cdot \frac{73,88 \text{ g } \text{Li}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol } \text{Li}_2\text{CO}_3} = 771,51 \text{ g } \text{Li}_2\text{CO}_3$$

3. 3. 46,25 %;  $V = 33 \text{ mL}$

4. Con la ecuación química, la riqueza de la muestra de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y el rendimiento de la transformación, calculamos la cantidad de sustancia de  $\text{N}_2\text{O}$ :

$$n(\text{N}_2\text{O}) = 225 \text{ g muestra} \cdot \frac{90 \text{ g } \text{NH}_4\text{NO}_3}{100 \text{ g muestra}} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{NH}_4\text{NO}_3}{80 \text{ g } \text{NH}_4\text{NO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{N}_2\text{O}}{1 \text{ mol } \text{NH}_4\text{NO}_3} \cdot \frac{80 \text{ mol } \text{N}_2\text{O reales}}{100 \text{ mol } \text{N}_2\text{O}} =$$

$$= 2,025 \text{ mol } \text{N}_2\text{O reales}$$

Utilizando la ecuación de los gases ideales obtenemos el volumen de  $\text{N}_2\text{O}$ :

$$V(\text{N}_2\text{O}) = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{2,025 \cdot 0,082 \cdot 290 \cdot 760}{765} \cdot \text{L } \text{N}_2\text{O} = 47,84 \text{ L } \text{N}_2\text{O}$$

5. a) La cantidad de sustancia de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  y KI es:

$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol y } n(\text{KI}) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

$2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  reaccionan con  $5 \cdot 10^{-3} \text{ mol } \text{KI}$ , de conformidad con la ecuación química. Como sólo disponemos de  $4 \cdot 10^{-3} \text{ mol } \text{KI}$  el  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  está en exceso y el *reactivo limitante* es el KI.

b) Utilizando el dato del KI, que es el *reactivo limitante*, calculamos la masa de  $\text{PbI}_2$ :

$$m(\text{PbI}_2) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol KI} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{PbI}_2}{2 \text{ mol KI}} \cdot \frac{460,99 \text{ g } \text{PbI}_2}{1 \text{ mol } \text{PbI}_2} = 0,922 \text{ g } \text{PbI}_2$$



## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

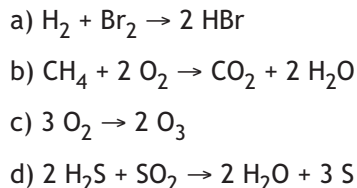
Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos **criterios de evaluación específicos** para el presente tema.

1. Interpretar una reacción química con el modelo elemental que nos ofrece la teoría cinético molecular.
2. Utilizar adecuadamente las siguientes leyes : ley de conservación de la masa, ley de las proporciones constantes, ley de las combinaciones volumétricas de los gases y ecuación general de los gases.
3. Obtener la reacción química de una transformación química y conocer la información contenida en ella.
4. Realizar cálculos con ecuaciones químicas, manejando correctamente el concepto de reactivo limitante, pureza de los reactivos y rendimiento de una transformación química.
5. Saber algunos ejemplos químicos relacionados con la industria y el medio ambiente.
6. Diseñar experimentos sencillos y elegir el material adecuado para comprobar diversos aspectos relacionados con la reacción química.

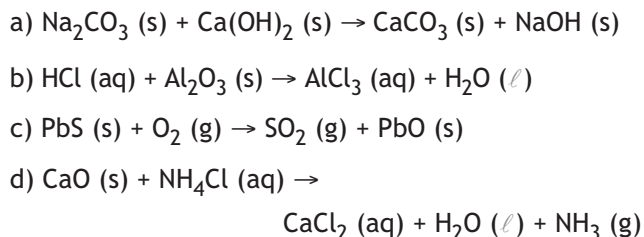
## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

Seguidamente se proponen algunas cuestiones y ejercicios que pueden servir para la evaluación final del tema.

1. Representa a nivel atómico - molecular las siguientes reacciones químicas:



2. Ajusta las siguientes reacciones químicas:

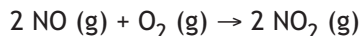


3. Observamos que al acercar una cerilla al etanol éste arde.

- a) Identifica los reactivos y los productos en esta reacción química.  
b) ¿Qué ocurre con la masa del alcohol?  
c) ¿Qué relación hay entre la masa de los reactivos y de los productos?  
d) ¿Cómo comprobarías lo anterior experimentalmente?

4. Indica la información contenida en la siguiente ecuación química, en cuanto a:

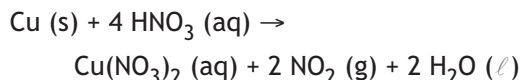
- a) moléculas,  
b) cantidad de sustancia,  
c) masa y  
d) volumen, medido en las mismas condiciones de presión y temperatura.



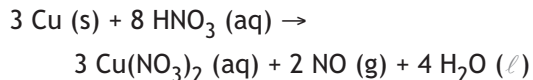
5. Define los siguientes conceptos:

- a) Reactivo limitante.  
b) Pureza de un reactivo.  
c) Rendimiento de una reacción.

6. El cobre reacciona con el ácido nítrico concentrado según la siguiente ecuación química:



Si el ácido nítrico no está tan concentrado la reacción que tiene lugar es:

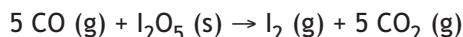


En un experimento se hizo reaccionar 10 g de cobre con suficiente ácido nítrico.

a) ¿Dependerá la masa de nitrato de cobre obtenida de la concentración del ácido nítrico? Calcula dicha masa.

b) ¿Dependerá la masa de ácido nítrico utilizada para la reacción de su concentración?

7. El óxido de yodo (V) se utiliza como reactivo para la determinación de CO de acuerdo con la siguiente ecuación química:

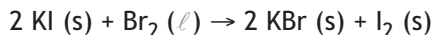


- a) Haz una representación molecular de la reacción.  
b) Determina el volumen de monóxido de carbono, medio en condiciones normales, que reaccionó con suficiente óxido de yodo (V), si se obtuvieron m (g) de yodo.

8. Comenta el experimento que realizarías para:

- a) Comprobar que al respirar producimos dióxido de carbono y agua.  
b) Determinar si una reacción química es endoenergética o exoenergética.

9. El yoduro de potasio reacciona con el bromo de acuerdo con la siguiente ecuación química:



Se hicieron reaccionar 20 g de KI con suficiente bromo. Calcula la masa de yodo obtenida, considerando:

- a) Un rendimiento del 100 %.  
b) Un rendimiento del 60 %.

10. El método de Ostwald sigue siendo el método industrial más empleado para la obtención del ácido nítrico. Este proceso parte del amoníaco y mediante una serie de reacciones se llega al ácido nítrico.

A partir de 25 toneladas de amoníaco se obtuvo, por el método anterior, 50 t de ácido nítrico. Calcula el rendimiento global del proceso.

11. a) Los metales activos reaccionan con los ácidos, desprendiendo hidrógeno. Calcula el volumen de una disolución de ácido clorhídrico, del 24 % de riqueza en masa y densidad 1,12 g/mL, necesario para reaccionar con 5 g de aluminio.

- b) Determina el volumen de hidrógeno obtenido por la reacción anterior, medido a 27 °C y 745 mmHg.
12. Para hallar la concentración de una disolución de ácido fosfórico se tomaron 20 mL de ésta y se valoraron con 25 mL de una disolución de hidróxido de potasio  $c = 0,15 \text{ mol/L}$ .
- a) Indica el procedimiento para llevar a cabo la mencionada valoración.
- b) Calcula la concentración de la disolución de ácido fosfórico.
13. El estaño, empleado en grandes cantidades para producir aleaciones, se obtiene mediante el siguiente proceso:
- $$\text{SnO}_2 (\text{s}) + 2 \text{C} (\text{s}) \rightarrow \text{Sn} (\text{s}) + 2 \text{CO} (\text{g})$$
- Halla la masa de estaño que se podrá obtener al mezclar 4 kg de una muestra de dióxido de estaño, del 70 % de riqueza, con 1 kg de carbono.
14. 5 g de una muestra impura de hidróxido de potasio se diluyó hasta formar 200 mL de disolución. Si 50 mL de la disolución anterior se valoraron exactamente con 40 mL de ácido sulfúrico 0,25 M, calcula la riqueza en hidróxido de potasio de la muestra inicial.
15. 1,000 g de una mezcla de cloruro de sodio y de bromuro de potasio dan lugar, por precipitación con  $\text{AgNO}_3$ , a 1,927 g de una mezcla de cloruro de plata y bromuro de plata.
- a) Escribe las reacciones correspondientes.
- b) Halla la composición porcentual de la mezcla.
16. Al arder amoníaco, en determinadas condiciones, se forma agua y nitrógeno, mediante el proceso representado por:
- $$4 \text{NH}_3 (\text{g}) + 3 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{N}_2 (\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$$
- Calcula la composición de la mezcla gaseosa, medida a la misma presión y temperatura, que resulta al mezclar 32 cm<sup>3</sup> de amoníaco con 28 cm<sup>3</sup> de oxígeno.
17. 750 cm<sup>3</sup> de una mezcla inicial de propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) y oxígeno se hicieron reaccionar quedando al final 450 cm<sup>3</sup> de dióxido de carbono y oxígeno en exceso. La ecuación química del proceso es:
- $$\text{C}_3\text{H}_8 (\text{g}) + 5 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$$
- Calcula la composición de la mezcla inicial.
18. Calcula la cantidad de ácido sulfúrico que se puede obtener a partir de 2 toneladas de azufre impuro del 75 % de riqueza, sabiendo que el rendimiento global de todas las reacciones del proceso es del 60 %.
19. Comenta brevemente:
- a) El método industrial de obtención del ácido sulfúrico.
- b) Cómo evitar la contaminación por nitratos.

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros y artículos

BARBERÁ, O., 1990. Ajuste de ecuaciones químicas: ¿Por qué usar reglas arbitrarias y hechos ficticios?, *Enseñanza de las Ciencias*, **8**, pp. 85-88.

BUTLER, I.S. y GROSER, A.E., 1979. *Problemas de Química*. Editorial Reverté: Barcelona.

CHASTRETTE, M. Y FRANCO, M., 1991. La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**, pp. 243-247.

GRUPO ÁLKALI, 1990. Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular, *Enseñanza de las Ciencias*, **8**, pp. 111-118.

GUERRA, J.F. et al., 1996. *Cuestiones curiosas de Química*. Alianza Editorial: Madrid.

KEMPA, R.F., 1986. Resolución de problemas de química y estructura cognoscitiva, *Enseñanza de las Ciencias*, **4**, pp. 99-111.

LANDAU, L. y LASTRES, L., 1996. Cambios químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro?, *Enseñanza de las Ciencias*, **14**, pp. 171-174.

MAYER, L. y TEGEDER, F., 1975. *Métodos de la Industria Química*. Editorial Reverté: Barcelona.

NUFFIEL FOUNDATION, 1971. *Química*. Editorial Reverté: Barcelona.

WILLIS C.J., 1991. *Resolución de problemas de Química General*. Editorial Reverté: Barcelona.

### Videos

#### **Explorando la materia: cambio químico. Ancora. (13')**

Explica cómo se forman y se descomponen las moléculas durante la reacción química.

#### **Velocidad de reacción y equilibrio. Ancora. (20')**

Se estudian, con la teoría de colisiones, los diversos factores que influyen en la velocidad de una reacción química, así como el equilibrio químico.

#### **¿Cómo reaccionan las moléculas? Open University. (25')**

Se muestra diferentes métodos con los que obtener información sobre lo que ocurre durante una reacción química a nivel molecular.

#### **La síntesis del amoníaco. Open University. (25')**

Se analiza la catálisis química en el proceso industrial de obtención del amoníaco.

#### **Química 3. Ácido sulfúrico. Superfosfatos. El cemento. San Pablo Vídeo. (23')**

De este vídeo nos interesa sobre todo el proceso de obtención del ácido sulfúrico. Se puede utilizar la producción de superfosfatos y de cemento como ejemplo de otros procesos industriales.

#### **La importancia de la Química. ICI. (29')**

Destaca la importancia de la Química en la vida diaria. Observaremos diferentes aspectos de la utilización de la Química: industria de colorantes, conservación de obras de arte, conservación del medio ambiente, apoyo a otras ciencias, como la Medicina o la Biología.

# CINÉTICA QUÍMICA

# 9

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

Los alumnos ya tienen criterios para establecer si un determinado proceso es o no químico y además deben saber interpretar una ecuación química para obtener información de los cambios materiales que en la misma tienen lugar. Para entender por qué se producen las reacciones químicas necesitamos estudiar los aspectos relacionados con la velocidad con la que se producen. Por ello, en la presentación del tema se señalan una serie de aspectos problemáticos acerca de la reacción química que todavía no se habían planteado en

temas anteriores. Haremos hincapié en la definición y cálculo de la velocidad de reacción para luego estudiar los factores que determinan la velocidad de una reacción química, que serán posteriormente explicados mediante la teoría de las colisiones. Los aspectos relacionados con los mecanismos de reacción se dejan para un nivel más avanzado, si bien se menciona brevemente este aspecto para el caso de la destrucción del ozono estratosférico en la lectura final del tema.

## 2. CONTENIDOS

### 1. *Velocidad de reacción*

### 2. *Factores que afectan a la velocidad de reacción*

- Naturaleza de los reactivos
- Concentración de los reactivos
- Grado de subdivisión de los reactivos
- Temperatura

- Catalizadores

### 3. *Un modelo de reacción química. Teoría de las colisiones*

- Explicación de los factores que afectan a la velocidad de reacción

### 4. *Orden de reacción, mecanismo de reacción y molecularidad.*

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades a desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Explicar el término cinética química.</div> <div>2. Definir el concepto velocidad de reacción.</div> <div>3. Enumerar los cinco factores principales que afectan a la velocidad de reacción.</div> <div>4. Explicar el significado del término energía de activación.</div> <div>5. Dar ejemplos de biocatalizadores, indicando su función.</div> <div>6. Diferenciar la catálisis homogénea de la catálisis heterogénea.</div> <div>7. Conocer de forma general las ideas básicas en que se basa la teoría de las colisiones.</div>	<div>1. Proporcionar ejemplos específicos que ilustren la importancia del estudio de la cinética química en la industria y en los seres vivos.</div> <div>2. Discutir y proporcionar ejemplos acerca de cada uno de los factores que afectan a la velocidad de reacción.</div> <div>3. Dibujar sendos diagramas energéticos para reacciones endoenergéticas y exoenergéticas.</div> <div>4. Comparar cada uno de los diagramas del punto anterior con los que resultan cuando se encuentra presente un catalizador.</div> <div>5. Escribir sendas expresiones para la velocidad de reacción de un determinado proceso en función de la variación de las concentraciones de las sustancias que participan en el mismo.</div> <div>6. Calcular velocidades de reacción medias.</div> <div>7. Explicar, según la teoría de las colisiones, cómo afectan a la velocidad de reacción cada uno de los siguientes factores: a) naturaleza de los reactivos, su grado de subdivisión y su concentración; b) la temperatura; c) la presencia de un catalizador.</div> <div>8. Escribir la ecuación de velocidad , conocido el mecanismo de reacción.</div>	<div>1. Tomar conciencia del interés que tiene el estudio y control de la velocidad con la que se produce una determinada reacción química.</div> <div>2. Señalar la importancia de los catalizadores en la vida diaria, proporcionando ejemplos de procesos importantes desde los puntos de vista industrial, bioquímico y medio-ambiental.</div>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

Los alumnos ya tienen criterios para establecer si un determinado proceso es o no químico y además deben saber interpretar una ecuación química para obtener información de los cambios materiales que en la misma tienen lugar. En la presentación del tema se señalan una serie de aspectos problemáticos acerca de la reacción química que todavía no se habían planteado en temas anteriores. Haremos hincapié en la definición y cálculo de la velocidad de reacción para luego estudiar los factores que determinan la velocidad de una reacción química, que serán posteriormente explicados mediante la teoría de las colisiones. Los aspectos relacionados con los mecanismos de reacción se dejan para un nivel más avanzado, si bien se menciona brevemente este aspecto para el caso de la destrucción del ozono estratosférico en la lectura final del tema.

#### 4.1.1. Velocidad de reacción

Este apartado se introduce mediante la lectura '**Velocidad de reacción y vida diaria**'. En la misma se proporcionan diferentes ejemplos que permiten reconocer la importancia del estudio de los aspectos relacionados con la cinética química.

Una vez se ha proporcionado una ecuación matemática para su cálculo se desarrolla el **ejemplo 1**. En el mismo se pone de manifiesto que la velocidad de reacción se puede calcular tanto a partir de los cambios de concentración de uno de los productos como de los reactivos. Además, según se desprende del análisis de la figuras 1.4 y 1.5, la velocidad media de reacción disminuye con el tiempo.

En el **ejemplo 2** se presenta una nueva reacción química con la diferencia de que ahora la estequiometría no es 1:1 como ocurría en el ejemplo 1. En cualquier caso, una vez definida la velocidad de una determinada reacción química tomando como referencia una de las sustancias participantes, las expresiones matemáticas correspondientes de velocidad de reacción en función de las otras especies químicas participantes, deben tener en cuenta la estequiometría de la reacción. Así, en la **A-1** podemos escribir que la velocidad a la que reacciona el hidrógeno es el triple de la que lo hace el nitrógeno:

$$v_{\text{reacc.}}(\text{H}_2) = 3 v_{\text{reacc.}}(\text{N}_2)$$

De forma análoga, podemos escribir que la velocidad con la que se forma el amoníaco es el doble de la velocidad con la que reacciona el nitrógeno:

$$v_{\text{form.}}(\text{NH}_3) = 2 v_{\text{reacc.}}(\text{N}_2)$$

Por todo ello, podemos escribir:

$$v_{\text{reacción}} = -\frac{\Delta[\text{N}_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t}$$

Si  $v_{\text{form.}}(\text{NH}_3) = 0,0015 \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ , de forma inmediata podemos calcular las velocidades medias de reacción del nitrógeno y del hidrógeno:

$$v_{\text{reacc.}}(\text{N}_2) = \frac{1}{2} v_{\text{form.}}(\text{NH}_3) = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

$$v_{\text{reacc.}}(\text{H}_2) = 3 v_{\text{reacc.}}(\text{N}_2) = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

#### 4.1.2. Factores que afectan a la velocidad de reacción

Los alumnos deben estar familiarizados con la TCM (**A-2**). Por ello, se espera que emitan como hipótesis que la velocidad con la que se rompen los enlaces de los reactivos dependa de la mayor o menor frecuencia de choques efectivos pueda estar relacionada con la temperatura y la concentración; también se espera que nombren los catalizadores por el conocimiento previo (producido en cursos previos y en el ámbito cotidiano) de su existencia y acción. En este apartado se estudian los cinco factores que determinan principalmente la velocidad de las reacciones químicas. Este estudio es esencialmente empírico y descriptivo, por lo que en el mismo se han intentado proporcionar ejemplos de reacciones químicas que puedan realizarse con facilidad en el laboratorio o que tengan interés desde el punto de vista tecnológico-industrial o biomédico.

La contestación de la actividad **A-3** supone establecer consideraciones análogas a las realizadas cuando se comparan las velocidades de reacción de precipitación del cloruro de plata y la oxidación del amoníaco, respectivamente. Esta última reacción puede realizarse en el laboratorio si se suspende una espiral de hilo de cobre (que previamente ha sido calentado a la llama) sobre una disolución acuosa, concentrada y caliente, de amoníaco. El cobre actúa como catalizador, oxidándose el amoníaco en su superficie. La reacción es tan exotérmica que puede fundir el hilo de cobre, de forma que al caer sobre la disolución acuosa, ésta se vuelve de color azul debido a la formación del ion  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ .

Las actividades **A-4** y **A-5** suponen nuevos ejemplos de variación de la velocidad de reacción con la concentración. En la **A-4**, para cantidades idénticas de reactivos, cuanto menor sea el volumen del reactor mayor será su concentración, lo cual está asociado a una velocidad de reacción mayor. En la **A-5**, los efectos señalados se deben a una disminución de la concentración de oxígeno.

Por su parte, dos de los ejemplos que se mencionan para estudiar el efecto del grado de subdivisión de los reactivos: reacción del ácido clorhídrico con el mármol y reacción del cinc con el ácido clorhídrico, se pueden realizar fácilmente en el laboratorio como pequeños experimentos de cátedra. Además, esta última reacción puede también utilizarse para mostrar el efec-



to de la temperatura, adoptando las debidas precauciones con el manejo del ácido clorhídrico caliente. Finalmente, el efecto de los catalizadores puede mostrarse mediante la reacción que se describe en la figura 2.3. En cualquier caso, si se dispone de un retroproyector, todas las reacciones anteriores pueden visualizarse y comentarse utilizando pequeñas cantidades de reactivos que se ponen en contacto en el interior de sendas placas Petri. Son actividades prácticas muy recomendables por la facilidad con la que se producen y la sencillez con la que se visualizan, permitiéndose repetir con relativa rapidez, si es necesario, alguna de las reacciones para establecer las comparaciones pertinentes y focalizar los aspectos más relevantes de las mismas.

La lectura ‘Importancia de los catalizadores’ presenta un rápido repaso a reacciones importantes, tanto desde el punto de vista industrial como bioquímico, todas ellas realizadas mediante la participación de un catalizador específico. En la actividad A-6 se propone una pequeña búsqueda bibliográfica. Entre la abundante bibliografía que existe al respecto, el profesorado interesado puede consultar, entre otros, dos libros: Ball (1994) y Fernández (1994). Para experimentos con zeolitas puede consultarse el artículo de Coker et al. (1999).

Finalmente, se propone a los alumnos la realización del *experimento-1 ‘Estudiando la influencia de la concentración y de la temperatura en la velocidad de reacción’*. Los aspectos teóricos estudiados previamente les permitirán formular las correspondientes hipótesis y comprobarlas de una forma sencilla.

La actividad A-7 pretende recapitular todos los aspectos estudiados en este apartado mediante su aplicación práctica a una reacción particular. Puede ser un buen momento para realizar esta reacción según se ha indicado anteriormente utilizando hilo de cobre como catalizador.

#### 4.1.3. Un modelo de reacción química. Teoría de las colisiones

Una vez estudiados los factores de los que depende la velocidad de reacción, necesitamos un modelo que explique los cambios que se producen en cada caso. Por ello, en un primer apartado se introduce la teoría de las colisiones. Dos aspectos clave necesitamos para la comprensión de esta teoría: a) el análisis del significado de las curvas de distribución de Maxwell-Boltzman y b) el concepto de energía de activación, que además se deben relacionar entre sí (Fig. 3.4, 3.6 y 3.7-3.8).

El dibujo de los diagramas energéticos análogos a los de la figura 3.3 permite ayudar a explicar la cinética de reacciones tanto exoenergéticas como endoenergéticas. En la actividad A-8 la reacción del primer apartado se corresponde con la figura 3.3(a) y la de segundo apartado con la figura 3.3(b).

Los alumnos quizás puedan responder la actividad A-9 sin mayor dificultad a la hora de explicar cómo la naturaleza de los reactivos, la concentración y el grado de subdivisión afec-

tan a la velocidad de reacción. En el caso de la temperatura la respuesta será parcial (las moléculas se mueven más rápido cuanto mayor es la temperatura, lo cual genera un mayor número de choques efectivos), por lo que será necesario explicar con detalle la figura 3.6 que supone el cambio en la distribución energética de las moléculas; ello permite explicar aumentos importantes en la velocidad de reacción mediante la variación de sólo unos grados de temperatura. Finalmente, el análisis conjunto de las figuras 3.7 y 3.8 proporciona una explicación acerca del efecto de los catalizadores sobre la velocidad de reacción.

Para finalizar se propone una actividad de recapitulación (A-10) en la que los alumnos deben resumir para cada uno de los cinco factores estudiados sus efectos sobre la velocidad de reacción y la explicación de esos cambios mediante la teoría de las colisiones. Es conveniente acostumbrar a los alumnos a realizar este tipo de actividades por su enorme valor formativo.

#### 4.1.4. Orden de reacción, mecanismos de reacción y molecularidad

Los alumnos suelen establecer asociaciones entre la ecuación estequiométrica que representa una determinada reacción química y su orden de reacción y, en consecuencia, su ecuación de velocidad. Las actividades A-11 y A-12 tratan de poner de evaluar que el alumno sabe que la ecuación de velocidad se determina experimentalmente y que la etapa más lenta de un mecanismo de reacción es la que determina la velocidad de reacción global.

El tema finaliza con una lectura (El ozono) en la que se ponen de manifiesto los efectos que produce el ozono sobre los seres vivos y los materiales, el mecanismo de destrucción del ozono estratosférico, las investigaciones realizadas a este respecto, los efectos que produce en la vida de los animales y de las plantas y las medidas iniciales tomadas para evitarlos.

### 4.2. SOLUCIÓN A LOS EJERCICIOS FINALES

- 1) a)  $v_1 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ;  $v_2 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ;  
c) A medida que disminuye la concentración de  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$  la velocidad de reacción disminuye.

$$2) \quad v = -\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = 2 \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t}$$

- 4) Suponiendo que se lleguen ambos casos a la temperatura necesaria para la coagulación de las proteínas del huevo, debemos realizar las siguientes consideraciones: 1) la temperatura a la que hierve el agua en la cima de la montaña es inferior que la correspondiente al nivel del mar. Éste es un factor fundamental que

favorece la cocción del huevo al nivel del mar; 2) una segunda consideración de menor importancia se debe a la menor concentración del oxígeno a grandes alturas, lo cual hace que la combustión sea más lenta y que ésta no sea completa (por ello, la energía transferida es menor en este caso).

- 5) Catálisis heterogénea: las tres primeras; catálisis homogénea: reacción de esterificación.
- 6) a)  $n^\circ$  1; b)  $n^\circ$  2; c)  $n^\circ$  1.
- 8)  $E_a = 158 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta E = -26 \text{ kJ/mol}$ .
- 9)  $E_a = 70 \text{ kJ}$ .
- 11) Todas falsas.
- 12) a) F; b) F; c) F; d) F; e) F; f) V.
- 14)  $v = k [\text{H}_2][\text{Br}_2]^{1/2}$ .
- 15) a)  $v = -2 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ; b)  $v = k [\text{NO}_2]^2$

16)  $v = k [\text{NO}_2]^2$

17) a)  $\text{NO}_2\text{Cl} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{Cl}$ ; b)  $v = k [\text{NO}_2\text{Cl}]$

### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

- 1) a) i)  $v = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ;  
ii)  $4 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ;  
iii)  $8 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ;  
b)  $v_{\text{reacción}} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ .
- 4) a)  $E_a = 173 \text{ kJ}$ ; b)  $E_a = 10 \text{ kJ}$ .
- 5) 1) aumento de temperatura; 2) presencia de un catalizador; 3) aumento de la concentración de los reactivos (por ejemplo, disminución del volumen de reacción o bien aumento de la cantidad de sustancia de nitrógeno y/o de hidrógeno, a volumen constante).
- 6)  $v = k[\text{A}_2]^2[\text{B}_2]$

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- Conoce el significado de conceptos y términos fundamentales de este tema: temperatura, entalpía de reacción, velocidad de reacción, catalizador, energía de activación.
- Sabe calcular velocidades de reacción medias a partir de datos experimentales.
- Conoce los factores principales de los que depende la energía de activación.
- Sabe explicar, con la ayuda de la teoría de las colisiones, cómo afectan a la velocidad de reacción: la naturaleza de los reactivos, su grado de subdivisión y su concentración, así como la temperatura y la energía de activación.
- Sabe escribir una determinada ecuación de velocidad, conocido el mecanismo de reacción.

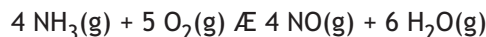
### PROPUESTA DE EJERCICIOS Y CUESTIONES DE EVALUACIÓN

- 1) En el estudio de la descomposición del agua oxigenada, de acuerdo con la siguiente ecuación:  $2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$  se obtuvieron los siguientes datos:

Tiempo/s	$[\text{H}_2\text{O}_2]/\text{mol L}^{-1}$
0	2,32
400	1,72
800	1,30
1200	0,98
1600	0,73

- a) Calcula la velocidad de descomposición del agua oxigenada a intervalos de tiempo de 400 s. ¿Qué tendencia se observa? ¿Puedes dar una explicación?
- b) Calcula la velocidad de formación del oxígeno para cada uno de los intervalos de tiempo anteriores. ¿Qué tendencia se observa? ¿Puedes dar una explicación?
- c) Si definimos la velocidad de reacción como,  $v = \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t}$  calcúlala para cada uno de los intervalos de tiempo definidos anteriormente. ¿Qué relación guardan estos valores los de las correspondientes velocidades calculadas en los dos apartados anteriores?

- 2) Dada la reacción química representada por la siguiente ecuación:

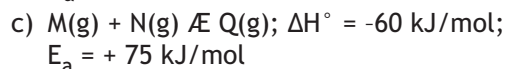
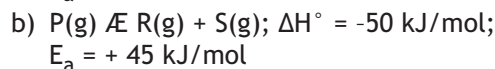
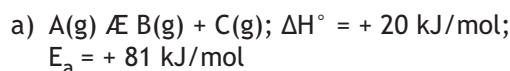


- a) Si en un instante dado la concentración de amoníaco es de  $10^{-3} \text{ mol/L}$  y 10 minutos más tarde es de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ , ¿cuál es la velocidad de reacción del oxígeno y la velocidad de formación del agua en ese intervalo de tiempo?
- b) Si la velocidad media de reacción la expresamos como  $v = -\frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t}$ , escribe sendas expresiones correspondientes a la velocidad media de reacción en función de las concentraciones del resto de sustancias participantes en la reacción.

- 3) Explica por qué:

- a) La velocidad de una reacción química puede aumentar considerablemente con un pequeño incremento de temperatura, mientras que la frecuencia de las colisiones sólo lo haga en una pequeña cuantía.
- b) Manteniendo constante la temperatura, la velocidad de reacción de una reacción química se ve considerablemente aumentada por el empleo de un catalizador específico.
- c) La presencia de un catalizador no cambia la entalpía de una reacción química.

- 4) Para los procesos representados mediante las siguientes ecuaciones químicas:



- i) Señala si alguna de estas tres reacciones se puede mantener por sí misma una vez iniciada.
- ii) Indica, a igualdad de otros factores, cuál de ellas es más lenta.
- iii) Calcula en cada caso la energía de activación de la correspondiente reacción inversa.

(Resuelve cada uno de los apartados mediante el dibujo de los correspondientes diagramas entálpicos).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### Artículos

- BANERJEE, A.C. 1991. Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, Vol. 13, No. 3, pp. 355-362.
- BOLETÍN TERAPÉUTICO VALENCIANO.
- CACHAPUZ, A.F.C. y MASKILL, R. 1989. Using word association in formative classroom tests: following the learning of Le Chatelier's principle. *International Journal of Science Education*, Vol. 11, No. 2, pp. 235-246.
- CACHAPUZ, A.F.C. y MASKILL, R. 1987. Detecting changes with learning in the organization of knowledge: use of word association tests to follow the learning of collision theory. *International Journal of Science Education*, Vol. 9, No. 4, pp. 491-504.
- CAMACHO, M. y GOOD, R. 1989. Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 26, No. 3, pp. 251-272.
- COKER, E.N. y DAVIS, P.J. 1999. Experiments with zeolites at the secondary-school level: experience from the Netherlands. *Journal of Chemical Education*, Vol. 76, No. 10, pp. 1417-1419.
- GARNET, P.J. et al. 1995. Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching. and learning, *Studies in Science Education*, Vol. 25, 69-95.
- GRIFFITHS, A.K. 1994. A critical analysis and synthesis of research on students' chemistry misconceptions. En SCHMIDT (Ed) *Proceeding of the 1994 International Symposium 'Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics'*. ICASE: University of Dortmund.
- HACKING, M.W. y GARNETT, P.J. 1985. Chemical equilibrium: learning difficulties and teaching strategies. *The Australian Science Teachers Journal*, Vol. 31, No. 4, pp. 8-13.
- HACKING, M.W. y GARNETT, P.J. 1985. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, Vol. 7, No. 2, pp. 205-214.
- JUSTI, R. 2002. Teaching and learning chemical kinetics. En GILBERT, J.K. (Ed.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 293-315. Kluwer: Dordrecht.

*Towards Research-based Practice*, pp. 293-315. Kluwer: Dordrecht.

- NÍAZ, M. 1995a. Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium, *International Journal of Science Education*, Vol. 17, No. 3, pp. 343-355.
- NÍAZ, M. 1995b. Chemical equilibrium and Newton's Third Law of Motion: Ontogeny/Phylogeny Revisited, *Interchange*, Vol. 26, No. 1, pp. 19-32.
- VAN DRIEL, J.H.; de VOS, W. y VERDONK, A.H. 1990. Why do some molecules react. while others don't? En LIJNSE, P.L.; LICHT, P.; de WOS, W. y WAARLO, A.J. (Ed.) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*. Centre for Science and Mathematics Education: University of Utrecht, pp. 151-162.

### Libros

- BALL, P. 1994. *Designing the Molecular World*. Princeton University Press: Princeton.
- BRILLAS, E.; BASTIDA, R.M.; CENTELLAS, F. y DOMÈNECH, X. 1992. *Fonaments de termodinàmica, electroquímica i cinètica*. Barcanova: Barcelona.
- CLIMENT, M D. et al. 1992. *Conocer la química del medio ambiente. La atmósfera*. SPUPV: Valencia.
- FERNÁNDEZ, R. 1994. *La química en la sociedad*. UNAM: México.
- GILLESPIE, R.J., HUMPHREYS, D.A., BAIRD, N.C. y ROBINSON, E.A. 1989. *Chemistry*. Allyn & Bacon: Massachusetts.
- GILLESPIE, R.J., EATON, D.R.; HUMPHREYS, D.A. y ROBINSON, E.A. 1994. *Atoms, molecules and reactions*. Prentice Hall: New Jersey.
- PETRUCCI, R.H. y HARWOOD, W.S. 1998. *Química general*. Prentice Hall: Madrid.
- PIMENTEL, G.C. 1995. *Oportunidades de la química. Presente y futuro*. McGraw-Hill: México.
- PIMENTEL, G.C. y SPRATLEY, R.D. 1978. *Química razonada*. Reverté: Barcelona.

### Videos

- UDC Didaskalia. 1983. *Velocidad de reacción. Influencia sobre la velocidad de reacción*.

# LA ESTRUCTURA ATÓMICA Y EL SISTEMA PERIÓDICO

# 10

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

Este tema agrupa los contenidos en tres apartados o bloques claramente diferenciados. En el primer bloque se describen los **modelos precuánticos**, incluyendo el modelo de Bohr, en el segundo nos centramos en introducir el **modelo cuántico**, fijando nuestra atención en el establecimiento de las configuraciones electrónicas de los elementos químicos, y por último exponemos la génesis y justificación de la **ley periódica**.

La descripción de los modelos precuánticos se ha realizado desde una perspectiva histórica con el objetivo de ofrecer una visión más real del desarrollo de la ciencia, en la cual los conocimientos se establecen según las teorías vigentes, hasta que hechos o dificultades insuperables dan lugar al cambio y reformulación de la teorías (carácter dinámico de la ciencia). Por otra parte, hemos intentado recalcar que los modelos son interpretaciones propuestas para explicar determinados hechos conocidos acerca del comportamiento atómico, y, por lo tanto, la validez de los mismos la determina por la consistencia de sus explicaciones. Los modelos no deben tomarse como realidades físicas.

Con todo ello pretendemos ofrecer una visión estructurada de los distintos modelos favoreciendo la asimilación adecuada de los mismos, evidenciando preconcepciones e ideas previas del alumnado, a fin de evaluarlas y proponer ideas más acorde a las científicas.

En la exposición del **modelo cuántico** hemos tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Para explicar el comportamiento del electrón en el átomo debemos considerar su **carácter dual** (onda-partícula).
- El **concepto de orbital** como el de una función matemática caracterizada por un conjunto de parámetros (números cuánticos) que describe el comportamiento del electrón en el átomo.
- El orbital permite obtener información de la **energía asociada al electrón en el átomo** y acota la **región del espacio que rodea al núcleo donde es más probable que se encuentre**.

Una vez conocido el modelo cuántico el alumnado debe concebir el átomo como un sistema formado por dos partes: el **núcleo** (parte central constituida por protones y neutrones) y un enorme espacio prácticamente vacío que rodea al núcleo y donde es imposible localizar la posición exacta del electrón debido a su propia naturaleza, pero podemos determinar las regiones del espacio que rodean al núcleo donde es más probable localizarlo.

El desarrollo del bloque destinado a establecer la **ley periódica** y su representación se ha estructurado de la siguiente forma:

- **Planteamiento del problema:** Deducir una ley de clasificación de los elementos químicos que permita sistematizar y relacionar el estudio de estos elementos y las sustancias que forman.

- *Precedentes de la ley periódica*: señalar los primeros intentos de clasificación indicando su fundamento, las ideas aportadas y sus dificultades.
- *Fundamento de la hipótesis de Mendeleiev*: Su hipótesis se basa en el concepto de elemento químico, caracterizado por su masa atómica y la agrupación de elementos químicos en grupos con comportamiento químico semejante.
- *Establecimiento de la ley periódica de Mendeleiev* como fundamento del sistema de clasificación de los distintos elementos químicos.
- *La visualización de la ley periódica* mediante la elaboración de una tabla estructurada en periodos y familias

(agrupación de elementos con comportamiento químico semejante).

- *La confirmación de la ley periódica* fundamentada en la rectificación y cuestionamiento de masas atómicas erróneas y la predicción exitosa de elementos químicos aún no descubiertos.
- *La plasmación de la ley periódica actual* y la justificación de la estructura del sistema periódico basándonos en la configuración electrónica.
- *La definición y estudio* de la variación de algunas **propiedades periódicas**.

## 2. CONTENIDOS

### 1. *El átomo es divisible: caracterización de las partículas constituyentes del átomo*

- El descubrimiento del electrón: una partícula procedente del átomo.
- Los átomos poseen carga positiva. Los rayos canales y el protón.

### 2. *En busca de modelos interpretativos de la estructura del átomo: modelos de Thomson y Rutherford*

- El primer modelo: modelo de Kelvin-Thomson.
- Un experimento diseñado para confirmar el modelo de Kelvin-Thomson: el experimento de Rutherford.
- El modelo atómico de Rutherford.

### 3. *El concepto de elemento químico y de isótopos*

- Caracterización de los átomos: número atómico (Z) y másico (A).
- Concepto de isótopo.
- Determinación de la masa atómica de los elementos químicos.

### 4. *Los espectros atómicos y su importancia.*

- Concepto de espectro.
- Tipos de espectros: continuos y discontinuos; de emisión y de absorción.
- La importancia de los espectros

### 5. *El modelo de Bohr del átomo de hidrógeno*

- El origen de la hipótesis cuántica: concepto de cuanto.
- Los postulados del modelo de Bohr.
- Los éxitos del modelo de Bohr: explicación del espectro de hidrógeno.
- Las limitaciones del modelo de Bohr.

### 6. *El modelo actual del átomo: orbitales y números cuánticos*

- Concepto de orbital.
- Los números cuánticos: tipos y significado.

### 7. *La distribución electrónica en el átomo*

- Significado de la configuración electrónica.
- Reglas para establecer la configuración electrónica.

### 8. *El sistema periódico de los elementos químicos*

- Los precedentes de la ley periódica.
- La ley periódica de Mendeleiev.
- El sistema periódico actual.
- Interpretación electrónica del sistema periódico.

### 9. *Propiedades periódicas de los elementos químicos*

- Radio atómico.
- Energía de ionización.
- Electroafinidad.



### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracterizar las partículas elementales constituyentes del átomo.</li> <li>2. Comprender los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, estableciendo su campo de validez y sus limitaciones.</li> <li>3. Definir y diferenciar los conceptos de elemento químico y de isótopo.</li> <li>4. Explicar qué es un espectro y sus tipos.</li> <li>5. Comprender el modelo de Bohr y establecer sus limitaciones.</li> <li>6. Comprender el significado e implicaciones del carácter dual (onda - partícula) de los electrones.</li> <li>7. Diferenciar los conceptos de órbita y orbital.</li> <li>8. Conocer las leyes cuánticas usadas para establecer la configuración electrónica.</li> <li>9. Comprender la necesidad de una ley que establezca relaciones entre la gran diversidad de elementos químicos.</li> <li>10. Enunciar la ley periódica.</li> <li>11. Justificar, basándose en la configuración electrónica, la estructura del sistema periódico actual.</li> <li>12. Definir la energía de ionización y la electroafinidad de un elemento químico.</li> <li>13. Establecer la variación general en el sistema periódico de propiedades tales como la energía de ionización, el radio atómico o la electroafinidad.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar el modelo para explicar determinados fenómenos atómicos, estableciendo su campo de validez.</li> <li>2. Deducir las partículas constituyentes del átomo a partir de la información expuesta en la representación general:  <math display="block">{}^A_ZX^{\pm n}</math> </li> <li>3. Calcular la masa atómica de un elemento a partir de la composición isotópica.</li> <li>4. Explicar el espectro del hidrógeno usando los postulados de Bohr.</li> <li>5. Establecer las relaciones entre los distintos valores de los números cuánticos.</li> <li>6. Predecir las configuraciones electrónicas de los elementos químicos representativos.</li> <li>7. Situar a los elementos químicos en el sistema periódico en base a su configuración electrónica.</li> <li>8. Establecer comparaciones entre los valores de propiedades periódicas (EI, RA y EA) basándose en su localización en el sistema periódico.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valorar el uso de modelos como instrumentos que permiten comprender la materia, siendo conscientes de las limitaciones de los mismos.</li> <li>2. Valorar la ciencia como un proceso dinámico, cambiante y sometido a constante revisión.</li> <li>3. Apreciar los avances científicos y tecnológicos logrados mediante la aplicación del modelo cuántico del átomo.</li> <li>4. Valorar el uso de sistemas de clasificación en la organización de información.</li> </ol>



# 4. SOLUCIONARIO

## 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

A.1. Puesto que los átomos de hidrógeno son los más ligeros, las partículas positivas formadas a partir de ellos serán las más simples posibles y reciben el nombre de protón, siendo sus características:

$q_p = + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  y  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

A.2. Al analizar todos estos hechos, el alumnado debe establecer que el átomo estará constituido por una carga positiva imposible de arrancar y por partículas negativas (electrones) fáciles de extraer. Puesto que los átomos son neutros el valor de carga positiva debe determinar el número de electrones existentes en su interior. Algunos alumnos o alumnas recuerdan el modelo de Rutherford, puesto que ha sido estudiado durante tercero de ESO. El profesor o profesora puede argumentar que con los hechos expuestos hasta ahora no tenemos motivos para creer que la masa y la carga positiva del átomo se localice en una pequeña región del átomo (hipótesis problemática por las enormes fuerzas de repulsión que supone limitar la carga positiva a una región tan pequeña), siendo más lógico pensar que tanto la carga como la masa están uniformemente distribuidos en el interior del átomo de forma que se equilibran las fuerzas de repulsión con las de atracción entre cargas opuestas.

A.3. El modelo propuesto por Thomson explica la formación de los rayos canales al poder arrancar al átomo electrones, y dar lugar a un resto atómico cargado positivamente.

A.4. La actividad permite estimar el radio atómico en comparación al radio nuclear. Basándonos en la relación  $r_{\text{atómico}} = 10^4 r_{\text{nuclear}}$  y suponiendo que tanto el átomo como el núcleo son esféricos podemos establecer que:

$V_{\text{atómico}} = 10^{12} V_{\text{nuclear}}$

Como ejemplo para estimar el valor de esta relación, podemos citar que si el núcleo fuera un garbanzo (diámetro 1 cm) el átomo sería una esfera de diámetro 1 km.

A.5. Como el valor de la carga del protón y el electrón son iguales, pero de distinto signo, para que el átomo sea neutro se debe verificar la igualdad:

$n^{\circ} \text{ protones} = n^{\circ} \text{ electrones}$ .

A.6. La actividad plantea la necesidad de establecer un modelo dinámico, en el que los electrones giren alrededor del núcleo por acción de la fuerza de atracción del núcleo con los electrones.

A.7. La actividad se ha propuesto con el objetivo de hacer una revisión de los dos modelos estudiados. La comparación entre los modelos de Thomson y de Rutherford puede dar lugar al establecimiento de la siguiente tabla:

Comparación de los modelos de Thomson y Rutherford	
Semejanzas	Diferencias
<ul style="list-style-type: none"><li>El electrón es una partícula fácil de arrancar de átomo.</li><li>Los modelos son dinámicos, establecen movimiento del electrón.</li><li>El átomo es neutro, existiendo igual valor de carga positiva que negativa.</li><li>Conciben el átomo con simetría esférica.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>El modelo de Thomson no establece zonas densas en el interior del átomo, mientras que el modelo de Rutherford concentra casi toda la masa del átomo en el núcleo.</li><li>En el modelo de Thomson no se conciben partículas positivas (la carga positiva está uniformemente distribuida en el interior del átomo), mientras que el modelo de Rutherford establece la existencia de protones localizados en el núcleo.</li></ul>

A.8. El análisis del problema enunciado debe establecer que la característica común de los átomos de neón es el número de protones del núcleo, y que para justificar su dis-

tinta masa deben tener distinto número de neutrones en el núcleo.

A.9.

Apartado a					
Especie	Z	nº protones	A	nº neutrones	nº electrones
${}^9_5\text{B}$	5	5	9	4	5
${}^{10}_5\text{B}$	5	5	10	5	5
${}^{11}_5\text{B}$	5	5	11	6	5
<b>Semejanzas:</b> Los átomos tienen el mismo número atómico (Z), y por lo tanto el mismo número de protones en el núcleo (mismo elemento químico), y puesto que son átomos neutros también el mismo número de electrones.					
<b>Diferencias:</b> Todos tienen distinto número másico por poseer distinto número de neutrones en el núcleo.					
<b>Conclusión:</b> Átomos con el mismo número atómico pero con distinto número másico reciben el nombre de <i>isótopos</i> .					

Apartado b					
Especie	Z	nº protones	A	nº neutrones	nº electrones
${}^{13}_6\text{C}$	6	6	13	7	6
${}^{14}_7\text{N}$	7	7	14	7	7
${}^{15}_8\text{O}$	8	8	15	7	8
<b>Semejanzas:</b> Todos poseen el mismo número de neutrones en el núcleo.					
<b>Diferencias:</b> Tienen distinto número atómico (y por lo tanto distinto número de protones, y como los átomos son neutros, distinto número de electrones) y diferente número másico.					
<b>Conclusión:</b> Átomos con distinto número atómico y número másico, pero con el mismo número de neutrones en el núcleo, reciben el nombre de <i>isótonos</i> .					

Apartado c					
Especie	Z	nº protones	A	nº neutrones	nº electrones
${}^8_5\text{B}$	5	5	8	3	5
${}^8_3\text{Li}$	3	3	8	5	3
${}^8_4\text{Be}$	4	4	8	4	4
<b>Semejanzas:</b> El mismo número másico.					
<b>Diferencias:</b> Todos con distinto número atómico y por lo tanto distinto número de protones y neutrones en el núcleo.					
<b>Conclusión:</b> Son átomos de elementos químicos distintos pero con el mismo número másico (este tipo de átomos recibe el nombre de <i>isóbaros</i> ).					

**A.10.** El único proceso para que los átomos adquieran carga neta o resultante es mediante la transferencia de electrones entre ellos, porque la carga positiva se localiza en el núcleo y es inerte químicamente. Los átomos que pierden

electrones quedan cargados positivamente, mientras que los que ganan electrones adquieren carga negativa. Estas ideas deben aplicarse a este ejercicio, representado en la tabla siguiente:

Solución de la A.18.						
Especie	Proceso	Z	A	N	nº protones	nº electrones
${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$	gana un electrón	17	35	18	17	18
${}^{31}_{15}\text{P}^{3-}$	gana tres electrones	15	31	16	15	18
${}^{40}_{20}\text{Ca}^{2+}$	pierde dos electrones	20	40	20	20	18
<b>Semejanzas:</b> Tienen el mismo número de electrones.						

**A.11.** La fórmula operativa debe corresponder a la siguiente expresión

$$M_r = \frac{\sum m_i \times \%_i}{100}$$

**A.12.** El alumnado puede apreciar que hay elementos que sólo poseen un isótopo natural, como el  $^{23}\text{Na}$ , y por lo tanto la masa atómica relativa será la del isótopo, mientras que otros elementos, como el Mg, se presentan en la naturaleza en forma de distintos isótopos, de modo que la composición isotópica determina la masa del elemento. Si aplicamos la fórmula operativa a la composición isotópica del Mg obtenemos que la masa atómica relativa del Mg es 24,312.

**A.13.** Si comparamos las rayas del espectro de emisión y absorción establecemos la existencia de una correspondencia entre las rayas, lo que implica que en ambos procesos participan idénticos niveles energéticos.

**A.14.** El análisis de la figura 5.7, establece que una serie espectral está constituida por un conjunto de transiciones posibles desde distintos niveles energéticos (estado inicial) hasta un determinado nivel energético (estado final). Cada línea del espectro corresponde a una transición del electrón entre dos estados energéticos del átomo. Como sólo son posibles un número finito de estados energéticos sólo se producirán un número limitado de líneas.

**A.15.** La primera relación (a) no es posible puesto que el número secundario debe ser inferior al principal. Es decir, si  $n = 1$   $m_\ell = 0$ . La segunda (b) es correcta. La tercera (c) no es posible ya que si  $\ell = 0$ ,  $m_\ell = 0$ .

**A.16.** Que un átomo de litio tiene dos electrones descritos por un orbital del tipo 1s y un electrón en un orbital 2s.

**A.17.** Las configuraciones son:

Na ( $Z = 11$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

P ( $Z = 15$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

Ar ( $Z = 18$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

As ( $Z = 33$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$

O ( $Z = 8$ ):  $1s^2 2s^2 2p^4$

**A.18.** Los principios básicos que permiten establecer correctamente las configuraciones electrónicas de los átomos de los elementos químicos son:

- El principio de mínima energía.
- El orden energético de los posibles orbitales (figuras 7.3 y 7.4)
- El principio de exclusión de Pauli, que fija la capacidad electrónica de los distintos tipos de orbitales.
- La regla de máxima multiplicidad de Hund, que determina la localización de electrones en orbitales del tipo p, d y f.

**A.19.** Las representaciones 3 y 6 corresponden a estados fundamentales del átomo de azufre, las 1 y 5 a estados excitados, y las 2 y 4 son configuraciones no permitidas por violar el principio de Pauli.

**A.20.** El análisis del gráfico (figura 8.1) demuestra la existencia de dos periodos especialmente fructíferos en cuanto al descubrimiento de elementos químicos:

- El periodo de 1801 a 1825 con el descubrimiento de 21 elementos químicos.
- El periodo de 1875-1900 con el descubrimiento de 20 elementos químicos.

La búsqueda bibliográfica del descubrimiento de los elementos de los dos periodos señalados, permite establecer que el auge de los descubrimientos del primer periodo indicado se debe a la aplicación de métodos de análisis químico a minerales (destacando en este procedimiento J. J Berzelius (Suecia) con el descubrimiento de tres elementos químicos; Ce, Se y Si) y a la aplicación de métodos electroquímicos en la descomposición de compuestos químicos (siendo el químico más destacado en dicho proceso. H. Davy, Reino Unido, con el descubrimiento de cinco elementos químicos: Na, Mg, K, Ca y Ba).

Mientras que en el segundo periodo reseñado, la aplicación de métodos espectroscópicos (de los 20 elementos químicos 6 fueron descubiertos espectralmente) y radiactivos (4 de los 20) permitieron que prácticamente todos los elementos químicos naturales estuvieran descubiertos. Con ello, demostramos que el desarrollo tecnológico (mejora de las técnicas de análisis químico, aplicación de métodos electroquímicos, espectrales y radiactivos) impulsó y permitió el descubrimiento de los elementos químicos.

La gran cantidad de elementos conocidos, y con ello los compuestos asociados, hacía necesario a establecer relaciones y su agrupamiento para estudiarlos de forma organizada y sistemática.

**A.21.** El análisis de la figura 8.9 establece las siguientes conclusiones:

- Los elementos de una misma familia presentan la misma configuración electrónica externa.
- Los elementos de un mismo periodo sitúan a sus electrones externos en el mismo nivel energético, que corresponde con el periodo.
- En el SP podemos diferenciar cuatro bloques (s, p, d, f). Los elementos de cada tipo de bloque tienen su electrón diferenciador localizado en este tipo de orbital.

**A.22.** El radio atómico en un periodo disminuye al aumentar el número atómico y en una familia aumenta al aumentar el número atómico.

**A.23.** La actividad pretende profundizar en el concepto de EI, puesto que su comprensión da lugar a admitir que sólo son posibles tantas energías de ionización para un elemento químico como electrones posea, y que el valor de las sucesivas energías de ionización aumentará al arrancar electrones.

**A.24.** Las propiedades fundamentales de los elementos metálicos son: mayor volumen atómico, baja EI y EA.

El carácter metálico en el SP disminuye en un periodo al aumentar el número atómico y aumenta en una familia con el número atómico.

**A.25.** Destinada a ubicar los elementos metálicos y no metálicos en el SP, y realizar una valoración del pequeño porcentaje de elementos no metálicos.

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Aplicando la ecuación general:

$$M_r = \frac{\sum m_i \times (\%)i}{100} = \frac{49,946 \times 4,31 + 51,940 \times 83,76 + 52,940 \times 9,55 + 53,939 \times 2,38}{100} = 51,99 \approx 52$$

2. Denominando “x” al porcentaje del isótopo 62,930 e “y” al porcentaje del segundo isótopo, planteamos el siguiente sistema de ecuaciones:

Primera ecuación:  $x + y = 100$ .

Segunda ecuación:  $63,546 = \frac{x \cdot 62,930 + y \cdot 64,928}{100}$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:  
 $x = 69,17\%$ ;  $y = 30,83\%$

- 3.

S	Z	N	A	p	e
Al	13	14	27	13	13
<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>27</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
S	16	16	32	16	16
S	16	17	33	16	16
<b>S<sup>2-</sup></b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
<b>S<sup>4-</sup></b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>20</b>
Cs	55	78	133	55	53
<b>Cs<sup>2+</sup></b>	<b>55</b>	<b>78</b>	<b>133</b>	<b>55</b>	<b>55</b>

IONES

ISÓTOPOS

4. a) Cierta. El comportamiento químico lo determina la estructura electrónica que es la misma para todos los isótopos.

b) Cierta.  $M_r(C\ell) = \frac{75 \times 35 + 25 \times 37}{100} = 35,5$

- c) Falsa. El número de electrones del átomo neutro lo determina el número atómico, que es el mismo para los dos isótopos del oxígeno.

5. a) Falsa. Los rayos catódicos son electrones.  
 b) Verdadera. Los electrones son partículas comunes en todos los átomos.  
 c) Verdadera. Las partículas de los rayos canales son cationes que dependen de la naturaleza del gas.

6. El núcleo como parte central del átomo donde se concentra prácticamente su masa y su carga positiva.

7. Un espectro es la descomposición de una radiación en sus componentes en función de su longitud de onda. Los sólidos incandescentes emiten luz espectralmente continua, mientras que los gases emiten luz espectralmente discontinua. Los espectros son importantes por identificar los elementos químicos y ofrecer información sobre la configuración electrónica.

8. a) Correcta. La energía viene determinada por la

ecuación:  $E_n = \frac{E_1}{n^2}$

- b) Falsa. El radio de las posibles órbitas lo determina la ecuación:  $R_n = r_1 \times n^2$

- c) Correcta; la afirmación es una consecuencia del tercer postulado de Bohr.

9. Toda transición a un número cuántico superior requiere absorber energía, mientras que a números cuánticos inferiores implica la emisión de energía. Por tanto:

Transición	a	b	c	d
Proceso	Absorción	Emisión	Absorción	Emisión

10. Las transiciones posibles son:

$4 \rightarrow 1$	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$	$4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$
-------------------	---------------------------------	---	---------------------------------

11. Los radios de las órbitas tienen los siguientes valores:

n	1	2	3	4
R / nm	0,0529	0,2116	0,4761	0,8464

En estas órbitas son posibles 5 transiciones:

3 serie de Lyman ( $4 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 1$ ,  $2 \rightarrow 1$ ) y

2 serie de Balmer ( $4 \rightarrow 2$ ,  $3 \rightarrow 2$ ).

12. La energía asociada a cada órbita es:

$$E_5 = \frac{-21,76 \times 10^{-19} \text{ J}}{5^2} = -8,704 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_3 = \frac{-21,76 \times 10^{-19} \text{ J}}{3^2} = -2,417 \times 10^{-20} \text{ J}$$

La variación de energética que se produce en la transición de  $n = 5$  a  $n = 3$ , es:

$\Delta E_{5 \rightarrow 3} = E_2 - E_5 = -1,547 \times 10^{-19} \text{ J}$ , el signo “-” se interpreta como que se libera energía en forma de radiación.

La frecuencia de la radiación se obtiene aplicando la relación:  $|\Delta E_{5 \rightarrow 2}| = h \times \nu$ . Por tanto;

$$\nu = \frac{1,547 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} J = 2,33 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

La longitud de onda correspondiente es:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{508,58 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5,89 \times 10^{14} \text{ Hz}, \text{ que no es visible.}$$

13. La radiación más energética es la que tiene mayor frecuencia o menor longitud de onda.

Por ello, calculamos la frecuencia asociada a la radiación de  $\lambda = 508,58 \text{ nm}$ :

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{508,58 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5,89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Por tanto es más energética la radiación de  $7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

14. a) La variación energética se obtiene aplicando la ecuación de Planck:

$$\Delta E = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times \frac{3 \cdot 10^8}{486,13 \cdot 10^{-9}} J = 4,09 \cdot 10^{-19} J$$

b) Para calcular el nivel cuántico del que se realiza la transición tendremos en cuenta que la energía de cada nivel la proporciona por la ecuación:

$$E_n = -21,76 \cdot 10^{-19} J/n^2$$

Puesto que la transición se realiza desde un nivel  $n$  al nivel 2, planteamos la ecuación:

$$\Delta E = 4,09 \cdot 10^{-19} J = E_2 - E_n = 21,76 \times 10^{-19} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Resolviendo la ecuación obtenemos:  $n = 4$ .

15. El orbital es una función matemática que se obtiene al resolver la ecuación establecida para explicar el comportamiento electrónico, e informa de la energía asociada al electrón en el átomo, y permite estimar la zona del espacio donde es más probable localizar un electrón con determinada energía. Para definir un orbital son necesarios tres números cuánticos: el principal ( $n$ ), el secundario o angular ( $\ell$ ) y el magnético ( $m_\ell$ ). Para describir el electrón debemos añadir un cuarto número cuántico; el de spin ( $m_s$ )

16.

Combinación	Valoración	Motivo
a	Incorrecta	El número cuántico $m_\ell$ debe ser 0
b	Incorrecta	El número cuántico $m_\ell$ no puede ser 2
c	Correcta	Cumple las reglas cuánticas
d	Incorrecta	El número cuántico angular debe ser inferior al principal ( $n$ ).

17.

orbital	Número cuántico angular	$m_\ell = -\ell, \dots, 0, \dots, +\ell$
a) 2 s	0	0
b) 3 d	2	-2, -1, 0, 1, 2
c) 4 p	1	-1, 0, 1.
d) 5 s	0	0

No puede existir el orbital 2d, puesto que el orbital tipo d está asociado al número  $\ell = 2$ , y el número angular siempre es inferior al principal, en este caso  $n = 2$ .

18.

orbital	n	$\ell$	$m_\ell^*$	$m_s^*$
4d <sup>3</sup>	4	2	-2, -1, 0, 1, 2	+/- 1/2
3p <sup>3</sup>	3	1	-1, 0, 1	+/- 1/2
4f <sup>4</sup>	4	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	+/- 1/2
2p <sup>2</sup>	2	1	-1, 0, 1	+/- 1/2
1s <sup>2</sup>	1	0	0	+/- 1/2

\* Tomar un número

19. a)  $n, \ell, m_\ell$ . b)  $m_s$ . c) No, puesto que supondría que dos electrones tuvieran los cuatro números cuánticos iguales.

20. 3p (3, 1, -1) < 4s (4, 0, 0) < 3d (3, 2, -1) < 4p (4, 1, 0).

21. Be (excitado, un electrón 2s ha sido promocionado al orbital 2p); N (imposible, no puede existir un orbital 2d); H (excitado, el estado fundamental es 1s<sup>1</sup>); O<sup>2-</sup> (fundamental); Na<sup>+</sup> (excitado, se ha promocionado un electrón del orbital 2p al 3s).

22. La correcta es la c puesto que debe cumplirse el principio de máxima multiplicidad de Hund

23.

Elemento	Nivel externo	Combinaciones
Al (Z = 13)	3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	(3,0,0, -1/2) (3,0,0, +1/2) (3,1, -1/0/1,+1/2)
Rb (Z = 37)	5s <sup>1</sup>	(5,0,0,+1/2)

En los números indicados en color claro se debe tomar una opción de las indicadas.

24. a) Incorrecta, no puede existir un orbital 2s<sup>3</sup>. b) Correcta. c) Excitado, al electron más energético en estado fundamental le corresponde el orbital 3s<sup>1</sup>. d) Incorrecta, no puede existir un orbital s con tres electrones.

25.

Elemento	Nivel externo	Combinaciones
K	4s <sup>1</sup>	(4,0,0,+1/2)
Si	3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	(3,1,-1,+1/2) (3,1,0,+1/2)

No serían distintas para los isótopos.

26.

Especie	Neutrones	Protones	Electrones	Configuración
<sup>32</sup> <sub>16</sub> S <sup>2-</sup>	16	16	18	Ar 1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
<sup>35</sup> <sub>17</sub> Cl <sup>-</sup>	18	17	18	
<sup>40</sup> <sub>18</sub> Ar	22	18	18	
<sup>39</sup> <sub>19</sub> K <sup>+</sup>	20	19	18	

27.

Z	N	Nº ele.	Configuración
33	42	33	Ar 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 3p <sup>3</sup>
38	50	36	Ar 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 3p <sup>6</sup>
15	16	18	Ar
8	22	18	Ar

28.

Nivel	Capacidad	Elementos	Z
1	2	2	2 (He)
2	8	8	10 (Ne)
3	8	8	18 (Ar)
4	18	18	36 (Kr)
5	18	18	54 (Xe)

29.

Elemento	Z	Configuración electrónica	Localización en el SP		
			Periodo	Familia	Bloque
N	7	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	2	15	p
Si	14	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	3	14	P
Ge	32	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 4p <sup>2</sup>	4	14	P
Kr	36	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 4p <sup>6</sup>	4	18	P
Sb	51	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 4p <sup>6</sup> 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>3</sup>	4	15	p

a) Mismo bloque (p).

b) N y Sb (F-15); Ge y Si (F-14). Presentan idéntica configuración electrónica externa.

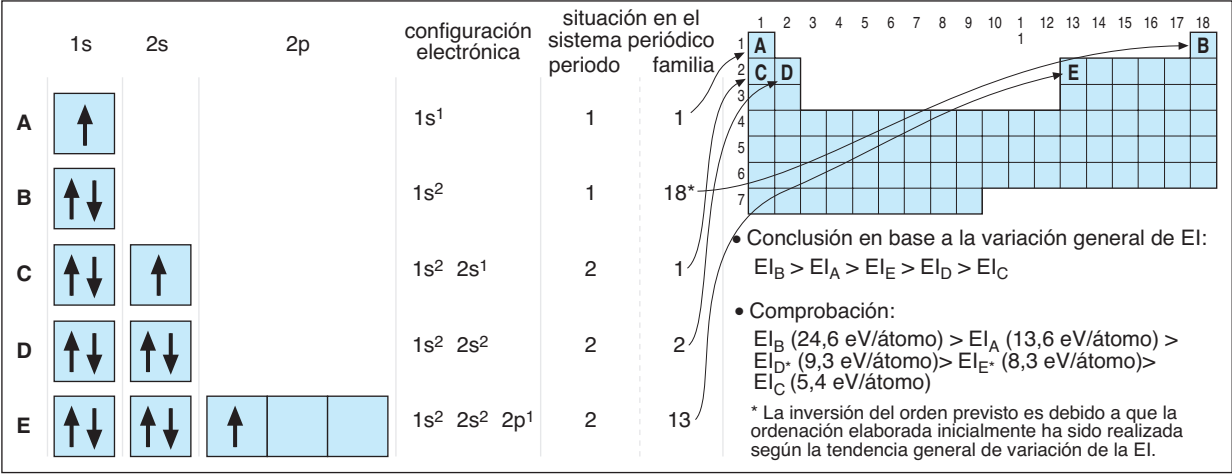
c) Kr (F-18) (capas completas)

30. a) ns<sup>1</sup>; b) El radio atómico en una familia aumenta con el número atómico; por ello el Cs de mayor número atómico debe tener mayor radio. c) La variación de la primera energía de ionización en una familia o grupo *disminuye al aumentar el número atómico*. Este hecho se puede explicar como una consecuencia de que cada vez el electrón a arrancar se encuentra más alejado del núcleo (recuerda la fuerza de interacción eléctrica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia), en consecuencia en la familia de los alcalinos será más fácil arrancarle un electrón al Cs.



31. 1) No las dos configuraciones corresponde al mismo elemento localizado en el SP: familia -1; periodo -3; bloque -s. La diferencia es que A representa al átomo en estado fundamental mientras B en estado excitado. 2) Absorber. 3) A, puesto que el electrón posee menor energía.

32.



33.

	Ca	O	Br	Al
Conf. Ext.	$4s^2$	$2s^2 2p^4$	$4s^2 3d^{10} 4p^5$	$3s^2 3p^1$
Situación tabla Periódica	F-2 P-4 B-s	F-16 P-2 B-p	F-17 P-4 B-p	F-13 P-3 B-p
M/N	M	N	N	M
EI	↓	↑	↑	↓
EA	↓	↑	↑	↓

34. A partir de la configuración electrónica establecemos:

Z	Configuración electrónica	Localización en el SP		
		Periodo	Familia	Bloque
5	$1s^2 2s^2 2p^1$	2	13	p
7	$1s^2 2s^2 2p^3$	2	15	P
13	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	3	13	P
15	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	3	15	P

- a) Periodo-2: Z = 5 y 7; Periodo-3: Z = 13 y 15.
- b) Familia-13: Z = 5 y 13; Familia -15: Z = 7 y 15.
- c)  $Z = 13 > Z = 15 > Z = 5 > Z = 7$ .
- d) Z = 15.

4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

1. a) La órbita es la trayectoria descrita por el electrón en su movimiento alrededor de núcleo, y por lo tanto su determinación permite localizar perfectamente la posición del electrón, lo cual implica asumir tan sólo su naturaleza corpuscular (este concepto lo usó Bohr limitando el número de órbitas posibles y estableciendo un contenido energético estacionario para cada órbita). Sin embargo, el concepto de orbital asume la naturaleza dual (onda-partícula) del electrón, y corresponde a una función matemática que describe el comportamiento del electrón en el átomo, debiendo verificar una ecuación cuya resolución implica la introducción de unos parámetros (números cuánticos). El orbital informa de la energía asociada al electrón en el átomo y de las regiones del espacio que rodean al núcleo donde es más probable localizar al electrón.

B1) Al modelo de Bohr, cada línea representa un nivel energético posible del átomo de hidrógeno. Puesto que al aumentar n disminuye la diferencia energética entre niveles, disminuirá la diferencia entre las líneas.

B2) La formación del espectro del hidrógeno, según el modelo de Bohr, explicando las diferentes series espectrales.

B3) A las transiciones de diferentes niveles energéticos a un nivel determinado.

B4) Por permitir identificar a los elementos químicos y proporcionar información sobre su distribución energética.

2.

Especie química	A	Z	P	N	Ele.	Confi.- Gas Noble
As <sup>3-</sup>	75	33	33	42	36	Kr
Ar	40	18	18	22	18	Ar
S	32	16	16	16	16	Ne 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
Ca <sup>2+</sup>	40	20	20	20	18	Ar

3. Solución. Planteamiento de las ecuaciones.

Primera ecuación:  $78,60 + x + y = 100$

Segunda ecuación:

$$24,32 = \frac{23,98 \cdot 78,60 + 24,98 \cdot x + 25,98 \cdot y}{100}$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:  
 $x = 10,8$ ;  $y = 10,6$

Para localizar el Mg en el SP establecemos su configuración:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

Por tanto se encuentra en el tercer periodo, la familia 2 y el bloque s

4.

Combinación	Tipo	Motivo
A	Correcta	3 d
B	Incorrecta	$m_\ell = 0$
C	Correcta	3 p
D	Incorrecta	$\ell = 1$
E	Incorrecta	$m_\ell \neq 3$

5.

Especie química	Z	Elec.	N	A	Configuración En referencia al gas noble
K <sup>+</sup>	19	18	12	30	Ne
Se <sup>2-</sup>	34	36	46	80	Kr
I <sup>-</sup>	53	54	76	129	Xe
Kr	36	36	44	80	Kr
Rb <sup>+</sup>	37	36	48	85	Kr

Situación Sistema Periódico, ver SP (debes tomar de referencia la configuración del elemento neutro)

- a) Sí.
- b) Sí.
- c) Rb.
- d) Kr.

## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos criterios de evaluación específicos para el presente tema.

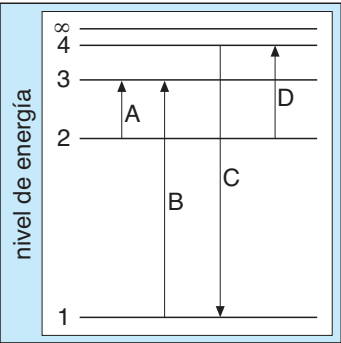
Los alumnos y alumnas deben ser capaces de:

1. Diferenciar y comprender los modelos precuánticos.
2. Explicar el espectro de hidrógeno usando el modelo de Bohr.
3. Diferenciar los conceptos de órbita y orbital.
4. Deducir las partículas constituyentes de un átomo conociendo  $Z$ ,  $A$  y su carga relativa.
5. Definir el concepto de elemento químico, y diferenciarlo del de sustancia simple.
6. Definir el concepto de isótopo.
7. Determinar la masa atómica de un elemento químico a partir de su composición isotópica.
8. Explicar el tipo e información ofrecida por los distintos números cuánticos.
9. Establecer las relaciones de los distintos números cuánticos.
10. Enumerar las leyes cuánticas para establecer la configuración electrónica de un elemento.
11. Predecir la configuración electrónica de una especie atómica a partir del valor de  $Z$  y su carga relativa.
12. Enunciar la ley periódica.
13. Explicar las características del sistema periódico actual.
14. Ubicar un elemento químico en el sistema periódico en base a su configuración electrónica.
15. Definir y explicar el significado de las propiedades atómicas: radio, energía de ionización y electroafinidad.
16. Establecer las características de la variación del valor del radio atómico, la EI y la EA en el sistema periódico.
17. Comparar el valor posible de las propiedades periódicas estudiadas en base a la posición de los elementos en el sistema periódico.

6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

En función de las capacidades a desarrollar y de los criterios de evaluación indicados, se proponen los siguientes ejercicios para la evaluación final del tema:

1. Cuando el electrón de un mismo átomo pasa de un nivel de energía más bajo a otro mayor, afirmamos que el átomo absorbe energía; ¿cuál de las transiciones electrónicas representadas en la figura 1 da como resultado la absorción de energía mayor? Explica el significado de la representación.



2. Completa la tabla adjunta:

Especie química	Z	A	N	número electrones	configuración electrónica	Localización en el Sistema Periódico
K <sup>+</sup>	19		12			
S <sup>-2</sup>		79		18		
Ar		21			1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>	

¿Qué tienen en común las especies indicadas en la tabla?

3. Responde a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Cómo podemos definir un elemento químico?
- b) ¿Cuál es la masa atómica del magnesio, si se presenta en la naturaleza con la composición isotópica indicada en la tabla?

ISÓTOPO	MASA ISOTÓPICA	ABUNDANCIA
<sup>24</sup> Mg	23,985	78,60
<sup>25</sup> Mg	24,985	10,11
<sup>26</sup> Mg	25,983	11,29

4. Dados los elementos K (Z = 19), Ga (Z = 31), Br (Z = 35) y Rb (Z = 37), sitúalos en el sistema periódico y ordénalos en orden creciente al valor de su primera energía de ionización. ¿Qué elementos son metálicos?
5. A continuación figuran ciertas configuraciones electrónicas. Deduce, en cada caso, si representan un átomo neutro, un ion positivo o un ion negativo.

Elemento	Configuración electrónica
a) <sub>11</sub> Na	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
b) <sub>16</sub> S	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
c) <sub>7</sub> N	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup> 4s <sup>1</sup>
d) <sub>10</sub> Ne	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>

6. ¿Qué es la regla de Hund y qué papel determina en la construcción de las configuraciones electrónicas? Determina el número de electrones desapareados en los estados fundamentales de los siguientes átomos: C (Z = 6); F (Z = 9); Ne (Z = 10).
7. Sabiendo que la energía asociada a la primera órbita de Bohr es de - 21,76·10<sup>-19</sup> J, calcula la longitud de la radiación emitida cuando un electrón de un átomo de hidrógeno pasa del estado cuántico n = 4 al fundamental.
8. En la tabla adjunta hemos representado cinco elementos químicos por símbolos griegos e indicamos el número atómico de cada elemento.

Símbolo	α	β	γ	Ω	Ø
Z	20	26	35	38	56

Usando la información de la tabla y sin consultar el sistema periódico responde a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Qué elementos están localizados en el mismo periodo del sistema periódico?
- b) ¿Qué elementos pertenecen a la misma familia?
- c) Ordena los elementos de menor a mayor volumen atómico.
- d) ¿Qué elemento posee un valor de energía de ionización mayor?

9. Si la masa atómica del silicio (Si) es 28.9 y su abundancia isotópica es:

Isótopo	Masa relativa	Abundancia
28 - Si	28	92,18
29- Si	29	x
30 - Si	30	y

- a) Determina las abundancias correspondientes a los isótopos: 29- Si (x) y 30 - Si (y).  
b) El número atómico del Si es 14, localiza su posición en el SP.  
c) ¿Cuál de los siguientes elementos presenta un comportamiento químico semejante al Si?  
P (Z = 15); S (Z = 16); Ge (Z = 32). Explica el motivo

- d) Ordena los elementos: Si, P, S y Ge en función del valor de su primera energía de ionización.

10. Para la especie iónica  $O^-$ , podemos afirmar:

- a) Su número atómico es el mismo que el correspondiente al elemento químico que le sigue en el SP.  
b) Su configuración electrónica es la misma que el elemento químico que lo sigue en el SP.  
c) Tiene dos electrones desapareados.

Dato. O (Z = 8).

11. Completa la tabla siguiente para cada uno de los modelos atómicos:

Modelo	Fundamento	Hechos explicados	Hechos no explicados	Ideas aportadas
Dalton				
Thomson				
Rutherford				
Bohr				

## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros

AGOFOSHIN, N.P. (1973). *Ley periódica y sistema periódico de los elementos químicos*. Barcelona: Reverté.

ASIMOV, I. (1983). *La búsqueda de los elementos*. Barcelona: Plaza y Janés.

BENSAUDE-VINCENT, B. (1993). *Mendeleiev: historia de un descubrimiento*. En SERRES, M. Historia de las Ciencias. Madrid: Cátedra.

BENSAUDE-VINCENT, B. y STENGERS, I. (1993). *Histoire de la Chimie*. París: La Decouverte.

BOHR, N. (1988). *La teoría atómica y la descripción de la Naturaleza*. Madrid: Alianza Editorial.

BROCK, W.H. (1992). *The Fontana History of Chemistry*. Londres: Fontana Press.

COSTA, J.; LLUCH, J.; PÉREZ, J. (1993). *Estructura de la matèria*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.

CRUZ, CHAMIZO, GARRITZ. (1991). *Estructura atómica. Un enfoque químico*. Addison = Wesley Iberoamericana.

FERNÁNDEZ-RAÑADA, A. (2004). *Ciencia, incertidumbre y conciencia*. Heisenberg. Nivola. Científicos para la historia.

FRANCO, F.(1982). *Elementos químicos y sus aplicaciones*. Madrid - Barcelona: Editorial Index.

GARCÍA, A. y BERTOMEU, J.R. (1999). *Nombrar la materia*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

GILLESPIE, R. J., HUMPHREYS, D.A., BAIRD, N.C. y ROBINSON, E.A. (1989). *Chemistry. Massac-husetts: Allyn and Bacon*.

GRIBBIN, J. (1985). *En busca del gato de Schrödinger*. Barcelona: Biblioteca Científica Salvat.

LAINCHBURY, A., STEPHENS, J. y THOMPSON, A. (1995). *ILPAC*. Londres: John Murray.

LLORENS, J.A. (1991) *Comenzando a aprender química*. Madrid: Ediciones Visor.

POZO, I., GÓMEZ, M.A., LIMÓN, SANZ. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia. Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. Madrid: CIDE-MEC.

ROMÁN, P. (2002). *El profeta del orden químico. Mendeleiev*. Nivola. Científicos para la historia.

QUÍLEZ, J., MUÑOZ, R. y BELDA, P. (2003). *Conceptos de química*. Ediciones del Serbal.

RADDVANYI, P, BORDRY M. (1987). *La radiactividad artificial*. Barcelona: Biblioteca Científica Salvat.

SOLBES, J; CALATAYUD, M.L; CLIMENT, J. B; NAVARRO, J. (1987). *Model quàntic de l'àtom*. València: Servei de Formació de la Universitat de València.

### Artículos

CUÉLLAR, L.(2008). El modelo atómico de E. Rutherford del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), pp. 151 - 160.

BENSAUDE-VICENT, B. (1991). La génesis de la tabla de Mendeleiev. *Mundo Científico*, 42 (4), pp 43 - 50.

FERNÁNDEZ, M. (1999). Elementos frente a átomos. Raíces históricas e implicaciones didácticas. *Alambique*, 21, pp 59 -61.

GARNETT, P.J., GARNETT, P.J. y HACKLING, M.W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, pp. 69-95.

MALEVAR, PUJOL, J. (2007). La calidad del contenido sobre el tema de la estructura de la materia en textos universitarios de química general. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), pp. 229 - 240

MARCO, B. (1999). Aproximación a la naturaleza de los elementos químicos. *Alambique*, 21, pp. 67 -77.

RINGNES, V. (1989). Origin of the Names of Chemical Elements, *Journal of Chemical Education*, 66 (9), pp. 731-738.

ROUNDY, W.H. (1989). What is an element? *Journal of Chemical Education*, 66 (9), pp. 729-730.

SCERRI, E.R. (2008). La tabla periódica. *Investigación y ciencia*, número 379, PP 50-56.

SOLBES, J. TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de aptitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 151 - 160.

# ENLACE QUÍMICO



## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

En dos temas anteriores se ha utilizado la teoría cinético-molecular para explicar las propiedades de la materia (fundamentalmente el estado gaseoso) y también se ha hecho una evolución histórica del problema que supone el establecimiento de la estructura atómica. En esta evolución se ha llegado a introducir finalmente el concepto de orbital atómico, lo cual ha permitido justificar con una cierta profundidad la Tabla Periódica.

Sin embargo, nada se ha dicho todavía acerca de por qué estos elementos se unen entre sí para formar distintas combinaciones atómicas. Por tanto, surge la necesidad de intentar justificar el enlace químico, lo cual lleva, de forma paralela, al intento de dar cuenta de las propiedades de las sustancias. Para la solución de estos problemas será necesario comprender que el establecimiento de verdaderas teorías del enlace químico es relativamente reciente (principios del siglo XX) ya que estas teorías han podido desarrollarse a partir del establecimiento de la estructura atómica.

Iniciamos el tema haciendo la pregunta ¿por qué se combinan los átomos? El intento de solución del problema que se plantea permite justificar los aspectos a tratar. Las respuestas que se proporcionen nos deben dar una explicación de las propiedades que presentan las sustancias. Se pretende que

las primeras ideas del alumnado se vayan reformulando a medida que se avanza en el estudio del tema para finalmente obtener la visión unitaria del enlace químico como interacción electromagnética.

En cada una de las cuatro situaciones electrónicas (enlaces iónico, covalente, intermolecular y metálico) se pretende dar una primera justificación a la formación y de las propiedades de los sólidos iónicos, covalentes, moleculares y metálicos. Una actividad práctica final sirve de recapitulación de los aspectos estudiados.

Antes de abordar el inicio de este tema, los alumnos deben ser capaces de admitir la existencia de moléculas diatómicas, tales como  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ , etc. para explicar sus propiedades, así como conocer los nombres y los símbolos de los elementos representativos y de la primera serie de transición y distinguir entre metales, no metales y semimetales; también deben saber que un átomo neutro contiene tantos protones como electrones y que el número atómico de un elemento es invariable; y que no ocurre lo mismo con el número de electrones, así como explicar las valencias iónicas de los elementos representativos y dibujar la distribución electrónica (modelo de casillas) de los electrones de la última capa correspondientes a sus configuraciones electrónicas.



## 2. CONTENIDOS

### 1. ¿Por qué se combinan los átomos?

- Tipos de enlace

### 2. Enlace iónico. Sustancias iónicas

- ¿Existen los iones?
- El modelo de enlace iónico
- Estructuras iónicas
- ¿Existen moléculas en los compuestos iónicos?
- Propiedades generales de los compuestos iónicos. Explicación mediante el modelo iónico

### 3. Enlace covalente

- Necesidad de un nuevo modelo de enlace
- Enlace covalente o por compartición de pares de electrones
- ¿Entre qué tipos de elementos se formarán enlaces covalentes? Estructuras de Lewis
- Polaridad de enlaces y de moléculas

### 4. Enlaces intermoleculares

- ¿Existen fuerzas de atracción entre moléculas?
- Distinción entre el enlace intermolecular y el enlace covalente

### 5. Sustancias formadas por enlaces covalentes: tipos de sólidos

- Cristales moleculares
- Cristales atómicos

### 6. Enlace metálico

- Propiedades de los metales. Necesidad de un nuevo modelo de enlace
- Modelo de enlace metálico
- Explicación de las propiedades de los metales mediante el modelo de enlace metálico

**1. Ampliación:** Geometría molecular y polaridad de las moléculas

**2. Ampliación:** Un enlace intermolecular particular: el enlace de hidrógeno

**ANEXO:** FORMULACIÓN Y NOMENCLATURA EN QUÍMICA INORGÁNICA.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Conocer el carácter electromagnético del enlace químico.</div> <div>2. Reconocer el papel determinante del descubrimiento del electrón en el establecimiento de las teorías del enlace químico.</div> <div>3. Establecer como primer criterio de estabilidad: la "necesidad" de adquisición por parte de los diferentes átomos de estructuras electrónicas estables (gas noble más próximo).</div> <div>4. Describir y diferenciar las características y la naturaleza de los enlaces: iónico, covalente, metálico e intermolecular.</div> <div>5. Explicar las propiedades en función de la naturaleza del enlace.</div> <div>6. Asignar de forma cualitativa a los diferentes tipos de sólidos sus propiedades más relevantes en función de los enlaces presentes.</div> <div>7. Diferenciar entre la conductividad eléctrica de los metales y la de los compuestos iónicos.</div> <div>8. Conocer la evolución histórica del concepto de unión química.</div>	<div>1. Dibujar las estructuras de Lewis de moléculas sencillas que cumplen la regla del octeto.</div> <div>2. Predecir la polaridad de moléculas sencillas (cuatro pares electrónicos) utilizando como razonamientos previos la polaridad de enlace y la geometría molecular (VSEPR).</div> <div>3. Utilizar como idea cuántica básica el concepto de deslocalización electrónica.</div> <div>4. Diseñar procedimientos para determinar las propiedades de una determinada sustancia.</div> <div>5. Saber diferenciar y explicar el significado que proporcionan los mapas de densidad electrónica para sustancias sencillas correspondientes a compuestos iónicos, covalentes y metálicos.</div> <div>6. Interpretar tablas y gráficos correspondientes a temperaturas de fusión y de ebullición de diferentes sustancias.</div> <div>7. Formular y nombrar compuestos binarios y los compuestos ternarios más habituales (ácidos y sus sales).</div>	<div>1. Conocer algunas de las dificultades, tanto conceptuales como sociales, que históricamente hubo de superar para explicar las propiedades de las sustancias en términos de una teoría coherente de enlace químico.</div> <div>2. Valorar el papel que juega la investigación básica en el desarrollo del conocimiento científico.</div> <div>3. Establecer el carácter evolutivo, no lineal, del desarrollo del concepto de enlace químico.</div> <div>4. Valorar el papel esencial que juega el agua para la vida.</div>

## 4. SOLUCIONARIO

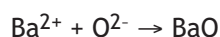
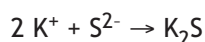
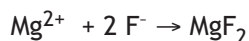
### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

**A.1.** Es conveniente que los alumnos expliciten sus ideas acerca de por qué se combinan los átomos y que pueden girar en torno a la idea de afinidad en el sentido de atracción o también como idea de complementariedad ('buscar aquello que le falta').

**A.2.** Nuestro modelo de enlace químico debe ser coherente con el modelo atómico en el que se fundamenta.

**A.3. y A.4.** El modelo de enlace iónico se fundamenta en la interacción de iones de carga opuesta. Este aspecto se introduce a través de una lectura de tipo histórico (*Lectura 2*) y a través de la actividad de la A.3 y del experimento 1 (A.4), en donde se propone como hipótesis la existencia de iones de cargas opuestas (cationes y aniones) para explicar de las propiedades conductoras de la electricidad de ciertas sustancias. El modelo iónico propuesto deberá dar cuenta de otras propiedades de estas sustancias, como son sus temperaturas de fusión y de ebullición, dureza, fragilidad, etc.

**A.5. y A.6.**  $\text{Br}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ . Como primer criterio para establecer uniones iónicas consideraremos la facilidad de ciertos átomos para formar cationes y aniones. En el curso siguiente se establecerá que este criterio es insuficiente para lo cual nos basaremos en consideraciones energéticas. Ello permitirá introducir una nueva magnitud: la energía reticular. Consideramos que este tipo de discusión excede el nivel que corresponde a este curso. Una vez formados los iones correspondientes se procede a establecer el primer tipo de combinación (metal con no metal) que da origen a la formación de sustancias iónicas. En este punto el profesor o profesora puede valorar la oportunidad de comentar la existencia de otras sustancias iónicas en las que participan iones poliatómicos ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , por ejemplo), lo cual puede facilitar la posterior discusión que se propone en el anexo a la hora de formular y nombrar las sustancias inorgánicas. En cualquier caso, la fórmula que corresponde a la correspondiente combinación iónica se hará atendiendo al principio de electroneutralidad (A.6), lo cual también puede facilitar una mejor asimilación de la formulación y nomenclatura de estas sustancias.



**A.7. y A.8.** La hipótesis acerca de la presencia de iones encuentra sustento en los diagramas de densidad electróni-

ca (la forma de estos mapas explica bien la existencia de aniones y de cationes, con una zona entre los mismos donde no aparecen líneas de densidad electrónica, por ser ésta prácticamente nula) y en el tipo de estructuras que presentan estas sustancias (estructuras tridimensionales, que no responden a la idea de 'moléculas iónicas'), lo cual nos lleva a discutir el significado de las diferentes fórmulas químicas.

**A.9.** Algunas de las propiedades de las sustancias iónicas (solubilidad, fragilidad, conductividad eléctrica, temperatura de fusión, etc) pueden investigarse fácilmente en el aula-laboratorio. En esta parte se ha elegido la investigación de la conductividad eléctrica. El *experimento 3* sirve de complemento del *experimento 1*.

No sólo se trata de conocer las propiedades más importantes de estas sustancias sino que se intenta dar una explicación satisfactoria con la ayuda del modelo propuesto. De esta forma, para explicar la fragilidad se propone el *experimento 2* y para explicar los valores de las temperaturas de fusión y de ebullición de sustancias iónicas, así como de las tendencias observadas se propone esta actividad. Podemos, en primera aproximación, explicar estas propiedades por el aumento de la fortaleza del enlace iónico. En los óxidos de los metales alcalinotérreos las cargas de los iones poseen un valor que es el doble que en el caso de los haluros de sodio, lo cual se traduce en una mayor fuerza de tipo electrostático, que hace que la fuerza unión entre iones sea mayor, lo que implica unos valores de temperaturas de fusión y de ebullición muy superiores.

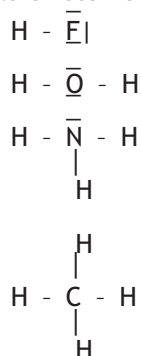
**A.10.** Sirve de recapitulación del estudio del modelo iónico. Es un actividad que deben hacer los alumnos a partir de la lectura de esta primera parte del tema y de la realización de las correspondientes actividades. Por ello, no se va a repetir aquí lo que ya dice el texto. Puede servir al profesor como una primera actividad de evaluación de esta parte del tema.

**A.11., A.12. y A.13.** El modelo iónico se muestra insuficiente para explicar la existencia y propiedades de moléculas diatómicas como  $\text{O}_2$  o  $\text{Cl}_2$  o de 'macromoléculas' gigantes como el diamante. Además, los mapas de densidad electrónica de estas sustancias son claramente diferentes a los correspondientes a las sustancias iónicas. La discusión del mapa de densidad electrónica de la molécula de hidrógeno pone de manifiesto que ahora la mayor densidad de carga se localiza en la región internuclear, a diferencia de lo que ocurre en los compuestos iónicos.

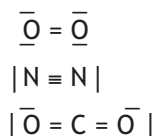
**A.14.** Una vez introducido el concepto de enlace covalente por compartición de electrones y algunas ideas básicas -como la de estabilidad que se manifiesta en la correspondiente energía de enlace y la de deslocalización electrónica-, se aborda el concepto de covalencia que nos permitirá predecir la capacidad de formación de enlaces covalentes: Cl (cov. = 1); S (cov.

= 2); P (cov. = 3). Sólo se estudiarán situaciones electrónicas que permitan explicar moléculas en las que los átomos participantes cumplen la regla del octeto. Por tanto, no se considera conveniente que en este curso se traten moléculas con octeto incompletos:  $\text{BF}_3$ , con número impar de electrones: NO, que amplíen el octeto:  $\text{PCl}_5$  u otras que puedan explicarse con el concepto de enlace covalente dativo.

**A.15. y A.16.** La discusión precedente permite al alumnado escribir estructuras de Lewis (en los ejemplos propuestos el átomo central cumple la regla del octeto) en las que sólo existen enlaces sencillos:

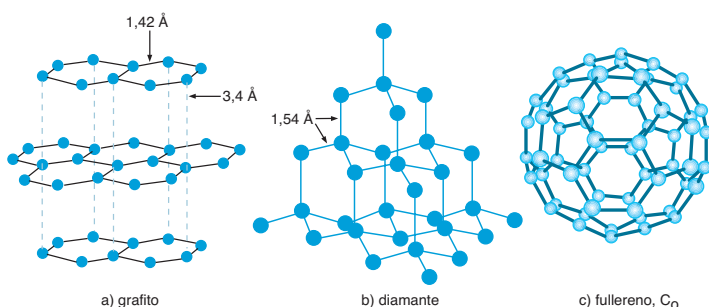


o en las que existen enlaces dobles o triples:



En estas dos actividades el profesor deberá ayudar a sus alumnos para que puedan comprender la covalencia del carbono ya que, en principio, según una primera representación de la configuración electrónica y según el modelo de casillas el alumnado sólo puede asignar al carbono una covalencia = 2.

**A.17.** En lugar de proporcionar las propiedades del grafito y del diamante y de explicarlas atendiendo a su estructura y enlaces presentes se pide a los alumnos que sean ellos mismos los que realicen la comparación correspondiente. Ello les ayuda a familiarizarse con el empleo de diferentes fuentes de consulta, lo cual les puede ser una actividad más que propicie el aprendizaje de la selección de la información que proporcionan las mismas, a ponderar su fiabilidad y a contrastar con otros compañeros o grupos los datos obtenidos.

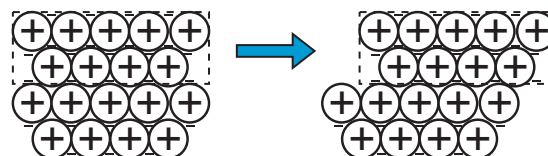
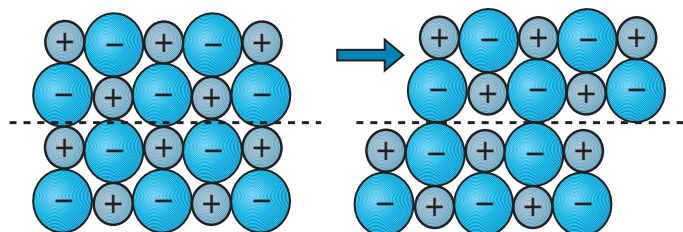


Diamante	Grafito
Pf > 3500°C	Pf < 3500°C
Dureza: 10 (Mohs)	Dureza: 2 (Mohs)
No conductor eléctrico	Conductor eléctrico
Transparente	Negro (brillo metálico)
Densidad: 3,51	Densidad: 2,25
Usos: en perforadoras, para cortar y pulimentar; para cojinetes de aparatos de precisión. Piedras preciosas.	Usos: como lubricante (altas temperaturas), para electrodos; y minas de lápiz a partir de mezclas de grafito y arcilla.

**A.18.** La valoración correspondiente a la importancia en el desarrollo científico de la investigación básica, del trabajo colectivo y de la comunicación entre científicos, se realiza con la ayuda de la lectura 'El bukmisterfullereno' y la discusión subsiguiente que plantea esta actividad.

**A.19. y A.20.** De nuevo, se establece la necesidad de un nuevo modelo de enlace para explicar las propiedades de los metales. Se introduce el modelo del mar de electrones para explicar las propiedades de estas sustancias y de nuevo se proporciona el diagrama de densidad electrónica de una sustancia metálica para establecer la coherencia del modelo establecido con dicha representación.

**A.21. y A.22.** El alumno debe ser capaz de explicar que un aumento de las cargas de los iones está relacionado con una mayor fortaleza del enlace metálico, lo cual se traduce en los correspondientes valores de las temperaturas de fusión y de ebullición; también debe poder realizar las correspondientes representaciones de una estructura iónica y otra metálica para poder explicar que un desplazamiento de iones en la primera hace que el cristal sea frágil y que el desplazamiento de iones en el segundo tipo hace a los metales dúctiles y maleables.



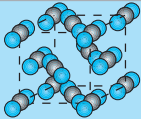
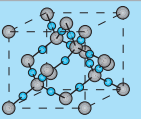
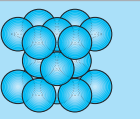
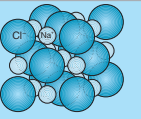
El desplazamiento de los átomos en un cristal metálico no produce fuerzas repulsivas de importancia.

Finalmente, **el experimento 5** se plantea como una investigación lo suficientemente abierta para propiciar la creatividad de los alumnos a la hora de hacer los diferentes diseños

experimentales (recordemos que la mayoría de las pruebas que se necesitan realizar se han efectuado de forma puntual en el desarrollo de la unidad con la ayuda guiada del profesor o profesora). Los alumnos deberán poner en juego tanto sus habilidades experimentales como sus conocimientos teóricos en los que de alguna forma se basarán para efectuar sus diseños, obtener los datos correspondientes e interpretarlos adecuadamente. Además, este experimento sirve de recapitulación de todo el tema, ya que no sólo deben asignar unas propiedades a una determinada sustancia sino que además deben explicarlas en función del tipo de sólido que se supone que forma. Se pueden emplear las siguientes sustancias: estaño, hierro, hidrogenosulfato de potasio, sulfato de cobre (II), cloruro de sodio, azúcar, arena de mar, yodo (manejar cantidades pequeñas debido a su toxicidad), *p*-diclorobenceno (bolas antipolilla; se prefiere éstas a las de naftaleno por ser éstas más tóxicas). Como disolventes orgánicos pueden

emplearse tricloroetano y tolueno. En general se debe tener mucho cuidado con el manejo de los disolventes orgánicos, ya que, aparte de su potencial inflamabilidad, suelen ser tóxicos. Una vez introducidos en el organismo por inhalación o por vía cutánea son transportados por la sangre y almacenados durante cierto tiempo -cerebro, etc.- debido a su liposolubilidad, sufriendo posteriormente diferentes procesos metabólicos. Por ello, es conveniente manipular estos disolventes con guantes y mantener bien ventilado el laboratorio y, a ser posible, manejarlos en vitrina. El tolueno es más narcótico y tiene una toxicidad aguda superior a la del benceno. Sin embargo, los diferentes procesos de oxidación de ambas sustancias aromáticas hacen que el benceno posea un poder cancerígeno superior al tolueno. Otros disolventes como el tetracloruro de carbono son altamente tóxicos y se deberá tener especial cuidado en su manejo.

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE  
LOS PRINCIPALES TIPOS DE SÓLIDOS CRISTALINOS

Sustancias Propiedad	Covalentes moleculares	Covalentes macromoleculares	Metálicas	Iónicas
Partículas en el cristal	Moléculas polares y apolares	Átomos unidos por una red de enlaces covalentes	Iones positivos y electrones deslocalizados	Iones positivos y negativos
Fuerzas atractivas entre las partículas	Fuerzas de Van der Waals y, en ocasiones, puentes de hidrógeno	Enlaces covalentes fuertes	Enlaces metálicos	Atracciones electrostáticas (fuertes) más fuerzas de Van der Waals (débiles)
Estado a temperatura ambiente	Gas, líquido o sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Punto de fusión	Generalmente bajos	Muy altos	Temperatura ambiental y superiores	Alto
Punto de ebullición	Líquidas en un pequeño intervalo de temperaturas	Muy	Líquidas en un gran intervalo de temperaturas	Líquidas en un gran intervalo de temperaturas
Solubilidad en agua	Insolubles en general	Insolubles	Insolubles	Solubles en general
Solubilidad en disolventes orgánicos	Solubles en general	Insolubles	Insolubles	Insolubles
Conductividad eléctrica	No conducen	No conducen	Conducen	Conducen cuando funden o disueltas
Otras propiedades	Blandos	Muy duros	Dúctiles y maleables. Alta conductividad térmica	Duros. Frágiles
Ejemplos	CH <sub>4</sub> , CO, I <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> , SiC, C (diamante)	Al, Cu, Na, latón	NaCl, CaO, CaF <sub>2</sub>
Estructura típica	 CO <sub>2</sub>	 SiO <sub>2</sub>	 Mg	 (NaCl)

La tabla puede servir como referencia a la hora de iniciar el experimento 5.

A.23., A.24., A.25. y A.26. El aspecto de la polaridad del enlace covalente se ha realizado de una forma muy resumida introduciendo los conceptos mínimos para poder explicar posteriormente el enlace intermolecular. Por tanto, conviene tener

en cuenta que los alumnos pueden no tener la oportunidad de dejar de asociar de forma unívoca el concepto de enlace covalente al de simetría electrónica ('los pares de electrones se comparten por igual entre los dos átomos enlazados'). Este apartado puede seguir desarrollándose en la parte de complementos de forma que se ayude a comprender la relación exis-



tente entre polaridad de moléculas poliatómicas y su geometría molecular. Con todo, sólo se estudian situaciones que suponen la existencia de cuatro pares de electrones rodeando al átomo central en donde la geometría molecular se dilucida con la ayuda del modelo de Gillespie (los ejemplos que se proporcionan tratan de hacer una clara distinción entre ordenamiento de los pares electrónicos que rodean al átomo central y geometría molecular).

Geometría:  $\text{CF}_4$ : tetraedro regular;  $\text{H}_2\text{S}$ : angular;  $\text{PH}_3$ : pirámide trigonal;  $\text{HCl}$ : lineal.

Polaridad de moléculas:  $\text{NH}_3$ : polar;  $\text{H}_2\text{S}$ : polar;  $\text{CH}_4$ : apolar;  $\text{HF}$ : polar.

**A.27., A.28. y A.29.** Conviene que el alumnado sea capaz de distinguir entre el enlace intermolecular y el enlace covalente. En principio, sólo se han estudiado las fuerzas dipolo-dipolo y las fuerzas de dispersión de London. El enlace de hidrógeno se puede introducir ampliando lo tratado en el apartado 4. De esta forma, en la actividad se aborda, en primera aproximación, el estudio de las tendencias de las fuerzas de Van der Waals entre los elementos de una misma familia para establecer la relación existente entre masa molecular, número de electrones y fortaleza de la unión entre las moléculas. El establecimiento de una primera regla puede permitir al alumnado realizar las predicciones que se solicitan en la actividad A.28 (los ordenamientos previstos siguen el orden creciente de la masa molecular-tamaño molecular ya que a medida que crece ésta las interacciones intermoleculares se hacen más intensas. Sin embargo, una anomalía importante se presenta al analizar las gráficas que aparecen en la actividad A.29. La resolución de este problema nos permite abordar el enlace de hidrógeno, pero restringido únicamente al caso del agua. El próximo curso se estudiará con todo detalle la importancia del enlace de hidrógeno y se explicará su naturaleza. De momento, sólo nos interesa introducirlo para ayudar a explicar las extraordinarias propiedades del agua y las consecuencias que ello comporta para la vida de nuestro planeta (*"La sustancia más extraordinaria del mundo"*: disolvente, regulador térmico, densidad, etc).

## 4.2. SOLUCIONES DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS

1.  $\text{CCl}_4$ . Los otros dos son sendas combinaciones de un metal con el cloro (no metal).
2. Bastará con que los alumnos indiquen, en primera aproximación, el poseer configuraciones electrónicas que corresponden a niveles completamente ocupados.
3. Son moléculas diatómicas formadas por la unión de átomos idénticos.
4. Cuatro electrones desapareados que corresponden a la siguiente configuración electrónica:  
 $1s^2 2s^1 2p^3$  (cuatro electrones desapareados; covalencia = 4).
5. A partir de la formación del correspondiente ion obtenemos, en cada caso, la valencia iónica (electrones que se ganan o se pierden en dicho proceso):  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{I}^-$ .
6. A partir de la configuración electrónica de cada elemento y, más concretamente, del número de electrones desapareados de la última capa obtenemos la siguiente relación: N(3); H(1); He(0); O(2); F(1).
7. Presencia de iones:  $\text{LiCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , Al, Mg; moléculas:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ .
8. Los iones del compuesto iónico forman enlaces ion-disolvente con el agua. Estos iones existen independientemente del paso o no de corriente eléctrica.
9. Sus altas temperaturas de fusión debido a la fortaleza del enlace iónico (cargas elevadas de los iones).
10. a) Enlaces de hidrógeno y fuerzas de van der Waals; b) enlace metálico; c) enlace iónico; d) enlaces covalentes; e) enlace iónico.
12.  $\text{NaBr}$ , por tratarse de un compuesto iónico.
13. Al, por tratarse de un metal y  $\text{KF}$  (fundido y su disolución acuosa), por ser un compuesto iónico.
14. Sólidos metálicos: Li, Al; sólidos iónicos:  $\text{NaF}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ; sólidos moleculares:  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$  (enlaces intermoleculares y enlaces covalentes entre los átomos que forman cada una de las moléculas); sólidos atómicos: C(diamante), con enlaces covalentes uniendo los átomos de carbono.
15. Metales: sólo transporte de carga; compuestos iónicos: transporte de carga y de materia.
16. a) Falsa. Extrapolación de propiedades macroscópicas a los átomos.  
b) Falsa. Sólo si son átomos idénticos.  
c) Falsa. Se producen entre moléculas, no en las moléculas.  
d) Falsa. En los cristales atómicos los enlaces fuertes son los enlaces covalentes entre los diferentes átomos.  
e) Falsa. Conduce fundido y en disolución.

- f) Falsa. Conduce por tratarse de una mezcla de metales.
17. A: sólido iónico; B: sólido atómico; C: sólido metálico.
18. Se rompen enlaces metálico (Na) y covalente (Cl-Cl) y se forma uno iónico [ $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ].
19. Polaridad y capacidad de formar enlaces de hidrógeno.
20.  $\text{PH}_3$ : triangular plana;  $\text{H}_2\text{S}$ : angular; HF: lineal;  $\text{SiH}_4$ : tetraédrica.
21. a)  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$ : apolares; CO: geometría lineal, polar; en el  $\text{CO}_2$  la geometría también es lineal, pero ahora los dos dipolos de enlace se anulan entre sí: apolar; b) HF: geometría lineal: polar;  $\text{H}_2\text{Se}$ : geometría angular: polar;  $\text{AsH}_3$ : geometría pirámide trigonal: polar;  $\text{SiH}_4$ : geometría tetraédrica; cuatro enlaces polares Si-H dirigidos hacia los vértices de un tetraedro, por lo que los correspondientes dipolos de enlace se anulan entre sí: apolar; c)  $\text{CH}_4$  y  $\text{CCl}_4$ : apolares (una explicación semejante a la realizada para la molécula  $\text{SiH}_4$ ).  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  y  $\text{CHCl}_3$  tienen geometría tetraédrica, pero los enlaces polares que la forman no son todos ellos equivalentes, por lo que los correspondientes momentos dipolares no se anulan entre sí haciendo que en cada caso exista un momento dipolar neto: las tres son polares.
22.  $\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$ ;  $\text{Mg}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$ . Por cada mol de átomos de potasio que se formen se necesitará 1 mol de electrones; en cambio, para descargar 1 mol de iones magnesio se necesitan 2 mol de electrones.
23.  $\text{Rb}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Rb}$ . Por cada mol de electrones se descarga 1 mol de iones  $\text{Rb}^+$  formándose 85,5 g (1 mol) de rubidio metálico.
24.  $\text{Ba}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$ . Por cada ion  $\text{Ba}^{2+}$  que se descarga se necesitan 2 electrones. Para formar 1 mol de bario (137,3 g) se necesitan 2 mol de electrones, lo cual equivale a una carga de  $2 \times 96485 \text{ C}$ .

#### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN PROPUESTA

- Sólidos iónicos  $\text{MgCl}_2$ , LiF; sólidos metálicos: Al, Mg; sólidos moleculares:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{I}_2$ ; sólido atómico (covalente):  $\text{SiO}_2$ .
- Conductores: Al, Mg, y fundidos o en disolución:  $\text{MgCl}_2$ , LiF.
  - Solubles en agua:  $\text{MgCl}_2$ , LiF;  $\text{I}_2$  y  $\text{CO}_2$  presentan una baja solubilidad.
  - Solubles en tolueno:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{I}_2$ .
  - Las sustancias moleculares:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{I}_2$ .
- $\text{MgO}$ : mayor intensidad del enlace iónico al poseer sus iones cargas de mayor magnitud que los correspondientes al KI.
  - $\text{I}_2$ : en ambos se deben vencer fuerzas intermoleculares de Van der Waals. En el caso del yodo estos enlaces son de mayor intensidad debido a que la molécula es más polarizable, lo cual está asociado con el número total de electrones, su tamaño y, en general, con su masa.
  - Ca: mayor intensidad del enlace metálico ya que la carga del ion  $\text{Ca}^{2+}$  es superior a la del ion  $\text{Li}^+$ .
  - $\text{SiO}_2$ : se deben romper fuertes enlaces covalentes (Si-O); en cambio en el caso del oxígeno se deben vencer débiles enlaces intermoleculares.
- Sustancia A: metálica; Sustancia B: iónica; Sustancia C: molecular; Sustancia D: atómica (covalente).
- Moléculas:  $\text{NH}_3$ ;  $\text{CF}_4$ ;  $\text{O}_2$ ; iones: NaF, CaO.
  - Iónico; b) intermolecular (Van der Waals y de hidrógeno); c) intermolecular; d) metálico; e) intermolecular; f) iónico; g) intermolecular; h) covalente.



## 5. ANEXO

### FORMULACIÓN Y NOMENCLATURA DE SUSTANCIAS INORGÁNICAS

Una breve introducción histórica permite abordar el problema que supone el disponer de un sistema de formulación y nomenclatura aceptado universalmente. Por otro lado, a lo largo del anexo se realizan ilustraciones y comentarios que permiten conectar de forma significativa con el mundo real el aprendizaje de la formulación y la nomenclatura de las sustancias inorgánicas.

En las tres figuras iniciales aparecen los símbolos empleados en diferentes momentos de la historia. El que ha supuesto el dotar a la química de un lenguaje propio ha ocasionado el abandono total de ciertos sistemas de formulación y nomenclatura. Además, un esfuerzo de sistematización ha ido paralelo con el desarrollo de la química como disciplina.

Se ha considerado conveniente dividir este estudio en dos grandes bloques en lo que hace referencia a las combinaciones binarias: *sustancias iónicas* y *sustancias covalentes*, aunque luego esta clasificación se extiende para sustancias formadas por la combinación de tres elementos diferentes. Por tanto, esta ordenación evita en gran medida un abordaje clásico que responde a una clasificación como la siguiente: óxidos, hidróxidos, hidruros, ácidos hidrácidos, etc.; en nuestro caso, las combinaciones que corresponden a estos compuestos se encuentran integradas dentro de una clasificación más amplia. Por tanto, compuestos como los *óxidos* se estudian en primer lugar como combinaciones de metal con oxígeno y posteriormente se toma como base el criterio de nomenclatura y formulación establecido para las sustancias iónicas para nombrar y formular los óxidos que resultan de la combinación de oxígeno con un no metal. Un tratamiento análogo se realiza para otras combinaciones entre no metales cuya formulación y nomenclatura se basa en el criterio previamente establecido para combinaciones de metal con no metal. Esta aproximación evita el aprendizaje memorístico de las "valencias covalentes" de los no metales.

Para nombrar a los **compuestos iónicos** primero se enseña *la nomenclatura de los correspondientes iones*. La formación de iones de los elementos representativos se puede justificar en este nivel atendiendo a su configuración electrónica. Los iones que pueden formar algunos elementos, entre los que destacan los elementos de transición, se proporcionan en una tabla para su aprendizaje memorístico. En este nivel consideramos conveniente no justificar la formación de estos iones. Como puede observarse, el número de

elementos considerados ha quedado reducido a un grupo lo suficientemente restringido.

El denominado '*principio de electroneutralidad*' se emplea como criterio que fundamenta la nomenclatura y formulación de los compuestos iónicos y no se utiliza el método que supone el "intercambio de valencias" (y su posible posterior simplificación).

En la aproximación didáctica que se realiza en ningún caso se simplifican los subíndices (fruto de este "intercambio de valencias") ya que una práctica que contemple esta simplificación puede inducir a errores o a la incapacidad de formular algunas sustancias tanto covalentes como iónicas ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$ , etc.).

De esta forma, el criterio empleado se extiende sin dificultad a combinaciones iónicas en las que participan más de dos elementos y suponen la interacción de un catión y un anión, siendo al menos uno de estos dos iones un ion poliatómico. Ello permite incluir en este apartado el estudio de sustancias como los hidróxidos o las sales de amonio. Además, se realiza una introducción a las sales de oxoácidos que permite que posteriormente se pueda abordar su estudio de una forma coherente con la iniciada en este primer bloque.

Como se ha señalado anteriormente, en la formulación y nomenclatura de los **compuestos covalentes** se tratarán 'como si de compuestos iónicos se tratase'. En ocasiones, se proporciona además el nombre tradicional aceptado por la IUPAC. Se debe insistir en que este tratamiento evita el aprendizaje memorístico de las "valencias covalentes". Ello permite además la no formulación de compuestos inexistentes (como sería el caso de algunos "anhídridos") y la formulación y nomenclatura de sustancias que no se ajustan a las "valencias" tradicionales (como puede ser  $\text{ClO}_2$ ).

En consonancia con este criterio, la formulación de los *oxoácidos* no se realiza de acuerdo al esquema anhídrido + agua  $\rightarrow$  [fórmula del ácido sin simplificar]  $\rightarrow$  fórmula del ácido simplificada. La fórmulas de los oxoácidos más comunes se presentan en tablas de forma que puede sistematizarse su estudio de una forma alternativa a un tratamiento más tradicional.

Las *sales de los oxoácidos* se nombran tomando el criterio general establecido previamente para las sustancias iónicas. En este momento se profundiza algo más ya que se estudia previamente la nomenclatura de los oxoaniones a partir de los nombres de los correspondientes oxoácidos.

## 6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Explicar la naturaleza de la unión química en términos de fuerzas de atracción de tipo eléctrico.
2. Dada una sustancia, saber asignarle de forma cualitativa una serie de propiedades físicas tales como temperatura de fusión y de ebullición, conductividad eléctrica, solubilidad, dureza, etc.
3. Conocidas las propiedades físicas de una determinada sustancia, establecer el tipo de sólido que puede formar.
4. Distinguir claramente las diferencias entre el modelo de enlace iónico y el modelo de enlace covalente.
5. Explicar las propiedades de los diferentes tipos de sólidos en función de los tipos de enlace presentes.
6. Distinguir los dos tipos de sólidos (molecular y atómico) en donde los átomos están unidos entre sí mediante enlaces covalentes, estableciendo la fuerza relativa de los enlaces intermoleculares y de los covalentes.
7. Establecer los factores que favorecen la mayor o menor fortaleza de los enlaces iónico, metálico e intermolecular.
8. Conocer los fundamentos de la nomenclatura y formulación química inorgánica.
9. Formular y nombrar los compuestos binarios iónicos y covalentes más usuales y saber nombrar y formular los ácidos inorgánicos más comunes y sus correspondientes sales.

## 7. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

La valoración del proceso de enseñanza-aprendizaje debe ser regulado por las actividades propuestas. La realización de las actividades permiten al profesor o profesora evaluar la comprensión significativa de los conceptos expuestos al alumnado, y adoptar las medidas que estime más oportunas a fin de mejorarlo (replantear determinadas actividades, ampliar o reducir el número de actividades y problemas, realizar esquemas conjuntamente con la clase, elaborar mapas conceptuales, diseñar diagramas de resolución de problemas, realizar pequeñas pruebas con ítems específicos,...). Un aspecto que consideramos importante en el desarrollo del presente tema es el referente a las actividades de recapitulación o de resumen propuestas que permiten a nuestro alumnado una autoevaluación, lo que les facilita comprender el desarrollo del mismo y apreciar los conceptos básicos.

Como elementos de valoración del proceso de enseñanza-aprendizaje proponemos el seguimiento de las actividades propuestas, los informes de los experimentos propuestos, la realización de la autoevaluación que aparece al final de cada tema y la realización de una prueba escrita al finalizar el tema.

A continuación se presentan algunos ejemplos que pueden servir para este último fin.

1. A) Clasifica cada una de las siguientes sustancias por el tipo de sólido que forman:  
KF, Li, C(diamante),  $\text{NH}_3$   
B) Señala para las sustancias del apartado anterior:  
I) Aquellas que conduzcan la corriente eléctrica, indicando en qué condiciones.  
II) Aquellas que sean solubles en el agua o en un disolvente como el tolueno (apolar).

- III) ¿En cuáles de las sustancias del apartado A podemos hablar de la existencia de iones? ¿Cuántas sustancias forman moléculas?  
IV) ¿Qué enlaces deben romperse para fundir cada una de las sustancias indicadas?
2. Indica para cada par de sustancias cuál posee un punto de fusión superior, indicando el motivo:  
a) NaF - CaO ; b)  $\text{F}_2$  -  $\text{Br}_2$ ; c) Na - Mg; d)  $\text{CO}_2$  -  $\text{SiO}_2$
3. Señala los enlaces que deben romperse para producir los siguientes procesos:  
a) Vaporizar bromo líquido.  
b) Disolver sal en agua.  
c) Vaporizar agua.  
d) Fundir aluminio.
4. a) Explica por qué los metales son dúctiles y maleables, y los compuestos iónicos son frágiles.  
b) Explica cuáles son las diferencias fundamentales entre la conductividad eléctrica de los metales y las sustancias iónicas.  
c) Explica la gran diferencia que suele haber en cuanto a su fortaleza entre un enlace covalente y uno intermolecular.
5. Nombrar cada una de las siguientes sustancias:  
a)  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ , MgO,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{IF}_3$ .  
b) Formula cada una de las siguientes sustancias: ácido sulfúrico, yoduro de plata, ácido clorhídrico, óxido de cobre (I), hidróxido de aluminio, óxido de nitrógeno (V), pentacloruro de fósforo, bromuro de cinc.

## 8. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Libros

BENSAUDE-VINCENT, B. y STENGERS, I. (1993). *Histoire de la Chimie*. París: La Decouverte.

BODNER, G.M. Y PARDUE, H.L. (1989). *Chemistry. An experimental science*. Nueva York: Wiley.

BROCK, W.H. (1992). *The Fontana History of Chemistry*. Londres: Fontana Press.

GILLESPIE, R. J., HUMPHREYS, D.A., BAIRD, N.C. y ROBINSON, E.A. (1989). *Chemistry*. Massachusetts: Allyn and Bacon.

JAMES, M., DERBOGOSIAN, M., BOWEN, S. y AUTERI, S. (1991). *Chemical Connections*. Singapore: Jacaranda Press.

LAINCHBURY, A., STEPHENS, J. y THOMPSON, A. (1995). *ILPAC*. Londres: John Murray.

QUÍLEZ, J. (1986). *Enlace químico. Estructuras y propiedades*. Valencia: Cespasa.

STENGERS, I. (1993). La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII. En SERRES, M. *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.

### Artículos

GARNETT, P.J., GARNETT, P.J. y HACKLING, M.W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, **25**, 69-95.

GRIFFITHS, A.K., y PRESTON, K.R. (1992) Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (6), 611-628.

PÉNICAUD, A. (1995). El buckminsterfullereno y sus hermanos los fullerenos, *Educación Química*, **6** (1), 36-43.

# LA QUÍMICA DEL CARBONO

# 12

## 1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL TEMA

Este tema recoge la totalidad de los contenidos del núcleo “Química del carbono”.

Es un tema que presenta una visión general y, a la vez, es la aplicación en torno al carbono y sus enlaces del tema *Estructura de la materia* y del tema *Cambios materiales en los procesos químicos*, en donde se concretan los conocimientos del enlace covalente y se justifica a través del modelo de enlaces la capacidad y versatilidad del carbono para formar tantos enlaces consigo mismo y con otros átomos como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, principalmente.

Para la mayoría del alumnado es el primer contacto con los compuestos del carbono y una ocasión privilegiada de aplicar lo estudiado en los temas anteriores a este fascinante mundo de la química del carbono con sus interesantes aplicaciones a la biología y a la producción y uso de nuevos materiales.

En él se manifiesta, una vez más, una de las características de la metodología científica, que es la de buscar regularidades y aspectos comunes en la diversidad, como es la sistematización de los compuestos del carbono en una serie de grupos funcionales o familias, que constituyen series homólogas con propiedades físicas regulares y químicas semejantes.

Al ser un tema de introducción, el desarrollo se realiza generalmente a un nivel descriptivo y fenomenológico, insistiendo en las aplicaciones más conocidas y su relación con el entorno, poniendo de manifiesto las complejas relaciones entre la ciencia, la técnica, la sociedad y el medio ambiente, especialmente significativa en la mayor parte de los contenidos del mismo: combustión, disolventes, materiales sintéticos, etc.

## 2. CONTENIDOS

1. *Orígenes de la química del carbono: breve revisión histórica.*
2. *Introducción a la estructura y a los enlaces del carbono*
  - La singularidad del carbono.
  - Carácter especial y singular del átomo de carbono.
  - Series homólogas.
3. *Compuestos de carbono e hidrógeno: hidrocarburos*
  - Alcanos.
  - Hidrocarburos insaturados: alquenos y alquinos.
  - Hidrocarburos con doble enlace: alquenos.
  - *Hidrocarburos con triple enlace: alquinos*
4. *Propiedades físicas generales de los hidrocarburos*
5. *Reacciones químicas de los hidrocarburos*
  - Combustión de los hidrocarburos.
  - Reacciones de adición.
6. *Compuestos de carbono con el oxígeno: grupos funcionales*
  - Alcoholes.
  - Éteres.
  - Aldehidos y cetonas.
  - Ácidos.
  - Ésteres.
7. *Compuestos de carbono con el nitrógeno: aminas, amidas y nitrilos*
  - Aminas.
  - Amidas.
  - Nitrilos.
8. *Origen natural de los hidrocarburos: el petróleo*
  - El petróleo: fuente de los hidrocarburos.
  - Las gasolinas.

### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Capacidades que hay que desarrollar)

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<div>1. Conocer los orígenes de la química del carbono.</div> <div>2. Describir la estructura y los enlaces del carbono y, con ellos, los tipos de enlaces: simple, dobles y triples.</div> <div>3. Conocer los principales grupos funcionales en los compuestos de carbono.</div> <div>4. Comprender el concepto de isomería.</div> <div>5. Formular y nombrar hidrocarburos, tanto saturados como insaturados.</div> <div>6. Reconocer compuestos de carbono con el oxígeno: Alcoholes, éteres, aldehidos, cetonas, ácidos y ésteres.</div> <div>7. Conocer los grupos de compuestos de carbono con nitrógeno: aminas, amidas y nitrilos.</div> <div>8. Saber que el petróleo es la fuente de la mayor parte de los hidrocarburos y, especialmente, de las gasolinas.</div>	<div>1. Realizar experimentalmente algunas de las reacciones químicas más interesantes.</div> <div>2. Aplicar los conocimientos adquiridos sobre los enlaces para explicar las propiedades de las sustancias objeto de estudio en este tema.</div> <div>3. Hacer uso de la ordenación y sistematización de los datos obtenidos en los experimentos o en la bibliografía, para establecer regularidades entre los componentes de las distintas familias orgánicas.</div> <div>4. Reconocer por sus fórmulas las principales funciones orgánicas y usar técnicas de reconocimiento de sustancias por medio de algunas propiedades y reacciones características.</div> <div>5. Representar mediante fórmulas las sustancias químicas de interés por su uso cotidiano.</div> <div>6. Enumerar y conocer las principales fracciones que se obtienen de la destilación del petróleo y sus aplicaciones prácticas.</div> <div>7. Exponer y analizar diferentes problemas medioambientales relacionados con procesos químicos y su posible solución o freno.</div>	<div>1. Reconocer el carácter de la ciencia como proceso cambiante y dinámico y valorar la provisionalidad de la explicación científica.</div> <div>2. Tomar conciencia de la limitación de los recursos naturales.</div> <div>3. Comprender las complejas relaciones entre la química y la técnica y el impacto de ambos en la sociedad y en el medio ambiente, valorando la necesidad de no degradar el entorno y de aplicar la ciencia a una mejora en las condiciones de vida actuales.</div> <div>4. Valorar la importancia del carbono como elemento imprescindible en los seres vivos y en la sociedad actual, justificando el elevado número de compuestos que lo contienen por su extraordinaria capacidad de combinación.</div> <div>5. Reconocer el importante papel que tiene la química del carbono en nuestro bienestar, evitando la asociación única química = contaminación.</div> <div>6. Tomar conciencia de la responsabilidad que cada uno/una de nosotros tiene en el cuidado del medio ambiente, comenzando con el que se tiene más cerca y adecuando nuestras costumbres para lograrlo.</div>

## 4. SOLUCIONARIO

### 4.1. SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

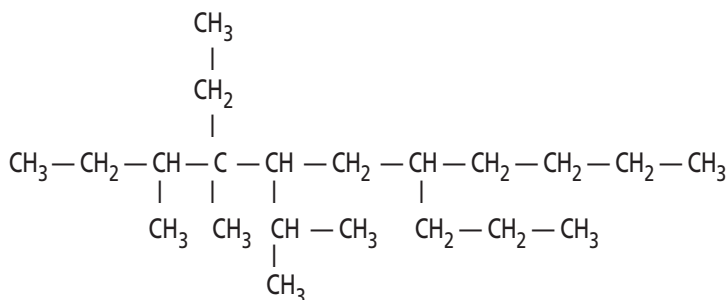
**A.1.** Es una llamada de atención para que alumnas y alumnos se percaten de la cantidad de objetos y sustancias que nos rodean que son compuestos de carbono; aunque muchos de ellos son de origen natural, la mayoría de los mismos son sintéticos: prendas de abrigo, bolígrafos, gomas de borrar, plumas estilográficas, plásticos para forrar los libros, barniz de la madera o pintura de los pupitres, etc.

**A.2.** Además de las sustancias citadas en la **A.1**, tenemos que el suelo que pisamos es normalmente de compuestos calizos o de silicatos, como también las paredes; metales de los pupitres, puertas y ventanas, vidrio de la ventana, la tiza de escribir en la pizarra, papel de aluminio, etc., son ejemplos de sustancia inorgánicas. Quizás las restantes sean orgánicas: papel, madera, bacadillos, plásticos de envolver, carpetas, etc.

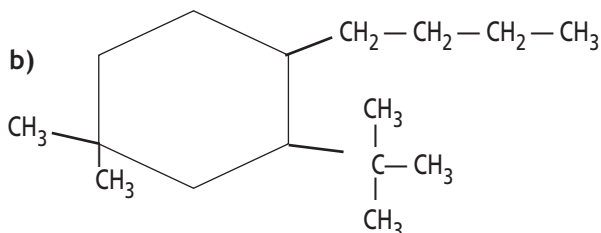
**A.3.** Propano, butano y metano (gases) por su uso como combustible; hexano (disolvente) y sobre todo la gasolina y sus derivados, que son líquidos, como combustibles, y pocos más.

- A.4.** a) 3,4-dimetilhexano  
b) 2, 3-dimetilbutano  
c) 2, 4-dimetilpentano  
d) 2,2,3-trimetilpentano  
e) 2,2-dimetilbutano  
f) 2,4,4-trimetilhexano  
g) 3,4-dimetilheptano  
h) 1-etil-2-metilciclohexano

**A.5.** a)



b)



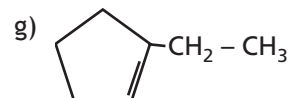
**A.6.** Pentano: CH<sub>3</sub>—CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—CH<sub>3</sub>

2-metilbutano o isopentano: CH<sub>3</sub>—CH—CH<sub>2</sub>—CH<sub>3</sub>  
                  |  
                  CH<sub>3</sub>

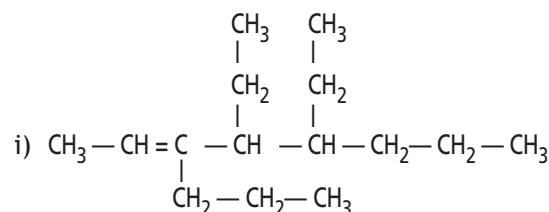
dimetilpropano o neopentano: CH<sub>3</sub>—C—CH<sub>3</sub>  
                  |  
                  CH<sub>3</sub>

**A.7.**

- a) CH<sub>3</sub>—CH<sub>2</sub>—CH=CH<sub>2</sub>  
b) CH<sub>3</sub>—CH=CH—CH<sub>3</sub>  
c) CH<sub>2</sub>=CH—CH=CH<sub>2</sub>  
d) CH<sub>3</sub>—CH<sub>2</sub>—CH=CH—CH<sub>3</sub>  
e) CH<sub>2</sub>=CH—CH=CH—CH<sub>3</sub>  
f) CH<sub>2</sub>=CH—C—CH<sub>2</sub>—CH<sub>3</sub>  
                  |  
                  CH<sub>3</sub>



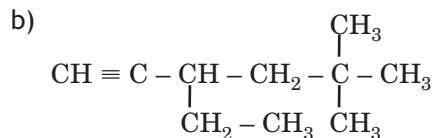
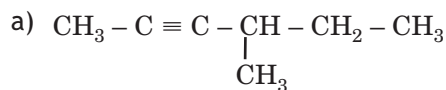
h) CH<sub>3</sub>—CH=CH—CH<sub>2</sub>—CH—CH<sub>2</sub>—CH<sub>3</sub>  
                                  |  
                                  CH<sub>2</sub>—CH<sub>3</sub>



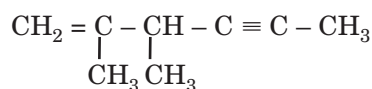
- A.8.** a) 3-etil-1-hexeno;  
b) 3-etil-1,5-hexadieno;  
c) 5,6-dimetil-3-hepteno;  
d) 5-etil-3-hepteno;  
e) 4-etil-6,7-dimetil-4-octeno;  
f) 4,5,6-trimetil-1-octeno;  
g) 3-etil-1,3-hexadieno.  
h) 4-etil-3-metil-ciclohexeno

- A.9.** a) 4-etil-3,5-dimetil-1-hexino;  
b) 2,2-dimetil-3-hexino

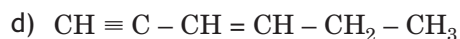
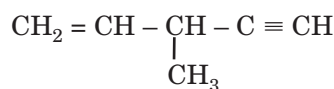




A.10. a)



b)



A.11. a) 2-etil-1-buten-3-ino;

b) 4-metil-3-penten-1-ino;

c) 3-metil-1,3-hexadien-5-ino;

d) 7-propil-1-nonen-4,8-diino;

e) 2-etil-3,3-dimetil-1-hexen-4-ino

A.12. La tabla del libro de los alumnos sirve de referencia para esta actividad. Son gaseosos: metano, etano, propano y butano; líquidos: pentano, hexano, heptano, octano, nonano, decano, undecano y heptadecano (que puede ser sólido cuando la temperatura ambiente sea menor de 23° C).

A.13. Precisamente se debe a la relativamente baja temperatura de ebullición de algunos componentes de las flores y las plantas, y de otras sustancias, que la evaporación sea significativa a temperatura ambiente; pero debido a la difusión entre las partículas del aire, su concentración es ya suficiente para que sea sensible a nuestro sentido del olfato.

A.14. Sabemos que la naftalina a temperatura ambiente pasa directamente de estado sólido a vapor (sublima) y por tanto se difunde por todo el volumen impregnando la tropa de partículas de naftalina. Esta naftalina es veneno para la polilla evitando la proliferación de las mismas, las cuales se alimentan de la ropa. El hecho de sublimar a esta temperatura, es decir no pasa por el estado líquido, es una ventaja adicional ya que no *moja* la ropa, lo que sería un inconveniente.

A.15. El vapor de agua, que se difunde por el aire, al chocar con las paredes condensa en forma de gotitas, debido a la menor temperatura de aquellas. Es una actividad para reforzar la teoría cinético-molecular de la materia en algunos de sus aspectos: difusión y condensación al disminuir la temperatura.

El profesorado debe insistir en los dos párrafos que aparecen en el texto y que transcribimos.

“Recordad que la respiración de los seres vivos es una reacción de combustión en la que se consume oxígeno del aire y se produce dióxido de carbono y vapor de agua, proporcionando la energía necesaria para realizar el metabolismo.

La combustión de los hidrocarburos es de las llamadas limpias, ya que en ella sólo se producen como residuos vapor de agua y dióxido de carbono. Sin embargo en la combustión de otras sustancias orgánicas se producen, además de los anteriores productos, otros que contaminan gravemente el entorno”.

A.16. Para contestar la actividad deben leer antes **El peligro de quemar combustibles en recintos con poca ventilación**. Como este gas es más denso que el aire, cuando se produce en ambientes cerrados, su mayor concentración se encuentra a ras del suelo, precisamente a la altura de los niños que se encuentren jugando o andando en estos locales. Con la renovación del aire el CO se difunde por todo el recinto y su concentración disminuye el airearse el garaje, fue precisamente este fenómeno el que provocó la muerte del más célebre director de orquesta español y promesa mundial Ataúlfo Argenta.

A.17. Si se ha realizado el experimento y extendido la diferencia entre reacciones de adición y de sustitución, la A.17 debe reforzar el aprendizaje: no decoloración con un alcano y sí decoloración con un alqueno o alquino.

A.18. La A.18 es una aplicación del ejemplo 2, para afianzar su aprendizaje. El resultado indica que la fórmula condensada es C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, que es la del butano.

A.19. La lectura **Gas natural y gas ciudad**, presenta algunos de los factores que determinan el uso práctico de diferentes combustibles. La A.19 es del tipo CTS, adecuada para exponerla como póster o transparencia en la propia clase.

A.20. Esta actividad pretende poner de manifiesto este hecho y realizar un pequeño estudio, al menos cualitativo, de la procedencia de la energía utilizada en nuestra ciudad, pueblo o demarcación geográfica y algunos efectos contaminantes sobre el medio ambiente.

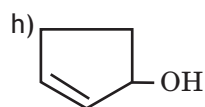
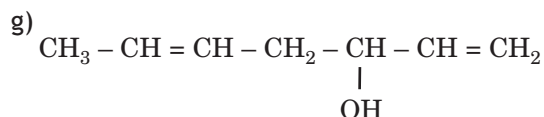
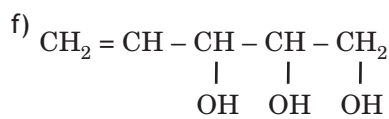
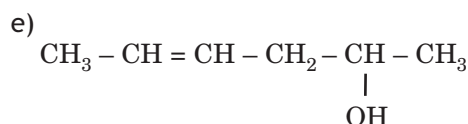
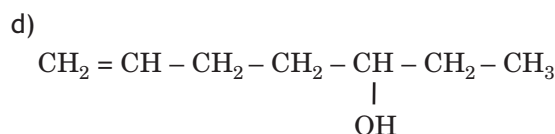
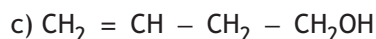
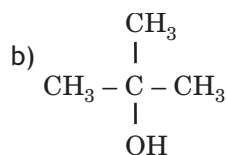
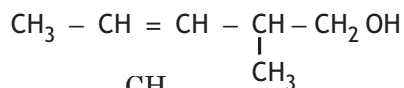
A.21. a) 4-metil-2,3-pentanodiol, secundario;

b) 2-buten-1-ol, primario;

c) 2-3-dimetil-2-pentanol, secundario;

- d) 3-metil-4-penten-1,2-diol, primario y secundario;  
 e) 4-etil-2-metil-ciclopentanol, secundario;  
 f) 4-metil-3-ciclohexen-1-ol, secundario.

**A.22.** a)



**A.23.** a) 1-pentanol; 2-pentanol; 3-pentanol; 3-metil-1-butanol; 3-metil-2-butanol; 2,2-dimetil-1-propanol.

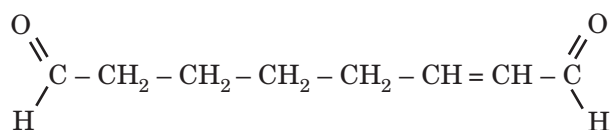
b) 2-penten-4-in-1-ol;

c) 2-metil-4-pentin-2,3-diol;

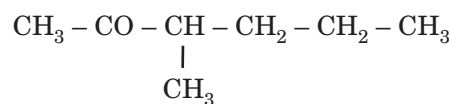
d) 3,5-dimetil-2,5-heptadien-1-ol.

**A.24.** Los resultados son, en el mismo orden de la tabla, los siguientes: 6,80; 9,60; 9,52; 8,28; 14,40; 22,40 y 18,00 g de alcohol.

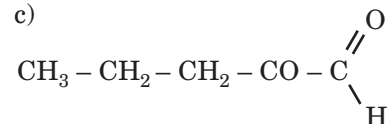
**A.25.** a)



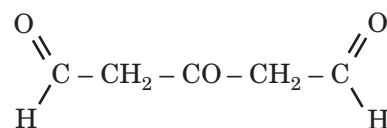
b)



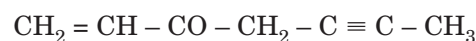
c)



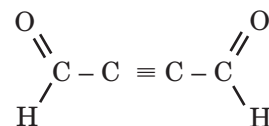
d)



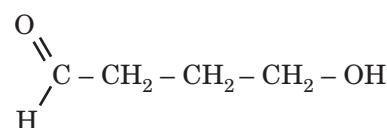
e)



f)



g)



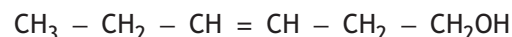
**A.26.** En primer lugar compuestos isómeros de posición.

Alcoholes insaturados de *doble enlace*

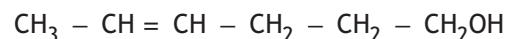
2-hexen-1-ol:



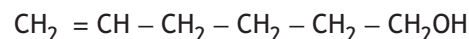
3-hexen-1-ol:



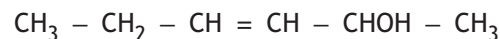
4-hexen-1-ol:



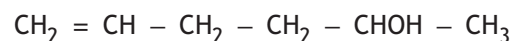
5-hexen-1-ol:



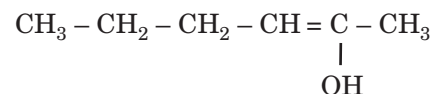
3-hexen-2-ol:



5-hexen-2-ol

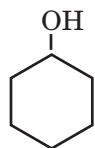


2-hexen-2-ol




$$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CHOH} - \text{CH}_3$$
$$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CHOH} - \text{CH} = \text{CH}_2$$
$$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \underset{\text{OH}}{\text{C}} - \text{CH}_3$$
$$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$$
$$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CHOH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$$


ciclohexanol:

CC1CCCC1O

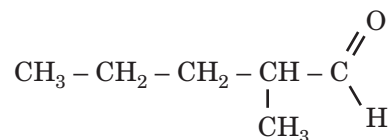
CC1CCCC1O

C[C@H]1CC[C@@H]1OCC1(C)CCC(O)C1CC1(C)CCC1OCC1(C)CCCC1O

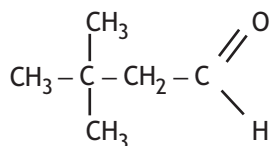
 OC1CCCCC1



2-metilpentanal:

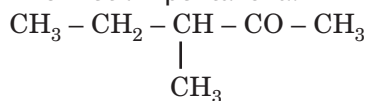

$$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} = \text{O}$$
$$\text{CH}_3 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} = \text{O}$$
$$\begin{array}{ccccccc} & & & & & & \text{O} \\ & & & & & & // \\ \text{CH}_3 - & \text{CH} - & \text{CH} - & \text{C} & & & \\ & | & | & & \backslash & & \\ & \text{CH}_3 & \text{CH}_3 & & \text{H} & & \end{array}$$
$$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{array}$$
$$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\overset{\text{O}}{\text{C}}}$$
$$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\begin{array}{c} | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}}-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{H} \end{array}$$

3,3-dimetilbutanal:

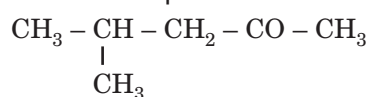


### Cetonas

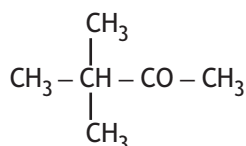
3-metil-2-pentanona:



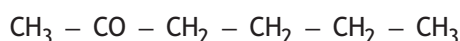
4-metil-2-pentanona:



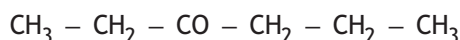
3,3-dimetilbutanoma:



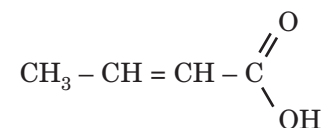
2-hexanona:



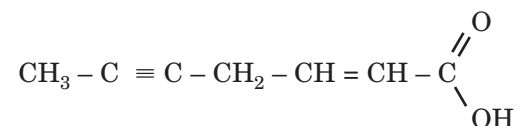
3-hexanona:



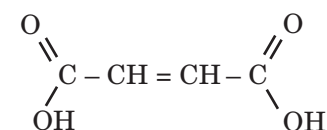
A.27. a)



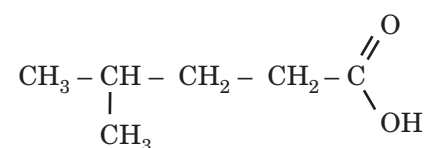
b)



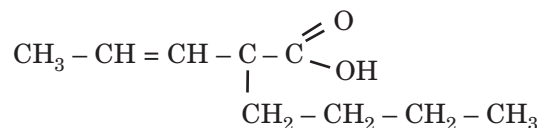
c)



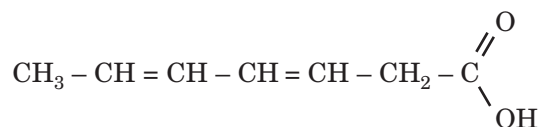
d)



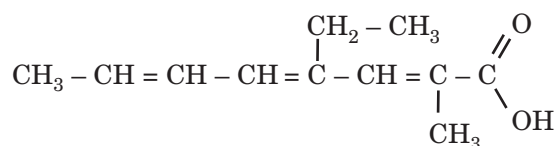
e)



f)



g)



A.28. Actividad de refuerzo de la idea comentada antes de que el grupo ácido solamente es primario, ya que solamente queda un enlace.

A.29. a) ácido propanodioico

b) ácido 2-propinoico

c) ácido 3-metil-2-butenico

d) ácido 2-formilbutanoico

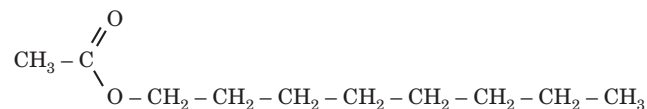
e) ácido 3-etil-2-metil-3-butenico

f) ácido 2-metil-5-hidroxihexanoico

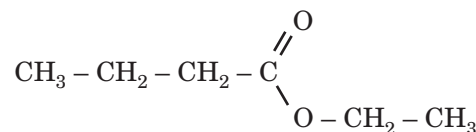
A.30. Para la A.30., se deben traer a la clase etiquetas de diferentes aceites y comparar el grado de acidez de cada uno y el precio en el mercado. De esta manera podremos establecer una relación acidez-precio.

A.31.

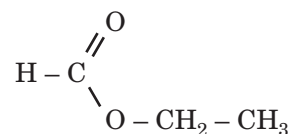
Acetato de octilo:



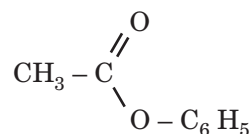
Butanoato de etilo:



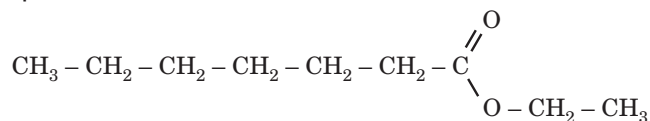
Metanoato de etilo:



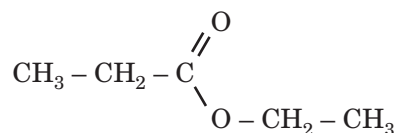
Acetato de bencilo:



Heptanoato de etilo:



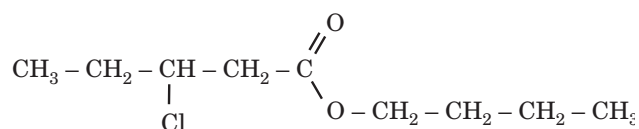
Propanoato de etilo:



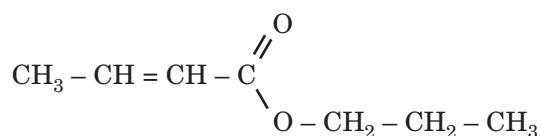
**A.32.**

a) acetato de etilo; b) 3-butenato de metilo

c)



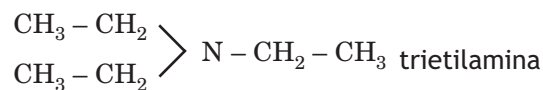
d)



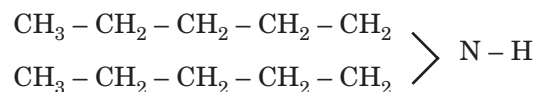
**A.33.** Esta actividad nos muestra la posibilidad de incorporar en muchas reacciones químicas aditivos de todo tipo; en este caso se puede añadir algún éster o esencia que impregna el jabón de aroma y/o de color.

**A.34.**  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$ ; etilamina

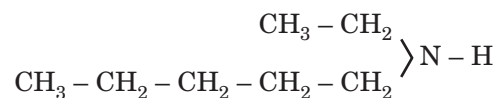
$(\text{CH}_3 - \text{CH}_2)_2 - \text{NH}$ ; dietilamina



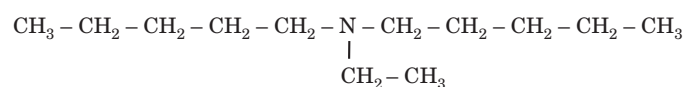
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$  pentilamina



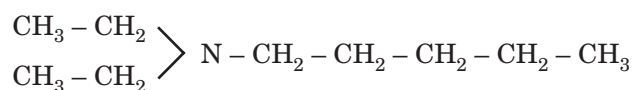
dipentilamina



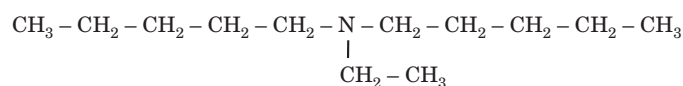
etilpentilamina



tripentilamina



dietilpentilamina



etildipentilamina

**A.35.**

a) etildimetilamina,

b) etilpropilamina;

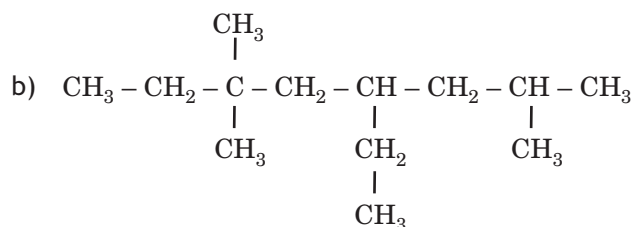
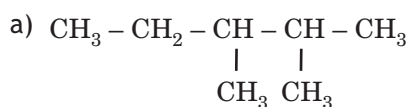
c) vinilamina o etenilamina

**A.36.**

a) N-etilacetamida;

b) propanamida

## FORMULACIÓN Y NOMENCLATURA. Ejercicios finales





## 2°

- a) 3,3-dimetil-1-penteno
- b) 3,5-dimetilheptano
- c) 1-metil-3-propilciclohexano
- d) 3-etil-1-metil-ciclopenteno
- e) 3-etil-6-metilciclohexanol
- f) 4-pentin-2-ol
- g) 4-metil-2-hexanona
- h) 4-metil-1-penten-3-ona
- i) 2,2,4-trimetilpentanol
- j) ácido 4,5-dimetilheptanoico
- k) Acetato de butilo (Etanato de butilo)
- l) Butanamida

- m) Etildimetilamina  
n) metilpropiléter

**A.37.** Esta actividad es fundamental para resaltar la compleja relación entre la ciencia, la técnica y la sociedad, en todas las posibles facetas que inciden en la vida diaria de las personas: el medio ambiente, los transportes, las comunicaciones, medicina, industria en general, agricultura...

Es conveniente que se haga una recopilación de artículos de revistas científicas de divulgación, que normalmente tratan estos temas. Se debe insistir en la responsabilidad personal de cada uno de nosotros y de la sociedad en su conjunto, respecto a las diferencias tan abismales en el nivel de vida entre los países que poseen los yacimientos petrolíferos y los países "consumidores" del petróleo, así como la concienciación ante el grave deterioro del medio ambiente en el más amplio sentido del término.

## 4.2 SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS FINALES

## GENERALES

1. Evidentemente no, ya que existen por ejemplo todos los carbonatos que constituyen los minerales caliza, dolomías, etc.
2. Se debe a la tetravalencia del carbono, que forma cuatro enlaces covalentes equivalentes, cuyo rasgo característico es el de compartirse tanto entre átomos de

- carbono, como entre átomos de carbono y algunos otros átomos, entre ellos, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, etc.
3. Porque aunque sean sólidos o líquidos son muy volátiles, es decir, tienen una temperatura de fusión y de ebullición relativamente baja, y esto determina que su evaporación sea apreciable a cualquier temperatu-

ra (una presión de vapor significativa a esas temperaturas), y por tanto el efecto es que "desaparecen" si el recipiente es abierto.

4. Por la razón apuntada en el ejercicio 3, la evaporación es intensa y la difusión entre las partículas del aire permite que nuestro sentido del olfato detecte su existencia. Todo ello se debe a que la materia está formada por partículas en continuo movimiento, movimiento que es función directa de la temperatura.
5. La razón es la misma que la de los ejercicios 3 y 4, y es lo que da coherencia a una teoría científica; la volatilidad de la gasolina -especialmente cuando la temperatura es alta-, ocasiona una intensa evaporación de la misma y cualquier llama o chispa es suficiente para producir su ignición y la consiguiente explosión al propagarse hacia los depósitos subterráneos de las gasolineras.
6. Isómeros son los compuestos que tienen la misma fórmula condensada pero distinta fórmula desarrollada; por tanto, son compuestos diferentes en sus propiedades físicas y químicas. La isomería es una de las causas de la existencia del gran número de compuestos del carbono. Creemos que hay bastantes ejemplos en el texto para poder contestar.

#### HIDROCARBUROS

7. En este ejercicio pueden escribir tanto compuestos de enlace sencillo, como de dobles y triples, con isómeros de posición y de cadena.
8. Pentano,  $C_5H_{12}$ , 83,3% de C y 16,7% de H; acetileno,  $C_2H_2$ , 92,3% de C y 7,7% de H.
9. Forma parte de una lectura CTS; en ella que hay que resaltar el extraordinario poder energético de su com-

bustión como consecuencia de la ruptura de enlaces, y sobre todo la relativamente limpieza de su combustión (se obtiene mayoritariamente dióxido de carbono y vapor de agua) por tratarse de una mezcla de hidrocarburos principalmente saturados.

10. Hidrocarburo (11,6 g) + oxígeno  $\rightarrow$  dióxido de carbono (32,5 g) + agua

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{M}{\text{vol. molar}}$$

$$M = \text{densidad} \cdot \text{vol. molar} = 2,6 \cdot 22,4 = 58,24 \text{ g/mol.}$$

Según los datos:

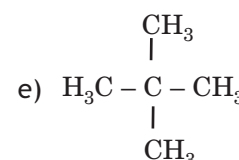
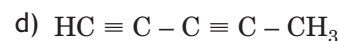
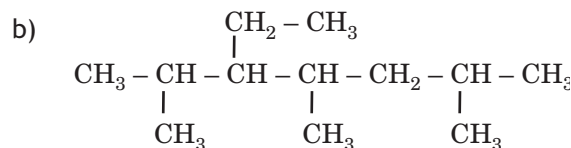
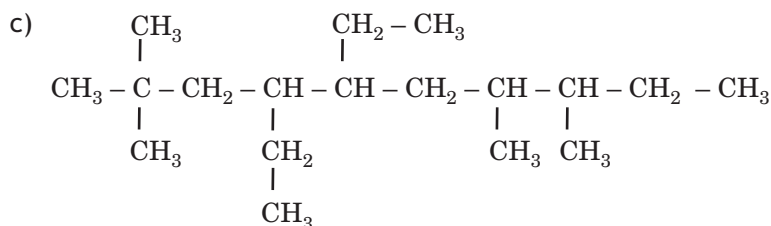
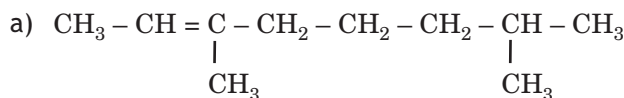
$$n_{\text{hidrocarburo}} = \frac{11,6 \text{ g}}{58,24 \text{ g/mol}} = 0,20 \text{ mol de hidrocarburo}$$

$$n_{\text{dióxido de carbono}} = \frac{32,5 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 0,80 \text{ mol de } CO_2$$

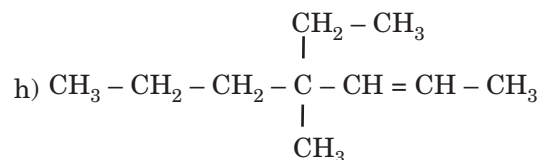
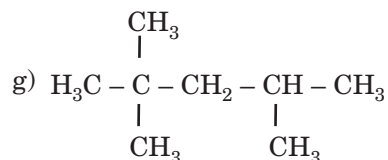
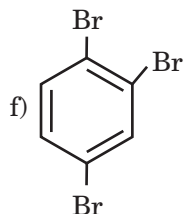
La relación entre ambos es  $0,8/0,2 = 4$ ; como es un hidrocarburo saturado de masa molar 58 g/mol;  $12n + (2n+2) \cdot 1 = 58$ ;  $n = 4$ . Al ajustar la reacción y hacer cálculos se obtienen 18 g de vapor de agua, es decir un mol. El compuesto es  $C_4H_{10}$ .

11. Como el volumen molar en condiciones normales es de 22,4 L y su densidad 2,42 g/L, podemos obtener la masa molar que es  $M = 2,42 \cdot 22,4 = 54,2 \text{ g/mol}$ . Como sabemos el % que representa el C y el H, tenemos que la fórmula es  $C_4H_6$ , que representa el butino.
12. a) 2-metilbutano; b) 3,3,4-trimetilhexano; c) 5,6-dimetil-3-hepten-1-ino; d) 6,6-dimetil-1,3-heptadieno; e) 3,5-dimetil-2-hepteno; f) 4,9-dimetil-5,7-decadien-2-ino; g) 2-etil-1,4-dimetilciclohexano; h) 1-etil-3-metilciclohexeno.

13.

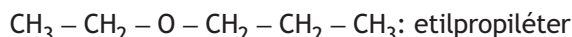






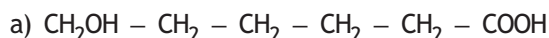
## FUNCIONES OXIGENADAS

14. Todos estos isómeros son de posición: 1-pentanol, 2-pentanol y 3-pentanol y los éteres, que son isómeros de función:

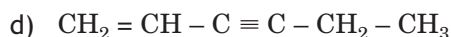
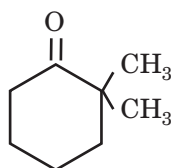


15. a) alcohol: 2-butanol; b) ácido 2-metilbutanoico; c) cetona: 4-metil-2-pentanona; d) ácido 3-metilbutanoico; e) éster: acetato de metilo.

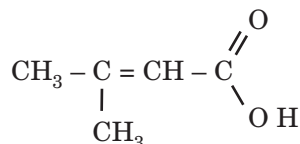
16.



c)



e)



17. Se debe a dos razones: a) Es un compuesto formado por C, H y O y de esta manera la combustión únicamente produce dióxido de carbono y vapor de agua; b) es un compuesto cuyos enlaces son todos sencillos, es decir son más energéticos en proporción a los dobles y triples, y por ello tienen comparativamente un poder energético mucho mayor que otros compuestos de parecida masa molecular con dobles o triples enlaces, de ahí su uso como combustible. Dos enlaces sencillos son más energéticos que uno doble y tres enlaces sencillos más que uno triple.

18. 200 mL de vino de 11°: 17,60 g de etanol.  
200 mL de 45°: 72 g de etanol.

19. La base de la acción limpiadora del jabón en su constitución química: una cadena hidrocarbonada hidrófoba (repelente del agua) que se disuelve en las grasas y aceites, y los rupos polares hidrófilos que se disuelven en el agua; las moléculas de jabón rodean las partículas de suciedad y las envuelven formando micelas.

20. Se debe a que cuando el proceso de la fermentación está activo se desprende  $\text{CO}_2$ , gas que es más denso que el aire, y como la atmósfera está calma (ya que el ambiente es cerrado), la difusión de ambos es muy lenta y el  $\text{CO}_2$  se concentra a ras del suelo. El  $\text{CO}_2$  no es un comburente y por ello la llama de la vela se apaga si estaba encendida. Si la fermentación ha finalizado y el dióxido de carbono se ha difundido completamente en el aire de la bodega, el oxígeno del aire mantiene la llama de la vela.

21. Se trata del etanol, de fórmula  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ . Es una aplicación de uno de los ejercicios tipo resueltos en el texto del alumnado.

22. a) Ácido butanoico, ácido; b) 1-propeno; doble enlace; c) 3-hexanona, cetona; d) 4-hidroxibutanal, aldehído; e) 2-penteno, doble enlace; f) metilamina, amina; g) 1-propanol, alcohol; h) propanoato de etilo, éster.

23.  $\text{S (s)} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 \text{ (g)}$ ; 1t de combustible contiene  $1000 \cdot 0,0095 = 9,5$  kg de azufre, lo que estequiométricamente, según la reacción, produce 19 kg de  $\text{SO}_2$  por tonelada quemada.

24. Con el dato de la densidad relacionamos el volumen de cada sustancia con su masa. Para la gasolina tenemos que la masa correspondiente a 1 L de gasolina es de 690 g; y para el alcohol 1 L de alcohol son 790 g. En un litro de gasohol el 90 % en volumen es gasolina y el 10 % alcohol, por tanto en un litro de ese combustible  $0,9 \cdot 690 = 621$  g son de gasolina y  $0,1 \cdot 790 = 79$  g lo son de alcohol.

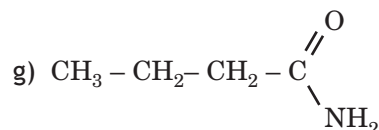
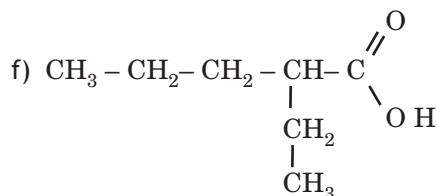
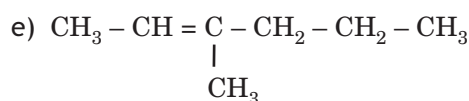
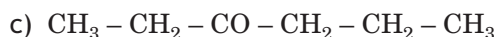
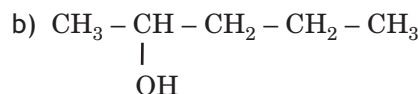
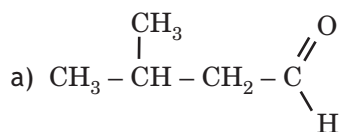
Al quemar 1 L de combustible, teniendo en cuenta el poder energético de cada uno de los componentes, tenemos 28566 kJ ( $46 \text{ kJ/g} \cdot 621\text{g}$ ) al quemar la gasolina contenida en un litro de gasohol y 2354,2 kJ ( $29,8 \text{ kJ/g} \cdot 79$ ) al quemar el etanol de la misma; así el poder energético total de un litro de gasohol es de 30 920,2 kJ. Este valor representa el 97,4 % del poder energético de la gasolina pura.

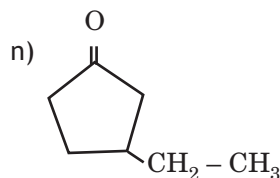
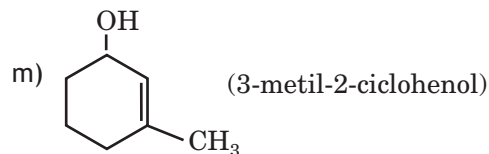
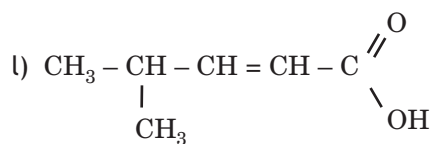
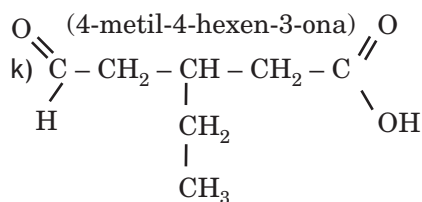
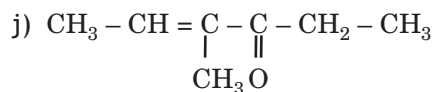
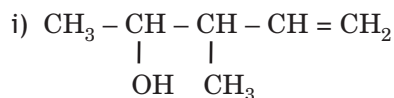
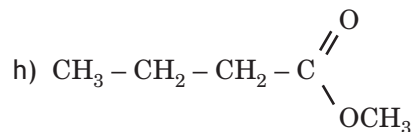
### 4.3. SOLUCIÓN DE LA AUTOEVALUACIÓN

1. Efectivamente, el enlace covalente del carbono que permite enlaces tanto entre átomos de carbono como entre átomos de carbono y otros átomos de electro-negatividad semejante, es el responsable inmediato de la gran abundancia de estos compuestos.
2. El hecho de ser combustibles y, además, ser sustancias con temperaturas de ebullición relativamente bajas, lleva a un aumento del riesgo de combustión y explosión al aumentar la temperatura; ésta es la razón de que los depósitos sean blancos o plateados para reducir la captación de la radiación solar y favorecer la reflexión de la misma, reduciendo así la elevación de la temperatura en el interior del depósito.
3. Este hecho se debe a la diferencia entre los compuestos de carbono saturados, con baja relación C/H y C/O, y los compuestos de carbono insaturados, en los que la relación C/H es alta, lo que se traduce en una peor combustión de los segundos con formación de, además del dióxido de carbono y del vapor de agua, partículas de carbono procedente del exceso de átomos de carbono en estos compuestos.
4. Evidentemente sí, ya que la valencia del carbono es cuatro y puede cerrar la cadena.
5. Al realizar los cálculos se obtiene  $\text{CH}_4$ , metano.

6. Si se ha entendido bien la isomería, es relativamente sencillo escribir isómeros de posición y de estructura tanto de hidrocarburos saturados (posición, hexano y 2,3-dimetil butano), insaturados (posición y de estructura, 1-hexeno, 3-hexeno; 1-hexanol, 2-hexanol, etc), de función: por ejemplo entre aldehidos y cetonas (hexanal y 2-hexanona y 3-hexanona).
7. Se forman 96 g de dióxido de carbono.
8. a) 1,2-etanodiol; b) 2-metil-2-propen-1-ol; c) ácido metanoico; d) 2-metilbutanal  
e) 4-propil-4-hexen-1-ino;  
f) 4-metil-1-hepten-6-ino;  
g) ácido 3-metil-butanoico;  
h) 3-metil-4-hidroxibutanal;  
i) 4,4-dimetil-2-pentanona  
j) metilpropilamina;  
k) acetato de butilo.  
l) 3-metil-1-hexen-4-ino  
m) ácido 4-metil-2-hexenoico  
n) 4-oxopentanal  
o) 5-metil-2-ciclohexenol  
p) 2-metil-5-etil-1,3-ciclopentadieno

9.





## 5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Considerando que los criterios de evaluación oficiales son muy generales y atendiendo a los objetivos señalados en el apartado 3, conviene establecer unos **criterios de evaluación específicos** para el presente tema.

- Conocer la estructura electrónica del carbono y las posibilidades de combinación por medio de enlaces covalentes sencillos, dobles y triples.
- Distinguir los diferentes enlaces que el carbono forma con el hidrógeno: simple, doble y triple.
- Reconocer los hidrocarburos por su tipo de enlace: saturados y no saturados.
- Escribir y nombrar correctamente algunas fórmulas desarrolladas de compuestos del carbono.
- Distinguir a nivel de fórmulas diferentes isómeros.
- Realizar cálculos estequiométricos sobre algunas reacciones características, especialmente de la combustión de los compuestos del carbono.
- Conocer las principales familias de los compuestos que forma el carbono con el hidrógeno y el oxígeno: alcohol, éter, aldehído, cetona, ácido, éster.
- Distinguir los diferentes grupos funcionales de los compuestos anteriores.
- Reconocer las principales funciones que se forman con el nitrógeno: aminas, amidas y nitrilos.
- Resolver ejercicios y problemas relacionados con las reacciones químicas de los compuestos de carbono, utilizando la información que se obtiene de las ecuaciones químicas.
- Describir algunas interrelaciones existentes actualmente entre sociedad, ciencia, y tecnología dentro de los conocimientos propios de este curso.
- Realizar correctamente los experimentos de laboratorio propuestos.
- Reconocer la importancia del petróleo en la sociedad.

## 6. EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN FINAL DEL TEMA

1. Escribe la estructura electrónica del carbono y explica su tetravalencia al combinarse con otros átomos de otros elementos y con otros carbonos.

2. Indica qué son hidrocarburos saturados y nombra alguno de ellos.

3. Pon ejemplos de hidrocarburos insaturados de doble y triple enlace y obtén su fórmula general.

4. Indica por qué los hidrocarburos de doble enlace presentan isomería cis-trans.

5. ¿Cuál es el significado de saturado y de insaturado en los compuestos del carbono?

6. Diferencia un alcohol primario de uno secundario y de otro terciario.

7. Haz un estudio de la importancia de la reacción de combustión y cita los combustibles más usuales.

8. Calcula el oxígeno necesario para la combustión completa de una tonelada de butano.

9. Escribe la fórmula e indica la familia de: 3-metilhexano; 3,3-dimetil-1-hexeno; 2-propanol; ácido butanoico; metilamina y acetato de butilo.

10. Nombra los siguientes compuestos:

11. Formula los siguientes compuestos: a) 3-etil-2,4,5-trimetilheptano; b) 2-pentanona; c) 3-etil-2-metilpentano; d) 2,3-dimetilhexano; e) 3,3-dimetil-1-hexino; f) 2-metil-2-propanol.

12. Nombra los compuestos y las familias a las que pertenecen:

a)  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ ; b)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ ; c)  $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_3$ ; d)  $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-CHO}$ ; e)  $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$

13. Formula los compuestos: a) 3,3-dietil-4-metiloctano; b) 1-etil-4-metilciclohexano; c) 1,6-heptadieno; d) 4-metil-2-pentino; e) 2-propen-1-ol; f) 3-butin-2-ol.

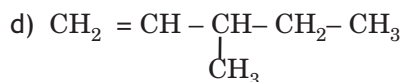
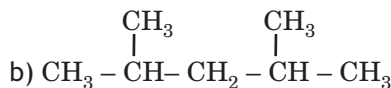
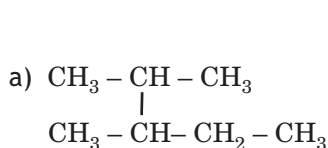
14. Formula y nombra un compuesto de cada una de las familias o funciones orgánicas estudiadas en este tema.

15. Sabes que las grasas y el agua no se disuelven; sin embargo, el uso del jabón permite la limpieza de la grasa con agua. Da una explicación de este hecho.

16. Explica brevemente en qué consiste el craqueo del petróleo y su importancia económica.

17. Escribe los isómeros de posición de  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .

18. Dibuja los isómeros de  $\text{C}_4\text{H}_8$ .



## 7. RECURSOS DIDÁCTICOS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

### Artículos

MONDELO, M. y otros. 1994. Materia inerte/materia viva ¿tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2), pp. 226-233.

### Libros

ALLINGER, N.L. y otros. 1986. *Química Orgánica*. Reverté: Barcelona.

ASIMOV, I. 1979. *Breve historia de la química*. Alianza: Madrid.

BENEDITO, J. y otros. 1983. *Introducción a una Química Orgánica razonada*. ICE (8): Universitat de València.

DOMÉNECH, X. 1994. *Química Ambiental*. Miraguano: Madrid.

NOLLER, C.R. 1972. *Química Orgánica*. Interamericana: Barcelona.

PRIMO YÚFERA, E. 1995. *Química Orgánica básica y aplicada*. Reverté: Barcelona y Universitat Politècnica de València.

SOLOMONS, G. 1992. *Química Orgánica*. Limusa Wiley: México.

VOLHARDT, J. 1990. *Química Orgánica*. Omega: Barcelona.

QUÍMICA SALTERS. 1995. *Unidad 2: Desarrollo de combustibles*. SP Universidad Politécnica de Valencia.

### Videos

**Energía**. Open University. (25')

**El origen de la vida en la sopa primordial**. Open University (25 minutos)

En este vídeo se presenta una visión de cómo se estudia el origen de la vida y su relación con los compuestos de carbono detectados en el Universo.

**El sol, las ciudades y el smog**. Open University (25 minutos)

Las grandes ciudades tienen una común desventaja, el “smog” o niebla agravada por el humo y la polución. La combinación de la luz solar con los humos que despiden los tubos de escape de los vehículos a motor inician una compleja reacción en cadena con producción de dióxido de nitrógeno y ozono, entre otros componentes del “smog”.

**El origen del petróleo**. Open University (25 minutos)

El origen del petróleo ha sido objeto de controversia entre geólogos y químicos a lo largo del s. XX. Se presenta la versión más ampliamente aceptada de los procesos de formación del petróleo que tienen lugar en la corteza terrestre. Examina las pruebas existentes y describe las condiciones óptimas para su formación.

**La búsqueda del petróleo**. Open University (25 minutos)

El éxito de la búsqueda del petróleo se basa en la comprensión de la estructura de los depósitos petrolíferos y de los gases que lo acompañan y en el buen uso de las técnicas de exploración. El vídeo resume brevemente la historia de la prospección petrolífera y presenta un éxito aún reciente basado en la sismología: los yacimientos hallados por British Petroleum en el mar del Norte en 1969.

**Guía del profesor**  
Física  
y Química  
**1**

ISBN 978-84-9826-433-3



9

7 8 8 4 9 8 2 6 4 3 3 3