



Material en revisión por el autor. Si ves un error, [avísanos](#).

CIENCIAS GENERALES · 2.º BACHILLERATO

Cuaderno de *actividades*

Ciencias Generales

20 ACTIVIDADES · 8 TESTS CON SOLUCIONARIO · CURRÍCULO LOMLOE

EDITORIAL

profedefyq.es

EDICIÓN

Profesorado · curso 2026/27

GENERADO

23 de octubre de 2026

CÓMO USAR ESTE CUADERNO

Este cuaderno recoge todas las **actividades prácticas** de Ciencias Generales (2.º Bachillerato), agrupadas por unidad y acompañadas del **test de autoevaluación** de cada una. Es la edición para **profesorado**: los ejercicios incluyen su **solución** y al final está el **solucionario** de los tests.

Cada actividad indica su tipo (caso, ejercicio, debate, dinámica, proyecto, investigación, noticia, gráfico, juego o creativo), la duración orientativa, el agrupamiento sugerido y los materiales necesarios. Todo está pensado para usarse tal cual o adaptarse a vuestro grupo.

El contenido se basa en el currículo básico estatal LOMLOE para Ciencias Generales (RD 243/2022). Conviene consultar la concreción de vuestra comunidad autónoma.

Material abierto de profedefyq.es · Licencia Creative Commons BY-NC-SA · Erratas y propuestas: contacto@oposicionesfyq.es

Contenido

01	Unidad 1	4 act. · test (14)
02	Unidad 2	2 act. · test (14)
03	Unidad 3	2 act. · test (16)
04	Unidad 4	2 act. · test (16)
05	Unidad 5	3 act. · test (14)
06	Unidad 6	2 act. · test (15)
14	Unidad 14	2 act. · test (15)
15	Unidad 15	3 act. · test (15)

UNIDAD 1

EJERCICIO

1 sesión de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: medidas, unidades y cifras significativas

ENCAJE CURRICULAR · Saberes A.2, A.4 · Comp. específicas CE1, CE4 · Comp. clave STEM, CPSAA

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 4.2, 1.3

Ejercicios

1. **Cifras significativas.** ¿Cuántas cifras significativas tiene cada número? $0,00450 \cdot 3,020 \times 10^3 \cdot 100,0 \cdot 5 \times 10^{-2}$
2. **Operar con cifras significativas.** Expresa con las cifras correctas: a) el área de un rectángulo de $12,4 \text{ cm} \times 3,1 \text{ cm}$; b) la suma de dos longitudes, $12,4 \text{ cm} + 3,15 \text{ cm}$.
3. **Cambio de unidades.** Escribe el factor de conversión de cada paso. a) 72 km/h en m/s . b) La densidad del agua de mar, $1,03 \text{ g/cm}^3$, en kg/m^3 .
4. **Una serie de medidas.** Con una balanza de resolución $0,01 \text{ g}$ se pesa cinco veces la misma pieza: $25,12 \text{ g} \cdot 25,15 \text{ g} \cdot 25,10 \text{ g} \cdot 25,14 \text{ g} \cdot 25,13 \text{ g}$. Expresa el resultado con su incertidumbre (u_A , u_B y combinada) y calcula la incertidumbre relativa.
5. **Comparar incertidumbres relativas.** ¿Cuál de estas medidas tiene menor incertidumbre relativa, $(2,50 \pm 0,05) \text{ m}$ o $(125,0 \pm 0,5) \text{ mm}$? Justifícalo con el cálculo.
6. **Análisis crítico.** Un grupo calcula g a partir del período de un péndulo y obtiene $12,3 \text{ m/s}^2$. ¿Es viable el resultado? Propón una causa concreta que lo explique, cuantifícala si puedes y di cómo la comprobarías.

SOLUCIÓN

1. 0,00450 $\rightarrow$ 3 cifras significativas (los ceros de la izquierda no cuentan; el final sí). $3,020 \times 10^3 \rightarrow 4,100,0 \rightarrow 4,5 \times 10^{-2} \rightarrow 1$.
2. a) $12,4 \text{ cm} \times 3,1 \text{ cm} = 38,44 \text{ cm}^2 \rightarrow 38 \text{ cm}^2$ (2 cifras, las del dato 3,1). b) $12,4 \text{ cm} + 3,15 \text{ cm} = 15,55 \text{ cm} \rightarrow 15,6 \text{ cm}$ (posición decimal de 12,4).
3. a) $72 \text{ km/h} \times (1000 \text{ m} / 1 \text{ km}) \times (1 \text{ h} / 3600 \text{ s}) = 20 \text{ m/s}$. b) $1,03 \text{ g/cm}^3 \times (1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}) \times (10^6 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3) = 1,03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.
4. Media: $125,64 \text{ g} / 5 = 25,128 \text{ g}$. $s = \sqrt{(0,00148 \text{ g}^2 / 4)} = 0,0192 \text{ g}$. $u_A = 0,0192 / \sqrt{5} = 0,0086 \text{ g}$. $u_B = 0,01 / \sqrt{12} = 0,0029 \text{ g}$. $u = \sqrt{(0,0086^2 + 0,0029^2)} = 0,0091 \text{ g} \approx 0,009 \text{ g}$. Resultado: $m = (25,128 \pm 0,009) \text{ g}$. Incertidumbre relativa: 0,036 %.
5. $(2,50 \pm 0,05) \text{ m} \rightarrow 0,05 / 2,50 = 2 \%$. $(125,0 \pm 0,5) \text{ mm} \rightarrow 0,5 / 125,0 = 0,4 \%$. La segunda tiene menor incertidumbre relativa, aunque mide una longitud mucho menor.
6. $g = 12,3 \text{ m/s}^2$ no es viable: en la superficie terrestre g vale unos $9,8 \text{ m/s}^2$ y varía menos de un 1 % entre lugares. Causas compatibles: contar 9 oscilaciones como si fueran 10 (el período sale un 10 % corto y $g \approx 1,2$ veces mayor, porque $g \propto 1/T^2$: $1/0,9^2 = 1,23$), o medir L de más. Comprobación: repetir contando en voz alta y medir L hasta el centro de la masa. Conclusión: se revisa el método antes de dudar de la física.

INVESTIGACIÓN

2 sesiones de 55 min · grupos de 4

Investigación: de la noticia al artículo original

ENCAJE CURRICULAR · Saberes A.3, A.4, A.5 · **Comp. específicas** CE1, CE5, CE6 · **Comp. clave** CD, CCL, STEM, CPSAA

MATERIALES: Ordenadores o móviles con conexión · Documento compartido por grupo

Criterios: 5.2, 6.1, 6.2, 1.3

Planteamiento

En septiembre de 2011 muchos medios titularon que unos neutrinos habían viajado más rápido que la luz. Meses después, el resultado se atribuyó a un fallo instrumental. Vuestro trabajo es reconstruir el caso **desde las fuentes originales** y decidir qué fuentes merecían confianza en cada momento.

Tareas

1. **Reperto de papeles.** Cada miembro del grupo asume uno: prensa (busca dos noticias de septiembre de 2011 y dos de 2012), institución (comunicados del CERN), artículo (versiones en arXiv y publicación final) y coordinación (cronología y documento compartido).
2. **Ficha por fuente.** Para cada fuente anotad: quién la firma, fecha, tipo (primaria o secundaria), de dónde salen sus datos y si enlaza a la fuente original.
3. **Cronología.** Ordenad los hechos entre el 23 de septiembre de 2011 y el 8 de junio de 2012. Marcad en qué fecha cambia lo que se sabe y por qué.
4. **El número.** Localizad en el artículo publicado el valor de $(v - c)/c$ con su incertidumbre. ¿Es compatible con cero? Explicadlo con lo aprendido en la unidad.

5. **Conclusión.** En 200 palabras: ¿qué fuente habríais citado en septiembre de 2011 y cómo la habríais citado? ¿Qué hizo bien la colaboración OPERA?

Producto

Una cronología de una página con las fuentes enlazadas y citadas, más la conclusión. Se presenta en 3 minutos al resto de la clase.

Criterios de evaluación

- Todas las fuentes están citadas con autor o institución, fecha y enlace.
- Se distinguen correctamente fuentes primarias y secundarias.
- La interpretación del resultado numérico usa la incertidumbre.
- El documento compartido refleja la aportación de cada miembro.

SOLUCIÓN

1. Fuente institucional: el comunicado del CERN del 23-09-2011 recoge actualizaciones del 18-11-2011, 23-02-2012, 16-03-2012 y 08-06-2012 (<https://home.cern/opera-experiment-reports-anomaly-in-flight-time-of-neutrinos-from-cern-to-gran-sasso/>). Es fuente primaria institucional, fechada y firmada por el laboratorio.
2. Artículo científico: arXiv:1109.4897 tiene cuatro versiones (22-09-2011, 17-11-2011, 11-07-2012 y 12-07-2012). La versión publicada en Journal of High Energy Physics (2012, 093; DOI 10.1007/JHEP10(2012)093) da $(v - c)/c = (2,7 \pm 3,1 \text{ (est.)} + 3,4/-3,3 \text{ (sist.)}) \times 10^{-6}$, compatible con cero: no hay anomalía.
3. Causa: un elemento defectuoso del sistema de sincronización por fibra óptica (conector), identificado como posible fallo el 23-02-2012; el 16-03-2012 el experimento independiente ICARUS publicó una medida, hecha con el haz de finales de 2011, compatible con la velocidad de la luz, y el 08-06-2012 (conferencia de Kioto) los cuatro experimentos de Gran Sasso presentaron tiempos compatibles con ella y el CERN atribuyó el resultado original a ese fallo de la fibra óptica.
4. Lo que se espera del alumnado: distinguir fuentes primarias (CERN, arXiv, JHEP) de secundarias (prensa); notar que muchas noticias de septiembre de 2011 no tuvieron seguimiento; y valorar que la colaboración pidió verificación externa desde el primer anuncio.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min · grupos de 3

Práctica: ¿de qué depende el período de un péndulo?

ENCAJE CURRICULAR · Saberes A.1, A.2, A.4 · **Comp. específicas** CE1, CE4, CE6 · **Comp. clave** STEM, CCL, CD, CPSAA

MATERIALES: Soporte con varilla, nuez y pinza (uno por grupo) · Hilo inextensible de unos 1,2 m · Tres masas de distinto valor con gancho (por ejemplo, 50 g, 100 g y 200 g) · Cinta métrica (resolución 1 mm) · Transportador de ángulos · Cronómetro digital (resolución 0,01 s) o el del móvil · Hoja de cálculo u hoja milimetrada

Criterios: 1.1, 1.2, 1.3, 4.2, 6.2

Objetivo

Contrastar experimentalmente de qué depende el período de un péndulo simple, controlando variables, y expresar cada resultado con su incertidumbre y sus cifras significativas. Como resultado final, obtener la aceleración de la gravedad g a partir de una gráfica.

Planteamiento

Antes de medir, cada grupo escribe su predicción razonada para tres hipótesis:

- 1. El período **depende de la masa** que cuelga.
- 2. El período **depende de la amplitud** (el ángulo inicial).
- 3. El período **depende de la longitud** del hilo.

Para cada una, identificad la variable independiente, la dependiente y las controladas. No se vale cambiar dos cosas a la vez.

Normas de seguridad específicas

- Fijad el soporte a la mesa con su base y, si es alto, con un sargento: un soporte que vuelca con una masa de 200 g colgando puede golpear a alguien.
- Comprobad el nudo antes de soltar la masa y no superéis los 30° de amplitud: a ángulos mayores la masa puede salir despedida si el nudo cede.
- Nadie se coloca en la trayectoria de la masa ni con la cara a su altura mientras oscila.
- Las masas se sueltan, no se lanzan. Al terminar se recogen en su caja, no se dejan en el borde de la mesa.

Procedimiento

- 1. **Montaje.** Colgad el hilo de la pinza y atad la masa de 100 g. Medid la longitud L desde el punto de suspensión hasta el **centro** de la masa.
- 2. **Medida tipo.** Separad la masa unos 10° (con el transportador), soltadla sin empujar y dejad pasar una oscilación. Cronometrad 10 oscilaciones completas, empezando y terminando cuando la masa pase por el punto más bajo. Repetid 5 veces.
- 3. **Hipótesis 1.** Con $L \approx 0,60$ m y 10°, repetid la medida tipo con las masas de 50 g, 100 g y 200 g, reajustando el hilo para que L no cambie.
- 4. **Hipótesis 2.** Con la masa de 100 g y $L \approx 0,60$ m, repetid con amplitudes de 5°, 10°, 20° y 30°.
- 5. **Hipótesis 3.** Con la masa de 100 g y 10°, repetid para $L \approx 0,20; 0,40; 0,60; 0,80$ y 1,00 m.
- 6. **Tratamiento.** Para cada serie, calculad el valor medio de t_{10} , su incertidumbre ($u_A = s/\sqrt{5}$, $u_B = 0,01\text{ s}/\sqrt{12}$, $u = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)}$) y el período $T = t_{10}/10$ con su incertidumbre $u/10$.
- 7. **Gráfica.** Representad T^2 (eje vertical) frente a L (eje horizontal), trazad la recta que mejor se ajusta y calculad su pendiente.

Tabla de datos

Una tabla por serie. Ejemplo para la hipótesis 3:

L (M)	T ₁₀ (S) MEDIDA 1	2	3	4	5	T̄ ₁₀ (S)	U (S)	T (S)	T² (S²)
0,200									

0,400

0,600

0,800

1,000

Cuestiones

1. ¿Por qué se cronometran 10 oscilaciones y no una sola? ¿Qué le pasa a la incertidumbre del período?
2. En vuestras medidas, ¿qué incertidumbre domina, la de tipo A o la de tipo B? ¿Qué os dice eso sobre el cronómetro?
3. ¿Habéis encontrado dependencia con la masa? ¿Y con la amplitud? Redactad la conclusión teniendo en cuenta la incertidumbre: «no depende» y «no se aprecia con nuestra incertidumbre» no son lo mismo.
4. La física predice $T^2 = (4\pi^2/g) \cdot L$ para oscilaciones pequeñas. Calculad g a partir de vuestra pendiente y comparadlo con $9,8 \text{ m/s}^2$. Si la diferencia es grande, proponed una causa concreta y cómo comprobarla.
5. Escribid el informe con la estructura de la unidad: objetivo e hipótesis, material, procedimiento, resultados, análisis, conclusiones. Indicad qué hizo cada miembro del grupo.

Alternativa virtual

Si no hay laboratorio disponible, la práctica completa puede hacerse con la simulación [Laboratorio de péndulo de PhET](#) (Universidad de Colorado, en español). Permite cambiar longitud, masa y amplitud y trae cronómetro. Para que haya incertidumbre real, cronometrad a mano con el móvil sobre la pantalla en lugar de leer el período que da la propia simulación.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Diseño y control de variables (1.1, 1.2)	Cambia varias variables a la vez	Identifica las variables, pero no las controla en todas las series	Controla las variables en las tres series	Controla las variables y justifica por qué cada una podría influir
Seguridad y trabajo de laboratorio (1.2)	Incumple las normas	Las cumple con recordatorios	Las cumple sin recordatorios	Las cumple y corrige a tiempo un riesgo del montaje
Tratamiento de datos (4.2)	Sin incertidumbres o sin unidades	Calcula medias con unidades, sin incertidumbre	Expresa cada resultado como (valor $\pm$ u) unidad con cifras correctas	Además, identifica qué incertidumbre domina y por qué

Gráfica y cálculo de g (4.2)	No hay gráfica o no es interpretable	Gráfica correcta sin cálculo de g	Calcula g con unidades y lo compara con 9,8 m/s ²	Analiza la discrepancia y propone una causa comprobable
Comunicación y equipo (1.3, 6.2)	Informe incompleto	Informe con todas las partes	Informe claro con conclusiones matizadas por la incertidumbre	Informe claro, conclusiones matizadas y reparto de tareas documentado

SOLUCIÓN

1. Hipótesis 1 (masa): con L y amplitud fijas, los períodos medios de las tres masas deben coincidir dentro de su incertidumbre (diferencias de pocas milésimas de segundo, del orden de u). Si un grupo encuentra una diferencia mayor que la suma de incertidumbres, suele deberse a que la longitud no se midió hasta el centro de la masa: al cambiar de masa cambió L sin querer.
2. Hipótesis 2 (amplitud): para 5°, 10° y 20° el período aumenta un 0,05 %, un 0,19 % y un 0,77 % respecto al de oscilaciones muy pequeñas (resultado exacto con la integral elíptica; para L = 0,60 m, de 1,555 s a 1,567 s a 20°). Con cronometraje manual (dispersión típica s ≈ 0,07 s en t₁₀, 5 repeticiones → u ≈ 0,003 s en T), la diferencia entre 5° y 10° (0,002 s) no se aprecia; entre 5° y 20° (0,011 s) es unas 2,4 veces la incertidumbre de la diferencia ($\sqrt{2} \cdot 0,0033 \text{ s} \approx 0,0046 \text{ s}$), en el límite de lo detectable; a 30° el aumento es del 1,7 % (0,026 s, unas 5,7 veces) y se detecta con claridad. Un grupo que detecte el efecto a 20° puede tener razón. La conclusión correcta para 5-10° es «no se aprecia dependencia con nuestra incertidumbre», no «no depende».
3. Hipótesis 3 (longitud): valores esperados con g = 9,80 m/s²: L = 0,20 m → T = 0,898 s; 0,40 m → 1,269 s; 0,60 m → 1,555 s; 0,80 m → 1,795 s; 1,00 m → 2,007 s. T² = 0,806; 1,611; 2,417; 3,223; 4,028 s².
4. Pendiente teórica de T² frente a L: $4\pi^2/g = 39,48 / 9,80 = 4,03 \text{ s}^2/\text{m}$. Si un grupo obtiene una pendiente de 4,03 s²/m, g = $4\pi^2 / 4,03 = 9,80 \text{ m/s}^2$. Cualquier valor entre 9,6 y 10,0 m/s² es un buen resultado con cronometraje manual.
5. Valoración: la recta T² frente a L debe pasar cerca del origen. Una ordenada en el origen claramente positiva indica que se midió L hasta el punto de enganche de la masa y no hasta su centro (error sistemático): corrige L, pero no cambia la pendiente.

SITUACIÓN DE APRENDIZAJE

5 sesiones de 55 min (dentro de las 6 de la unidad 1)

· grupos de 3-4 con roles

Situación de aprendizaje: ¿nos podemos fiar de una noticia científica?

ENCAJE CURRICULAR · Saberes A.1, A.2, A.3, A.4, A.5 · **Comp. específicas** CE1, CE6 · **Comp. clave** CCL, STEM, CD, CPSAA, CC

MATERIALES: Ordenadores o móviles con conexión y un documento compartido por grupo · Material de la práctica del péndulo: soporte, hilo, tres masas, cinta métrica, transportador y cronómetro · Hoja de cálculo

Criterios: 1.1, 1.2, 1.3, 6.1, 6.2

Propuesta para adaptar al grupo y al centro, tal como se plantea en la programación de la asignatura.

Contexto

Cada semana llegan al móvil titulares del tipo «un estudio demuestra que...». Casi nunca enlazan al estudio, a veces lo exageran y de vez en cuando lo contradicen. Esta situación de aprendizaje abre el curso con una pregunta práctica: **¿cómo decide una persona sin formación especializada si una noticia científica es fiable?** El alumnado responde por dos caminos a la vez. Como lector, rastrea una noticia real hasta su fuente original. Como productor de conocimiento, mide algo él mismo y descubre que ninguna medida es exacta y que comunicar un resultado exige decir cuánto se puede confiar en él.

El caso modelo es el de los neutrinos de OPERA (2011-2012), que la unidad 1 trata en el libro y en la investigación «De la noticia al artículo original». La medida de laboratorio es la práctica «¿De qué depende el período de un péndulo?» de la misma unidad.

Competencias específicas y criterios de evaluación

- **CE1.** Aplicar las metodologías propias de la ciencia, utilizando con precisión, procedimientos, materiales e instrumentos adecuados, para responder a cuestiones sobre procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos.
 - 1.1 Plantear y responder cuestiones acerca de procesos observados en el entorno, siguiendo las pautas de las metodologías científicas.
 - 1.2 Contrastar hipótesis, realizando experimentos en laboratorios o en entornos virtuales, siguiendo las normas de seguridad correspondientes.
 - 1.3 Comunicar los resultados de un experimento o trabajo científico, utilizando los recursos adecuados y de acuerdo a los principios éticos básicos.
- **CE6.** Utilizar recursos variados, con sentido crítico y ético, para buscar y seleccionar información contrastada y establecer colaboraciones.
 - 6.1 Buscar, contrastar y seleccionar información sobre fenómenos y procesos físicos, químicos, biológicos o geológicos en diferentes formatos, utilizando los recursos necesarios, tecnológicos o de otro tipo.
 - 6.2 Establecer colaboraciones, utilizando los recursos necesarios en las diferentes etapas del proyecto científico, en la realización de actividades o en la resolución de problemas.

Saberes del bloque A: A.1 a A.5 (metodología, experimentación, fuentes, comunicación y papel de las personas en la ciencia).

Secuencia de sesiones

La situación ocupa 5 de las 6 sesiones de la unidad 1. Las explicaciones del libro (SI, incertidumbre, cifras significativas, fuentes) se intercalan cuando cada tarea las necesita; la sesión restante se dedica a los ejercicios de medida y unidades.

1. **Lanzamiento y elección de la noticia.** Se proyectan dos titulares sobre un mismo resultado y se pregunta cuál es más fiable y por qué. Cada equipo reparte roles (prensa, fuente original, cronología y coordinación) y elige una noticia científica publicada en

los últimos meses que cite un estudio concreto. El profesorado valida la elección: debe existir un artículo, un preprint o un comunicado institucional localizable.

2. **Caso modelo y rastreo.** Lectura guiada del caso OPERA del libro como ejemplo de cómo cambia lo que se sabe con nuevas pruebas. Después, cada equipo hace con su noticia una ficha por fuente: quién la firma, fecha, tipo (primaria o secundaria), si ha pasado revisión por pares y si enlaza al original. Se cierra con una lista de lo que el titular afirma y lo que el estudio realmente mide.
3. **Laboratorio I: diseño y medida.** Práctica del péndulo: predicciones para masa, amplitud y longitud, identificación de variables y normas de seguridad. Medida de las series de masa y amplitud, con cinco repeticiones de diez oscilaciones.
4. **Laboratorio II: longitud y tratamiento.** Serie de longitudes, cálculo de medias e incertidumbres, gráfica de T^2 frente a L y obtención de g . Si no hay laboratorio, se usa la alternativa virtual de la práctica (simulación de PhET con cronometraje manual).
5. **Comunicación.** Cada equipo presenta en 4 minutos su nota sobre la noticia y su resultado de g con su incertidumbre, y explica qué tienen en común las dos partes. Coevaluación con la rúbrica.

Producto final

Un dossier de equipo con dos partes:

- **Informe de fuentes** (una página): cronología con las fuentes enlazadas y citadas (autor o institución, fecha, enlace) y una **nota de 200-250 palabras** que confirma, matiza o corrige el titular, escrita para que la entienda alguien sin formación científica.
- **Miniinforme de laboratorio:** hipótesis, variables, tabla de datos, gráfica, resultado de g en la forma (valor $\pm u$) unidad y conclusiones matizadas por la incertidumbre, con el reparto de tareas.

Evaluación

Instrumentos

- Rúbrica del dossier (abajo), aplicada por el profesorado.
- Ficha de coevaluación de la exposición, con los mismos indicadores de comunicación.
- Cuaderno de laboratorio o documento compartido, cuyo historial muestra la aportación de cada miembro (6.2).
- Pregunta individual de cierre: dada una noticia nueva, indicar en cinco líneas qué fuente buscaría primero y qué comprobaría.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Pregunta y diseño (1.1)	No formula hipótesis o cambia varias variables a la vez	Formula hipótesis, pero no controla las variables en todas las series	Hipótesis contrastables y variables controladas	Además, justifica por qué cada variable podría influir
Experimentación segura (1.2)	Incumple las normas	Las cumple con recordatorios	Las cumple sin recordatorios y	

			completa las tres series	Las cumple, completa las series y detecta y corrige un error del montaje
Comunicación de resultados (1.3)	Resultados sin unidades o sin incertidumbre	Resultado de g con unidades, sin incertidumbre	g como (valor $\pm$ u) unidad y conclusiones matizadas	Además, la nota sobre la noticia usa el mismo criterio de incertidumbre y cita todo lo ajeno
Búsqueda y contraste de fuentes (6.1)	No llega a la fuente original	Localiza la fuente original, sin valorar su fiabilidad	Distingue primarias y secundarias y valora la fiabilidad de cada una	Además, detecta dónde y por qué el titular se separa del estudio
Colaboración (6.2)	Una persona hace casi todo	Hay reparto, pero desigual	Cada rol cumple su tarea y queda documentado	Los roles se coordinan y el equipo revisa el trabajo de los demás

La calificación se integra en el apartado «Prácticas, informes de laboratorio y situaciones de aprendizaje» de la programación.

Atención a la diversidad

- **Roles con distinta exigencia:** el de coordinación y cronología permite aportar sin dominar aún el cálculo de incertidumbres; los roles rotan en la parte de laboratorio.
- **Andamiaje:** plantilla de ficha por fuente y plantilla de tabla y gráfica en hoja de cálculo; el ejemplo resuelto 1.1 del libro sirve de modelo para expresar un resultado.
- **Lectura:** se admite una noticia en castellano con fuente original en inglés; el equipo puede apoyarse en el resumen del artículo y en el comunicado institucional, que suelen ser más accesibles.
- **Ampliación:** quien termine antes puede estimar cuánto aumenta el período a 30° de amplitud y comprobar si su montaje lo detecta (en la práctica se aprecia con claridad, un 1,7 %).
- **Acceso:** alternativa virtual completa para el laboratorio; tiempos y formatos de entrega ajustados según el informe del departamento de orientación.

¿Preparas la oposición? La programación y las situaciones de aprendizaje se defienden ante el tribunal → oposicionesfyq.es

SOLUCIÓN

1. Caso modelo (sesión 2): en el caso OPERA, las fuentes primarias son el comunicado del CERN del 23-09-2011 con sus actualizaciones hasta el 08-06-2012 (<https://home.cern/opera-experiment-reports-anomaly-in-flight-time-of-neutrinos-from-cern-to-gran-sasso/>) y el artículo arXiv:1109.4897, publicado en Journal of High Energy Physics (2012, 093; DOI 10.1007/JHEP10(2012)093) con $(v - c)/c = (2,7 \pm 3,1 \text{ (est.)} + 3,4/-3,3 \text{ (sist.)}) \times 10^{-6}$, compatible con cero. Las noticias de septiembre de 2011 son fuentes secundarias; muchas no publicaron la corrección.
2. Qué se espera de la nota de cada equipo: identifica quién firma la fuente original y cuándo; distingue el resultado medido de la interpretación del titular; dice si el estudio está publicado en una revista con revisión por pares, es un preprint o es solo un comunicado; y, si el resultado tiene incertidumbre, la usa para decidir si el titular exagera.
3. Péndulo, valores esperados con $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ (práctica de la unidad): $L = 0,20 \text{ m} \rightarrow T = 0,898 \text{ s}$; $0,40 \text{ m} \rightarrow 1,269 \text{ s}$; $0,60 \text{ m} \rightarrow 1,555 \text{ s}$; $0,80 \text{ m} \rightarrow 1,795 \text{ s}$; $1,00 \text{ m} \rightarrow 2,007 \text{ s}$. Pendiente teórica de T^2 frente a L : $4\pi^2/g = 4,03 \text{ s}^2/\text{m}$. Con cronometraje manual, un g entre $9,6$ y $10,0 \text{ m/s}^2$ es un buen resultado.
4. Conclusiones correctas del péndulo: no se aprecia dependencia con la masa; con la amplitud, el efecto entre 5° y 10° ($0,002 \text{ s}$ para $L = 0,60 \text{ m}$) es menor que la incertidumbre y entre 5° y 20° ($0,011 \text{ s}$) está en el límite de lo detectable, así que la conclusión debe ser «no se aprecia con nuestra incertidumbre», no «no depende»; el período sí depende de la longitud.
5. Vínculo entre las dos partes que debe aparecer en la exposición: el mismo criterio sirve para la noticia y para el péndulo. Un resultado solo dice algo si se compara con su incertidumbre, y una afirmación solo merece confianza si se puede rastrear hasta quien midió.

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 14 PREGUNTAS

1. ¿Cuál de estas hipótesis es contrastable?

- a) El péndulo oscila de la forma que la naturaleza decide.
- b) Si se duplica la longitud del hilo, el período del péndulo aumenta.
- c) Los péndulos bonitos funcionan mejor.
- d) El período del péndulo tiene una causa.

2. Se estudia si la masa influye en el período de un péndulo. ¿Qué papel tiene la longitud del hilo?

- a) Variable independiente.
- b) Variable dependiente.
- c) Variable controlada.
- d) Grupo control.

3. Si un experimento da el resultado que predice una hipótesis, la hipótesis queda demostrada.

Verdadero ☐ Falso ☐

4. Una balanza mal tarada marca siempre 2 g de más. Las medidas repetidas con ella son...

- a) Precisas pero poco exactas.
- b) Exactas pero poco precisas.
- c) Exactas y precisas.
- d) Ni exactas ni precisas, sin excepción.

5. Desde 2019, el kilogramo se define fijando el valor exacto de la constante de Planck.

Verdadero ☐ Falso ☐

6. ¿Cuántas cifras significativas tiene 0,00450?

- a) 2
- b) 3
- c) 5
- d) 6

7. ¿Cuál es la forma correcta de expresar el resultado de una medida?

- a) $t = 14,2875 \pm 0,0259 \text{ s}$
- b) $t = (14,29 \pm 0,03) \text{ s}$
- c) $t = 14,29 \text{ s} \pm 3 \%$
- d) $t = (14,3 \pm 0,026) \text{ s}$

8. Se mide cuatro veces una longitud: 2,45 cm; 2,48 cm; 2,44 cm y 2,47 cm. ¿Cuál es el valor medio en cm?

Respuesta: _____ cm

9. Expresa 90 km/h en m/s.

Respuesta: _____ m/s

10. Una longitud se mide como $(50,0 \pm 0,2)$ cm. ¿Cuál es su incertidumbre relativa en porcentaje?

Respuesta: _____ %

11. Un cronómetro marca 15,6 s para 10 oscilaciones completas de un péndulo. ¿Cuál es el período en segundos?

Respuesta: _____ s

12. Una pieza metálica tiene una masa de 27,0 g y un volumen de 10,0 cm³. ¿Cuál es su densidad en kg/m³?

Respuesta: _____ kg/m³

13. Para valorar si una noticia científica es fiable, ¿qué es lo más útil?

- a) Que la hayan compartido muchas personas en redes.
- b) Que el titular sea claro y contundente.
- c) Poder rastrearla hasta una fuente primaria fechada, como un artículo revisado por pares o un comunicado institucional.
- d) Que la firme alguien con muchos seguidores.

14. En el caso OPERA (2011-2012), la anomalía de los neutrinos «más rápidos que la luz» se explicó por un fallo en el sistema de sincronización por fibra óptica.

Verdadero ☐ Falso ☐

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: modelo de partículas, gases, clasificación y concentración

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.1, B.2 · Comp. específicas CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 2.3, 4.1

Datos: $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (CODATA 2022). Masas atómicas (IUPAC): Na = 22,990; Cl = 35,45. Masa molar media del aire seco: 28,96 g/mol. $T (\text{K}) = t (^\circ\text{C}) + 273,15$.

Ejercicios

- Explicaciones erróneas.** Cada frase contiene un error de concepto. Señálalo y corrígelo con el modelo cinético-molecular. a) «Una barra de metal se dilata al calentarla porque sus átomos se hacen más grandes». b) «Entre las partículas de un gas hay aire». c) «El azúcar se funde en el café caliente». d) «El agua hirviendo tiene más calor que el agua tibia».
- Clasificación.** Clasifica cada sistema como elemento, compuesto, mezcla homogénea, mezcla heterogénea o coloide, y justifícalo en una línea: agua destilada · oxígeno (O_2) · aire · agua del grifo · granito · cloruro de sodio · leche.
- Temperatura absoluta.** Pasa a kelvin la temperatura de un congelador (-18°C) y la del cuerpo humano (37°C). Si una sustancia se calienta 20°C , ¿cuántos kelvin ha subido su temperatura?
- Una jeringa tapada.** Una jeringa con la punta tapada contiene 60,0 mL de aire a 101 kPa. Se empuja el émbolo despacio, sin que cambie la temperatura, hasta que el volumen es de 20,0 mL. ¿Cuál es la presión del aire? Explica el resultado con el modelo de partículas.
- Un aerosol al sol.** Un envase de aerosol contiene gas a $3,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ y 20°C (supón que solo contiene gas y que se comporta como ideal). Se deja dentro de un coche al sol y alcanza 50°C . ¿Qué presión tiene ahora el gas? Un compañero responde «2,5 veces más, porque $50/20 = 2,5$ ». Explica su error.
- ¿Cuánto aire hay en el aula?** Un aula mide $8,0 \text{ m} \times 6,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$. Calcula la cantidad de sustancia (mol) y la masa del aire que contiene a 20°C y 101 325 Pa, suponiendo comportamiento ideal. Valora el resultado.
- Concentración.** a) Un suero contiene 9,0 g de cloruro de sodio por litro. ¿Cuántos gramos hay en un frasco de 250 mL? b) ¿Cuál es su concentración en mol/L? c) Se disuelven 10,0 g de azúcar en 190,0 g de agua. ¿Cuál es el porcentaje en masa de azúcar?

SOLUCIÓN

1. a) Falso: los átomos del metal no crecen; vibran más y su separación media aumenta, y eso dilata el conjunto. b) Falso: entre las partículas del gas no hay aire (el aire también está hecho de partículas); hay vacío. c) Falso: al disolverse, el azúcar no se funde (eso exigiría unos 186 °C); sus moléculas se separan y se dispersan entre las del agua. d) Falso: el agua hirviendo a 100 °C no tiene «más calor»; tiene mayor temperatura que el agua tibia. El calor es la energía que pasará de una a otra si se ponen en contacto.
2. Agua destilada: sustancia pura, compuesto (H₂O). Oxígeno del aire, O₂: sustancia pura, elemento. Aire: mezcla homogénea (disolución gaseosa). Agua del grifo: mezcla homogénea (lleva sales y gases disueltos). Granito: mezcla heterogénea (se distinguen cristales distintos). Cloruro de sodio: sustancia pura, compuesto. Leche: coloide; a simple vista parece homogénea, pero contiene gotas de grasa y proteínas dispersas que dispersan la luz.
3. $-18\text{ °C} \rightarrow -18 + 273,15 = 255,15\text{ K}$ (255 K). $37\text{ °C} \rightarrow 310,15\text{ K}$ (310 K). Una subida de 20 °C es una subida de 20 K: las dos escalas tienen el mismo tamaño de grado.
4. Ley de Boyle (n y T constantes): $p_2 = p_1 V_1 / V_2 = 101\text{ kPa} \times 60,0\text{ mL} / 20,0\text{ mL} = 303\text{ kPa} = 3,03 \times 10^5\text{ Pa}$. Las unidades de volumen se cancelan, así que no hace falta pasarlas a m³. Al reducir el volumen a la tercera parte, la presión se triplica. Modelo de partículas: con un tercio del volumen hay el triple de partículas por unidad de volumen, y cada unidad de superficie de las paredes recibe el triple de choques por segundo.
5. Ley de Gay-Lussac (n y V constantes): $T_1 = 293,15\text{ K}$, $T_2 = 323,15\text{ K}$. $p_2 = 3,0 \times 10^5\text{ Pa} \times 323,15\text{ K} / 293,15\text{ K} = 3,3 \times 10^5\text{ Pa}$ ($3,307 \times 10^5\text{ Pa}$ antes de redondear). El aumento es del 10 %, no del 150 % que daría (mal) usar 50/20 en grados Celsius. Si el envase se sigue calentando, la presión sigue subiendo y puede reventarlo: por eso la etiqueta prohíbe exponerlo a temperaturas altas. En un aerosol real el propelente suele estar en parte licuado y la presión sube aún más deprisa que en este cálculo de gas ideal, así que el aviso es todavía más necesario.
6. $V = 8,0\text{ m} \times 6,0\text{ m} \times 3,0\text{ m} = 144\text{ m}^3$. $n = pV / (RT) = 101\,325\text{ Pa} \times 144\text{ m}^3 / (8,314\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1} \times 293,15\text{ K}) = 5,99 \times 10^3\text{ mol} \approx 6,0 \times 10^3\text{ mol}$. $m = nM = 5986\text{ mol} \times 28,96\text{ g/mol} = 1,73 \times 10^5\text{ g} \approx 1,7 \times 10^2\text{ kg}$. Unidades: $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \text{J}$, y $\text{J} / (\text{J mol}^{-1}\text{ K}^{-1} \cdot \text{K}) = \text{mol}$. Valoración: un aula «vacía» contiene unos 170 kg de aire, la masa de dos o tres personas adultas: que el gas tenga mucho espacio vacío entre partículas no significa que no tenga masa.
7. a) $9,0\text{ g/L} \times 0,250\text{ L} = 2,25\text{ g} \approx 2,3\text{ g}$ de NaCl. b) $M(\text{NaCl}) = 22,990 + 35,45 = 58,44\text{ g/mol}$; $c = 9,0\text{ g/L} / 58,44\text{ g/mol} = 0,154\text{ mol/L} \approx 0,15\text{ mol/L}$. c) Masa de disolución = 10,0 g + 190,0 g = 200,0 g; % en masa = $10,0 / 200,0 \times 100 = 5,00\%$. El error frecuente es dividir entre 190,0 g (masa de disolvente), que da 5,26 %.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min · grupos de 3

Práctica: la curva de enfriamiento del ácido láurico

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.1, B.2 · Comp. específicas CE1, CE2 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA

MATERIALES: Ácido láurico (ácido dodecanoico) sólido, unos 5 g por grupo, en un tubo de ensayo grande · Vaso de precipitados de 400 mL con agua caliente (60–70 °C) del hervidor o de una placa calefactora · Vaso de precipitados de 250 mL con agua a temperatura ambiente · Termómetro digital o sonda de temperatura

(resolución 0,1 °C); si solo hay termómetro de vidrio, anotad su resolución · Soporte, nuez y pinza para sujetar el tubo · Cronómetro o el del móvil · Gafas de seguridad (una por persona) y guantes de nitrilo · Hoja de cálculo u hoja milimetrada

Criterios: 1.2, 2.1, 2.3

Objetivo

Registrar la curva de enfriamiento de una sustancia pura, identificar en ella el cambio de estado y obtener su temperatura de solidificación con su incertidumbre. Explicar con el modelo cinético-molecular por qué la temperatura se mantiene constante mientras la sustancia solidifica, aunque siga cediendo energía.

Planteamiento

El ácido láurico es un ácido graso presente en el aceite de coco. A temperatura ambiente es un sólido blanco y funde por encima de 40 °C, así que su cambio de estado se puede estudiar con agua caliente, sin llama.

Antes de medir, cada grupo dibuja cómo cree que será la gráfica temperatura-tiempo mientras el ácido láurico líquido se enfría hasta solidificar, y lo justifica en una frase. Al final se compara la predicción con los datos.

Normas de seguridad específicas

- **Gafas de seguridad obligatorias durante toda la práctica.** El ácido láurico puede causar lesiones oculares graves (clasificación de peligro H318 en su ficha de PubChem). Guantes de nitrilo al manipular el sólido.
- Nunca se calienta el tubo directamente con una llama ni en la placa: solo en el baño de agua caliente. El agua no debe superar los 70 °C; no hace falta más para fundirlo.
- El vaso con agua caliente se coloca en el centro de la mesa, lejos del borde y de los cables. El tubo se sujeta siempre con la pinza del soporte, no con la mano.
- No se remueve con el termómetro de vidrio, si lo hay: se mueve el tubo con suavidad.
- El ácido láurico no se tira por el desagüe: al solidificar lo obstruye. El tubo se guarda tal cual, con el sólido dentro, para volver a usarlo. Al terminar, lavado de manos.

Procedimiento

1. **Fundir.** Sujetad el tubo con el ácido láurico en el soporte e introducidlo en el baño de agua caliente hasta que todo el sólido se haya fundido. Introducid la sonda en el líquido, en el centro del tubo y sin tocar el fondo.
2. **Esperar.** Dejad el tubo en el baño hasta que la temperatura del líquido supere los 55 °C.
3. **Preparar la medida.** Poned en marcha el cronómetro y, en ese mismo instante, pasad el tubo al vaso con agua a temperatura ambiente. Anotad la temperatura inicial ($t = 0$ s).
4. **Registrar.** Anotad la temperatura cada 30 s durante al menos 12 minutos, o hasta que la temperatura esté 2 °C por debajo de la meseta. Mover la sonda arriba y abajo con suavidad mientras el ácido aún sea líquido; cuando empiece a solidificar, dejadla quieta.
5. **Observar.** Anotad en la tabla en qué momento aparecen los primeros cristales y en qué momento todo el contenido está sólido.
6. **Repetir.** Si da tiempo, volved a fundir el tubo en el baño y repetid la medida; así podréis comparar las dos mesetas.

7. **Gráfica.** Representad la temperatura (eje vertical) frente al tiempo (eje horizontal). Marcad el tramo de la meseta.
8. **Tratamiento.** Con las lecturas de la meseta, calculad el valor medio, la incertidumbre tipo A ($u_A = s/\sqrt{n}$), la tipo B ($u_B = 0,1\text{ °C}/\sqrt{12}$) y la combinada, como en la unidad 1.

Tabla de datos

T (s)	T (°C)	OBSERVACIONES (LÍQUIDO / PRIMEROS CRISTALES / SÓLIDO)
0		
30		
60		
90		
120		
...		
720		

RESULTADO	VALOR
Lecturas que forman la meseta (°C)	
Valor medio de la meseta (°C)	
u_A , u_B y u (°C)	
Temperatura de solidificación: $(T \pm u)$ °C	

Cuestiones

1. Describid la forma de vuestra curva en tres tramos. ¿Coincide con vuestra predicción? Si no, ¿qué esperabais y por qué?
2. Durante la meseta, el tubo sigue cediendo energía al agua, que está más fría. ¿Por qué no baja la temperatura del ácido láurico? Explicadlo con el modelo de partículas.
3. ¿Qué demuestra esta práctica sobre la diferencia entre calor y temperatura?
4. Un compañero dice: «En la meseta las moléculas se están solidificando». Corregid la frase con lo que dice el modelo cinético-molecular.
5. Comparad vuestro resultado con el valor de referencia (en torno a 43-44 °C). Si la diferencia es mayor que vuestra incertidumbre, proponed una causa concreta: ¿calibración del termómetro?, ¿impurezas? ¿Cómo sería la curva de una mezcla?
6. Redactad el informe con la estructura de la unidad 1: objetivo e hipótesis, material, procedimiento, resultados (tabla y gráfica), análisis y conclusiones.

Alternativa virtual

Si no hay laboratorio disponible, la parte cualitativa puede hacerse con la simulación [Estados de la materia de PhET](#) (Universidad de Colorado, en español): se elige una sustancia, se enfría poco a poco y se observa a la vez el termómetro y la disposición de las partículas al pasar de líquido a sólido. La simulación no produce una curva con incertidumbre real, así que la cuestión 5 y el tratamiento de datos se hacen con los datos de ejemplo que facilite el profesorado.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Incumple las normas o no completa la toma de datos	Completa la toma de datos con recordatorios de seguridad	Toma datos completos y cumple las normas sin recordatorios	Además, controla la posición de la sonda y anota observaciones útiles
Representación de los datos (2.1)	Sin gráfica o gráfica no interpretable	Gráfica con ejes, pero sin unidades o con escala inadecuada	Gráfica correcta con unidades y la meseta identificada	Gráfica correcta y comentada, con el subenfriamiento señalado si aparece
Resultado con incertidumbre (2.1)	Sin valor de la meseta	Valor de la meseta sin incertidumbre	(T ± u) °C con cifras correctas	Además, discute qué incertidumbre domina y el papel de la calibración
Explicación con el modelo de partículas (2.3)	Atribuye a las moléculas propiedades macroscópicas	Explica la meseta de forma incompleta	Explica la meseta con atracciones y agitación de las partículas	Distingue con claridad calor y temperatura y relaciona la meseta con la pureza

SOLUCIÓN

1. Forma de la curva: la temperatura baja deprisa desde unos 60 °C, se estabiliza durante varios minutos en una meseta y después vuelve a bajar hacia la temperatura del agua. Justo antes de la meseta puede verse un pequeño descenso por debajo de ella seguido de una subida (subenfriamiento): es normal y no invalida la medida.
2. Temperatura de la meseta esperada: en torno a 43-44 °C. PubChem (CID 3893) recoge como punto de fusión 43,8 °C (y 111 °F $\approx$ 43,9 °C); la temperatura de solidificación de una sustancia pura coincide con la de fusión. Un valor de grupo entre 42 °C y 45 °C es un buen resultado; si la meseta sale claramente más baja e inclinada, el ácido láurico puede estar contaminado (una mezcla solidifica en un intervalo).
3. Incertidumbre de la meseta (ejemplo con seis lecturas de la meseta: 43,6; 43,7; 43,7; 43,6; 43,8; 43,7 °C): media 43,68 °C; $s = 0,075$ °C; $u_A = 0,075 / \sqrt{6} = 0,031$ °C; $u_B = 0,1 / \sqrt{12} = 0,029$ °C; $u = \sqrt{(0,031^2 + 0,029^2)} = 0,042$ °C $\approx 0,04$ °C. Resultado: $(43,68 \pm 0,04)$ °C. Esta incertidumbre solo recoge la dispersión y la resolución; la exactitud que el fabricante declara para el termómetro (consúltase su ficha técnica) suele ser bastante mayor que 0,04 °C y domina, y es la primera explicación si el valor difiere del de PubChem en más de 1 °C.
4. Cuestión 2 (energía en la meseta): la temperatura no baja porque, al solidificar, las partículas pasan a posiciones fijas y se refuerzan las atracciones entre ellas; ese proceso cede energía (el calor latente de solidificación) que compensa la que el tubo pierde hacia el agua. La agitación media de las partículas, que es lo que mide la temperatura, no cambia mientras coexisten sólido y líquido.
5. Cuestión 3 (temperatura frente a calor): durante la meseta el tubo cede calor al agua continuamente, pero su temperatura no cambia. Prueba directa de que calor y temperatura son magnitudes distintas.
6. Cuestión 4 (modelo de partículas): en el líquido, las moléculas se desplazan unas sobre otras; en el sólido, vibran alrededor de posiciones fijas. Las moléculas de ácido láurico no se solidifican ni se endurecen individualmente: lo que cambia es su disposición y su movimiento.
7. Cuestión 5 (pureza): una sustancia pura da una meseta horizontal; una mezcla (por ejemplo, ácido láurico con un poco de otro ácido graso) solidifica a lo largo de un intervalo de temperatura y la meseta sale inclinada y más baja. Por eso la temperatura de fusión se usa para comprobar la pureza.

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 14 PREGUNTAS

1. Según el modelo cinético-molecular, ¿por qué un gas se puede comprimir mucho y un líquido casi nada?

- a) Porque las partículas del gas son más pequeñas que las del líquido.
- b) Porque en el gas la mayor parte del volumen es espacio vacío entre partículas.
- c) Porque las partículas del gas se pueden aplastar.
- d) Porque el gas no tiene masa.

2. Cuando el hielo se funde, las moléculas de agua se funden.

Verdadero ☐ Falso ☐

3. ¿Qué hay entre las partículas de un gas?

- a) Aire.
- b) Vapor de agua.
- c) Nada: vacío.
- d) Un fluido invisible que transmite el calor.

4. Mientras un líquido puro solidifica a presión constante, su temperatura...

- a) Baja más deprisa que antes, porque pierde más energía.
- b) Se mantiene constante, aunque sigue cediendo energía al entorno.
- c) Sube, porque el sólido está más caliente que el líquido.
- d) Oscila sin ningún patrón.

5. Temperatura y calor son dos nombres de la misma magnitud.

Verdadero ☐ Falso ☐

6. El agua de mar filtrada es...

- a) Un elemento.
- b) Un compuesto.
- c) Una mezcla homogénea (disolución).
- d) Una mezcla heterogénea.

7. ¿En qué se diferencia el agua de una mezcla de hidrógeno y oxígeno gaseosos?

- a) En nada: contienen los mismos elementos.
- b) En el agua los átomos están unidos en proporción fija y las propiedades son distintas; en la mezcla cada gas conserva las suyas.
- c) La mezcla es un compuesto y el agua, una mezcla.
- d) El agua se puede separar en hidrógeno y oxígeno por filtración.

8. Cuando el azúcar se disuelve en agua a temperatura ambiente, se está fundiendo.

Verdadero ☐ Falso ☐

9. ¿Qué método separa la sal disuelta en agua?

- a) Filtración.
- b) Decantación.
- c) Evaporación del agua y cristalización.
- d) Separación magnética.

10. Expresa $27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en kelvin.

Respuesta: _____ K

11. Un gas ocupa $2,0\text{ L}$ a 100 kPa . Sin cambiar su temperatura ni la cantidad de gas, se comprime hasta $0,50\text{ L}$. ¿Cuál es su presión en kPa?

Respuesta: _____ kPa

12. Un recipiente de $0,0500\text{ m}^3$ contiene $2,00\text{ mol}$ de un gas ideal a 300 K . ¿Cuál es la presión en Pa? ($R = 8,314\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$)

Respuesta: _____ Pa

13. Un aerosol contiene solo gas, a $3,0 \times 10^5\text{ Pa}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿Qué presión, en Pa, alcanza a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ si el volumen no cambia?

Respuesta: _____ Pa

14. Se disuelven 15 g de azúcar en agua hasta obtener 250 mL de disolución. ¿Cuál es la concentración en g/L?

Respuesta: _____ g/L

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: átomos, isótopos, tabla periódica, enlace y formulación

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.3, B.4 · **Comp. específicas** CE2, CE5 · **Comp. clave** STEM, CCL, CPSAA, CD

MATERIALES: Calculadora científica · Tabla periódica

Criterios: 2.2, 2.3, 5.2

Datos (CIAAW, IUPAC): masas atómicas abreviadas Ca = 40,078; Cl = 35,45; Ag = 107,8682. Isótopos de la plata: ^{107}Ag , 106,905 09 u, abundancia 0,518 39; ^{109}Ag , 108,904 756 u, abundancia 0,481 61. Isótopos del cloro: ^{35}Cl , 34,968 9 u; ^{37}Cl , 36,965 9 u.

Ejercicios

- Partículas.** Indica el número de protones, neutrones y electrones de: ^{37}Cl · $^{40}\text{Ca}^{2+}$ · $^{16}\text{O}^{2-}$ · $^{27}\text{Al}^{3+}$ · ^{14}C .
- Masa atómica de la plata.** Con los datos de la CIAAW, calcula la masa atómica media de la plata y compárala con el valor estándar. ¿Por qué el resultado queda casi a mitad de camino entre las masas de los dos isótopos?
- El cloro y sus intervalos.** a) Sabiendo que la masa atómica media del cloro es 35,45, calcula la abundancia de cada isótopo. b) La CIAAW da para el ^{35}Cl una abundancia en el intervalo [0,755; 0,761]. ¿Es coherente tu resultado? c) ¿Por qué crees que la CIAAW da la masa atómica del cloro como un intervalo y no como un único número?
- Configuración electrónica.** Escribe la configuración electrónica del nitrógeno ($Z = 7$), el magnesio ($Z = 12$), el azufre ($Z = 16$) y el potasio ($Z = 19$). Indica para cada uno el periodo, el grupo y el número de electrones de valencia.
- Propiedades periódicas.** a) Ordena por radio atómico creciente: Na, K, Mg, Cl. b) Ordena por electronegatividad creciente: O, Na, N, C. c) Explica con la configuración electrónica por qué el sodio forma el ion Na^+ y el cloro, el ion Cl^- .
- Tipo de enlace.** Indica el tipo de enlace de cada sustancia y predice dos propiedades (estado a temperatura ambiente, conductividad, solubilidad o temperatura de fusión): bromuro de potasio (KBr), metano (CH_4), hierro (Fe), diamante (C), amoníaco (NH_3).
- Errores de concepto.** Cada frase es falsa. Explica por qué y corrígela. a) «Los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas, como los planetas alrededor del Sol». b) «La sal de mesa está formada por moléculas de NaCl ». c) «Todos los átomos cumplen siempre la ley del octeto». d) «Cuando el agua hierve, se rompen los enlaces entre el oxígeno y el hidrógeno».
- Formulación y nomenclatura (IUPAC 2005).** a) Formula: óxido de calcio · dióxido de azufre · cloruro de hierro(II) · hidróxido de cobre(II) · peróxido de sodio · hidruro de litio · dicloruro de oxígeno. b) Nombra de al menos una forma aceptada: MgCl_2 · Al_2S_3 ·

$\text{N}_2\text{O}_5 \cdot \text{HBr} \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{KOH} \cdot \text{FeCl}_3$. Para el FeCl_3 , da los tres nombres posibles y explica por qué «cloruro férrico» no es uno de ellos.

9. **Masa molar y composición.** Calcula la masa molar del cloruro de calcio (CaCl_2), que se usa para fundir el hielo de las carreteras, y el porcentaje en masa de cloro. Valora el resultado.
10. **Investigación breve.** Elige a una científica que haya descubierto o identificado un elemento químico (por ejemplo, Marguerite Perey, Marie Curie, Ida Noddack o Lise Meitner, cuyo apellido da nombre al meitnerio). En unas 150 palabras, explica qué elemento, cuándo, con qué método y en qué condiciones trabajaba, y cita al menos una fuente fiable.

SOLUCIÓN

1. ^{37}Cl : $Z = 17$, $A = 37$; 17 p, 20 n, 17 e. $^{40}\text{Ca}^{2+}$: 20 p, 20 n, 18 e. $^{16}\text{O}^{2-}$: 8 p, 8 n, 10 e. $^{27}\text{Al}^{3+}$: 13 p, 14 n, 10 e. ^{14}C : 6 p, 8 n, 6 e. Al formar un ion cambian solo los electrones; el número de neutrones depende del isótopo, no de la carga.
2. $A_r(\text{Ag}) = 0,518\,39 \times 106,905\,09 + 0,481\,61 \times 108,904\,756 = 55,418\,53 + 52,449\,62 = 107,868\,1$ (107,868 15 antes de redondear). Coincide con el valor estándar de la CIAAW, 107,8682(2), dentro de su incertidumbre. Las abundancias suman 1,000 00. Está casi a mitad de camino entre las dos masas porque los dos isótopos son casi igual de abundantes.
3. a) Si x es la fracción de ^{35}Cl , la de ^{37}Cl es $1 - x$: $35,45 = 34,968\,9x + 36,965\,9(1 - x) \rightarrow x = (36,965\,9 - 35,45) / (36,965\,9 - 34,968\,9) = 1,515\,9 / 1,997\,0 = 0,759$. Abundancias: 75,9 % de ^{35}Cl y 24,1 % de ^{37}Cl . b) Está dentro del intervalo que da la CIAAW para el ^{35}Cl , [0,755; 0,761]. c) La composición isotópica del cloro varía de unas muestras naturales a otras (por ejemplo, entre el cloruro del agua de mar y el de algunos minerales), así que no hay un único valor que valga para todas: la CIAAW da la masa atómica como el intervalo [35,446; 35,457] y recomienda $35,45 \pm 0,01$ para el uso ordinario.
4. N ($Z = 7$): $1s^2 2s^2 2p^3$; periodo 2, grupo 15; 5 electrones de valencia. Mg ($Z = 12$): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$; periodo 3, grupo 2; 2. S ($Z = 16$): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$; periodo 3, grupo 16; 6. K ($Z = 19$): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$; periodo 4, grupo 1; 1 (el 4s se llena antes que el 3d).
5. a) Radio creciente: $\text{Cl} < \text{Mg} < \text{Na} < \text{K}$. El K tiene un nivel más que el Na; Na, Mg y Cl están en el mismo periodo y el radio disminuye hacia la derecha porque aumenta la carga nuclear. b) Electronegatividad: $\text{Na} < \text{C} < \text{N} < \text{O}$; crece hacia la derecha del periodo y el Na es un metal alcalino. c) El Na pierde su único electrón de valencia con facilidad (energía de ionización baja) y forma Na^+ ; el Cl capta uno y forma Cl^- .
6. KBr: iónico (metal alcalino y halógeno); red de iones K^+ y Br^- , sólido de fusión alta, conduce fundido o disuelto; la fórmula indica proporción 1:1, no una molécula. CH_4 : covalente molecular; gas a temperatura ambiente, no conduce. Fe: metálico; conduce en sólido, maleable. Diamante: red covalente; durísimo, fusión muy alta, no conduce. NH_3 : covalente molecular, polar, con enlaces de hidrógeno entre moléculas; gas a temperatura ambiente pero muy soluble en agua.
7. a) Falso: el modelo actual no atribuye trayectorias a los electrones; un orbital es una región de probabilidad. Las órbitas eran del modelo de Bohr (1913). b) Falso: un cristal de sal es una red de iones Na^+ y Cl^- ; NaCl es la unidad fórmula, que indica la proporción 1:1. c) Falso: la regla del octeto es una regla práctica con excepciones (BF_3 , SF_6 , NO); el criterio de fondo es que el conjunto quede con menos energía. d) Falso: al hervir el agua se separan moléculas de H_2O , que siguen intactas; se vencen los enlaces de hidrógeno entre moléculas, no los enlaces O-H.
8. a) Óxido de calcio: CaO . Dióxido de azufre: SO_2 . Cloruro de hierro(II): FeCl_2 . Hidróxido de cobre(II): $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Peróxido de sodio: Na_2O_2 (no se simplifica: el ion peróxido es O_2^{2-}). Hidruro de litio: LiH . Dicloruro de oxígeno: OCl_2 (el oxígeno va delante de los halógenos en el orden de la IUPAC). b) MgCl_2 : cloruro de magnesio (dicloruro de magnesio). Al_2S_3 : sulfuro de aluminio (trisulfuro de dialuminio). N_2O_5 : pentaóxido de dinitrógeno. HBr : bromuro de hidrógeno; en disolución acuosa, ácido bromhídrico. NH_3 : amoníaco. KOH : hidróxido de potasio. FeCl_3 : cloruro de hierro(III), tricloruro de hierro o cloruro de

hierro(3+). «Cloruro férrico» no es un nombre aceptado por las recomendaciones de 2005.

9. $M(\text{CaCl}_2) = 40,078 + 2 \times 35,45 = 110,978 \text{ g/mol} \approx 110,98 \text{ g/mol}$. $\% \text{Cl} = 70,90 / 110,978 \times 100 = 63,89 \%$. Valoración: el cloro supone casi dos tercios de la masa, porque hay dos átomos de cloro de masa 35,45 frente a uno de calcio de 40,08. El porcentaje no depende de cuánta sal se tenga.

10. Se valora: que la persona y el descubrimiento sean reales y estén fechados; que se cite al menos una fuente verificable (la ficha del elemento de la Royal Society of Chemistry, la Fundación Nobel, la IUPAC o un artículo); que se explique el método con que se identificó el elemento, y que se comente el contexto de la investigadora (formación, reconocimiento). Ejemplo válido: Marguerite Perey identificó el francio en 1939 en el Instituto Curie, al detectar una radiactividad que no podía atribuirse a las impurezas conocidas de una muestra de actinio purificada.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min · grupos de 3

Práctica: ¿qué enlace tiene esta sustancia? Conductividad y solubilidad

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.3 · Comp. específicas CE1, CE2 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Comprobador de conductividad de baja tensión: pila de 9 V o de pila de 4,5 V, un LED (unos 2 V, máximo 20 mA) con una resistencia en serie de 470Ω si se usa la pila de 9 V o de $150\text{--}220 \Omega$ con la de 4,5 V (o una bombilla pequeña), cables con pinzas de cocodrilo y dos electrodos (clavos de acero inoxidable o barras de grafito) · Cloruro de sodio (sal común), sacarosa (azúcar común), parafina (un trozo de vela), hilo de cobre pelado, una mina de grafito de lápiz o una barra de grafito, arena de cuarzo lavada (dióxido de silicio) · Agua destilada y agua del grifo · 8 vasos de precipitados de 100 mL, varilla de vidrio, espátula y vidrio de reloj · Frasco lavador con agua destilada y papel absorbente · Gafas de seguridad (una por persona)

Criterios: 1.2, 2.2, 2.3

Objetivo

Contrastar, con dos pruebas sencillas (solubilidad en agua y conductividad eléctrica), una hipótesis sobre el tipo de enlace de seis sólidos, y explicar los resultados con lo que se sabe de iones, moléculas, redes covalentes y metales.

Planteamiento

Antes de tocar ningún material, cada grupo completa la última columna de la tabla con su **predicción**: qué tipo de enlace cree que tiene cada sustancia y, por tanto, si se disolverá y si conducirá en sólido y en disolución. La predicción se escribe con bolígrafo y no se modifica: al final se compara con lo observado.

La idea que se pone a prueba es que una sustancia conduce la corriente solo si contiene **partículas cargadas que puedan moverse**: iones libres o electrones deslocalizados.

Normas de seguridad específicas

- **Solo baja tensión.** El comprobador funciona con una pila de 9 V o de 4,5 V. Nunca se conecta nada a un enchufe ni a una fuente de laboratorio sin supervisión.

- Gafas de seguridad durante toda la práctica. Ninguna sustancia se prueba, aunque sea sal o azúcar: en el laboratorio nada se come ni se bebe.
- No unáis nunca los bornes de la pila directamente, sin el LED y la resistencia (o la bombilla) en el circuito: eso sí es un cortocircuito, que descarga la pila y calienta los cables. Con la resistencia en serie, juntar las pinzas para comprobar el aparato es seguro.
- Medidas breves, de unos segundos: con corriente, el agua salada se electroliza ligeramente (se forman trazas de cloro y de hidrógeno en los electrodos) y los clavos de acero se corroen.
- La arena se manipula con espátula y sin soplar, para no levantar polvo. Al terminar, las disoluciones de sal y de azúcar pueden ir al desagüe con agua abundante; la arena, la parafina y el grafito se recuperan secos para reutilizarlos.
- Lavado de manos al acabar.

Procedimiento

1. **Comprobar el aparato.** Juntad un momento las dos pinzas: el LED debe encenderse. Separadlas: debe apagarse. Si el LED no luce con las pinzas juntas, dadle la vuelta (tiene polaridad).
2. **Sólidos.** Tocad cada sólido seco (un cristal grande de sal o un montón compacto, un terrón de azúcar, la parafina, el cobre, el grafito, la arena) con los dos electrodos a la vez, separados unos 5 mm. Anotad si el LED se enciende, no se enciende o se enciende débilmente.
3. **Blancos.** Llenad un vaso con 50 mL de agua destilada y otro con 50 mL de agua del grifo. Introducid los electrodos sin que se toquen y anotad el resultado.
4. **Solubilidad.** En seis vasos con 50 mL de agua destilada añadid una punta de espátula de sal, azúcar, parafina rallada, arena y grafito en polvo, y un trozo de hilo de cobre. Agitad un minuto con la varilla y anotad si se disuelve.
5. **Conductividad en disolución.** Introducid los electrodos, durante unos segundos, en cada vaso de la sal y del azúcar. Entre una medida y otra, lavad los electrodos con agua destilada y secadlos con papel.
6. **Comparar.** Rellenad la tabla y contrastad cada fila con la predicción del grupo.

Tabla de datos

SUSTANCIA	ASPECTO	¿SE DISUELVE EN AGUA?	¿CONDUCE EN SÓLIDO?	¿CONDUCE DISUELTA?	PREDICCIÓN: TIPO DE ENLACE	CONCLUSIÓN
Cloruro de sodio						
Sacarosa						
Parafina				—		
Cobre				—		
Grafito				—		

Arena de cuarzo				—
Agua destilada	—	—	—	
Agua del grifo	—	—	—	

Cuestiones

1. La sal sólida no conduce y la sal disuelta sí. ¿Qué cambia al disolverla? ¿Qué partículas transportan la carga en el agua salada?
2. El azúcar también se disuelve, pero su disolución no conduce. ¿Por qué disolverse no basta para conducir?
3. El grafito no es un metal y conduce. El diamante, también de carbono, no. Explicad la diferencia.
4. ¿Por qué hay que preparar las disoluciones con agua destilada y no con agua del grifo? ¿Qué demuestra el blanco con agua del grifo?
5. Buscad en PubChem la temperatura de fusión del cloruro de sodio y de la sacarosa. ¿Concuerda la diferencia con el tipo de enlace que habéis propuesto para cada una?
6. ¿Qué predicciones del grupo se confirmaron y cuáles no? Corregid las que fallaron con una frase que explique el porqué. Una hipótesis que falla, si se reconoce, también es un resultado.

Alternativa virtual

Si no hay laboratorio disponible, la parte de las disoluciones puede hacerse con la simulación [Azúcar y soluciones salinas de PhET](#) (Universidad de Colorado, en español; se ejecuta en el navegador): incluye un comprobador de conductividad con una bombilla y permite comparar el agua pura, el agua con sal y el agua con azúcar, y ver a escala de partículas qué ocurre al disolver cada sustancia. Las pruebas con sólidos (cobre, grafito, arena) no tienen equivalente en la simulación; el profesorado puede hacerlas como demostración.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Hipótesis y trabajo experimental con seguridad (1.2)	Sin predicción previa o incumple las normas	Predicción incompleta; toma de datos completa con recordatorios	Predicción completa y datos de todas las sustancias, con blancos, sin recordatorios	Además, controla las fuentes de error (electrodos limpios, distancia constante) y lo deja escrito
Explicación con iones, moléculas y electrones (2.2)	Atribuye la conducción a «moléculas de sal» o no la explica	Explica la sal o el metal, pero no ambos	Explica todos los casos con cargas móviles o su ausencia	Explica también el grafito y el agua del grifo sin ayuda
Relación entre enlace y				

propiedades (2.3)	No relaciona propiedades y enlace	Asigna el enlace correcto en la mitad de los casos	Asigna el enlace correcto en todos los casos	Además, usa las temperaturas de fusión de referencia para justificarlo
Contraste con la predicción	No compara	Compara sin explicar las diferencias	Explica las predicciones que fallaron	Reformula el criterio que usaba el grupo para predecir

SOLUCIÓN

1. Resultados esperados. Cloruro de sodio: soluble; no conduce en sólido; su disolución conduce (LED brillante) → iónico. Sacarosa: soluble; no conduce ni en sólido ni disuelta → covalente molecular. Parafina: insoluble; no conduce → covalente molecular (apolar). Cobre: insoluble; conduce en sólido → metálico. Grafito: insoluble; conduce en sólido → red covalente con electrones deslocalizados (la excepción que la práctica busca). Arena de cuarzo: insoluble; no conduce → red covalente. Agua destilada: no conduce o lo hace de forma apenas apreciable. Agua del grifo: puede encender débilmente el LED según el comprobador, porque lleva iones disueltos.
2. Cuestión 1 (sal sólida frente a disuelta): en el cristal los iones Na^+ y Cl^- están fijos en la red y no pueden desplazarse; al disolverse se separan y se mueven por el agua, y son esos iones móviles los que transportan la carga. Los electrones no viajan por el agua salada.
3. Cuestión 2 (azúcar): la sacarosa se disuelve porque sus moléculas se separan y se rodean de moléculas de agua, pero son moléculas neutras: no hay cargas que se desplacen. Disolverse no implica conducir.
4. Cuestión 3 (grafito): el grafito es una red covalente de carbono en láminas en la que cada átomo usa tres de sus cuatro electrones de valencia en enlaces con sus vecinos; el cuarto queda deslocalizado a lo largo de la lámina y puede moverse. El diamante, también de carbono pero con cuatro enlaces por átomo, no conduce. Lo que decide la conducción es si hay cargas móviles, no el elemento.
5. Cuestión 4 (agua destilada y del grifo): el agua pura apenas tiene iones; la del grifo lleva sales disueltas (iones calcio, magnesio, sodio, cloruro, hidrogenocarbonato...). Por eso conviene usar agua destilada para preparar las disoluciones: si no, el blanco ya conduciría y se confundiría el efecto del soluto.
6. Cuestión 5 (temperaturas de fusión de referencia): PubChem recoge $800,7^\circ\text{C}$ para el cloruro de sodio y $185,5^\circ\text{C}$ para la sacarosa, que además se descompone al fundir. La diferencia refleja lo que hay que separar: iones que se atraen en todas direcciones en la red, frente a moléculas unidas por fuerzas intermoleculares mucho más débiles.
7. Cuestión 6 (hipótesis): se valora que el grupo diga qué hipótesis se confirmaron y cuáles no, y que no cambie las predicciones a posteriori. Error típico que debe aparecer corregido: «la sal disuelta conduce porque hay moléculas de NaCl que llevan la corriente».

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 16 PREGUNTAS

1. Según el modelo atómico actual, ¿qué es un orbital?

- a) La trayectoria circular que recorre un electrón alrededor del núcleo.
- b) Una región del espacio donde es alta la probabilidad de encontrar un electrón.
- c) La capa de protones que rodea al núcleo.
- d) La órbita elíptica de un electrón, como la de un planeta.

2. ¿En qué se diferencian dos isótopos del mismo elemento?

- a) En el número de protones.
- b) En el número de electrones.
- c) En el número de neutrones.
- d) En su comportamiento químico.

3. ¿Cuántos neutrones tiene un átomo de ^{56}Fe ? ($Z = 26$)

Respuesta: _____ neutrones

4. ¿Cuántos electrones tiene el ion $^{27}\text{Al}^{3+}$? ($Z = 13$)

Respuesta: _____ electrones

5. La plata natural tiene dos isótopos: ^{107}Ag (106,905 09 u; abundancia 0,518 39) y ^{109}Ag (108,904 756 u; abundancia 0,481 61), según la CIAAW. Calcula su masa atómica media en u.

Respuesta: _____ u

6. La masa atómica de un elemento que aparece en la tabla periódica es la masa de su isótopo más abundante.

Verdadero ☐ Falso ☐

7. ¿Cuál de estos elementos tiene mayor radio atómico?

- a) Na
- b) Mg
- c) Cl
- d) K

8. Un cristal de cloruro de sodio está formado por moléculas de NaCl.

Verdadero ☐ Falso ☐

9. La regla del octeto es una ley que cumplen todos los compuestos.

Verdadero ☐ Falso ☐

10. Una sustancia sólida es insoluble en agua y conduce la corriente en estado sólido. Lo más probable es que sea...

- a) Un compuesto iónico, como el cloruro de sodio.
- b) Una sustancia molecular, como el azúcar.
- c) Un metal, como el cobre.
- d) Una disolución de sal en agua.

11. Cuando el agua hierve se rompen los enlaces entre el oxígeno y el hidrógeno de sus moléculas.

Verdadero ☐ Falso ☐

12. ¿Qué une las dos cadenas de la doble hélice del ADN?

- a) Enlaces iónicos entre las bases.
- b) Enlaces de hidrógeno entre las bases de una cadena y las de la otra.
- c) Enlaces metálicos.
- d) Las dos cadenas son una sola molécula sin uniones entre ellas.

13. ¿Cuál es un nombre aceptado por las recomendaciones de la IUPAC de 2005 para Fe_2O_3 ?

- a) Óxido férrico.
- b) Óxido de hierro(II).
- c) Óxido de hierro(III).
- d) Trióxido de hierro.

14. ¿Cuál es la fórmula del dicloruro de oxígeno según la IUPAC de 2005?

- a) Cl_2O
- b) OCl_2
- c) ClO_2
- d) O_2Cl

15. ¿Cuál es la fórmula del hidróxido de hierro(III)?

- a) FeOH_3
- b) Fe_3OH
- c) $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- d) Fe_2O_3

16. Calcula la masa molar del cloruro de calcio, CaCl_2 . ($\text{Ca} = 40,078$; $\text{Cl} = 35,45$)

Respuesta: _____ g/mol

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: ajuste, estequiometría y reactivo limitante

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.5 · Comp. específicas CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 2.3, 4.1, 4.2Datos: $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (exacta); $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (CODATA 2022).Masas atómicas (CIAAW): $H = 1,0080$; $C = 12,011$; $N = 14,007$; $O = 15,999$; $Mg = 24,305$; $Cl = 35,45$; $Ca = 40,078$. $T \text{ (K)} = t \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15$.

Ejercicios

- ¿Físico o químico?** Clasifica cada cambio y justifícalo en una línea: a) un clavo de hierro se oxida al aire húmedo; b) el agua de un charco se congela; c) una vela arde; d) la sal se disuelve en agua; e) una pastilla efervescente burbujea en agua; f) el agua de una olla hierve.
- Ajuste.** Ajusta estas ecuaciones y comprueba el número de átomos de cada elemento: a) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ (reacción del alto horno) b) $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (combustión del propano) c) $\text{Al} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ d) $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$ e) Un compañero ajusta $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ escribiendo $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$. ¿Qué ha hecho mal?
- La masa que «aparece».** Se queman 0,243 g de cinta de magnesio y se obtiene óxido de magnesio. a) Escribe la ecuación ajustada. b) Calcula la masa de óxido de magnesio que se forma. c) Un estudiante dice que la ley de conservación de la masa no se cumple porque el producto pesa más que el metal. Explica de dónde sale la diferencia y calcúlala.
- Contar moléculas.** ¿Cuántas moléculas y cuántos átomos hay en 9,0 g de agua?
- Una bombona de butano.** Una bombona doméstica contiene 12,5 kg de butano (C_4H_{10}). a) Escribe la ecuación ajustada de su combustión. b) Calcula la masa de CO_2 que se emite al quemarla entera. c) ¿Qué volumen ocuparía ese CO_2 a 20 °C y 101 325 Pa? d) Calcula la masa de oxígeno consumida y comprueba que se conserva la masa.
- Reactivo limitante.** Se añaden 5,00 g de carbonato de calcio a 50,0 mL de ácido clorhídrico de concentración 1,00 mol/L. Se forman cloruro de calcio, agua y dióxido de carbono. a) Escribe la ecuación ajustada. b) ¿Cuál es el reactivo limitante? c) ¿Qué masa de CO_2 se forma? d) ¿Qué masa del reactivo en exceso queda sin reaccionar?
- Analiza el resultado.** En la práctica de la unidad, un grupo mezcla 1,50 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con carbonato de sodio en exceso y pesa 1,14 g de carbonato de calcio «seco». a) Calcula su rendimiento. b) ¿Es posible ese resultado? c) Propón tres causas y cómo comprobarías cada una. d) ¿Qué debería hacer el grupo con su conclusión?

8. **Química y sociedad.** En unas diez líneas, explica por qué la síntesis del amoníaco se considera una de las reacciones más importantes del siglo XX y qué problemas ha creado. Usa al menos una ecuación química y un dato con su fuente.

SOLUCIÓN

1. a) Químico: se forma una sustancia nueva (óxido de hierro hidratado). b) Físico: el agua sigue siendo agua. c) Químico: la combustión forma CO_2 y H_2O . d) Físico: la sal se recupera evaporando el agua. e) Químico: el gas que se desprende (CO_2) es una sustancia nueva. f) Físico: aunque se desprende gas, es vapor de agua; no hay sustancia nueva.
2. a) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$ (Fe 2 = 2; O 3 + 3 = 6; C 3 = 3). b) $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$ (C 3 = 3; H 8 = 8; O 10 = 6 + 4). c) $4 \text{Al} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Al}_2\text{O}_3$ (Al 4 = 4; O 6 = 6). d) $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ (N 2 = 2; H 6 = 6). e) El ajuste es incorrecto: al cambiar el subíndice, H_2O_2 ya no es agua sino peróxido de hidrógeno. Correcto: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.
3. a) $2 \text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgO}$. b) $n(\text{Mg}) = 0,243 \text{ g} / 24,305 \text{ g/mol} = 1,000 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $n(\text{MgO}) = 1,000 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $m(\text{MgO}) = 1,000 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 40,304 \text{ g/mol} = 0,403 \text{ g}$. c) La masa aumenta $0,403 - 0,243 = 0,160 \text{ g}$, que es la masa del oxígeno del aire incorporado: $1,000 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 15,999 \text{ g/mol} = 0,160 \text{ g}$. La ley de conservación de la masa se cumple si se cuenta el oxígeno como reactivo.
4. $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times 1,0080 + 15,999 = 18,015 \text{ g/mol}$. $n = 9,0 \text{ g} / 18,015 \text{ g/mol} = 0,50 \text{ mol}$. Moléculas: $0,4996 \text{ mol} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 3,0 \times 10^{23}$. Átomos: tres por molécula, $9,0 \times 10^{23}$. (Con dos cifras significativas, como el dato.)
5. a) $2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$. b) $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58,124 \text{ g/mol}$; $n = 12,5 \times 10^3 \text{ g} / 58,124 \text{ g/mol} = 215,1 \text{ mol}$. $n(\text{CO}_2) = 4 \times 215,1 = 860,2 \text{ mol}$; $m(\text{CO}_2) = 860,2 \text{ mol} \times 44,009 \text{ g/mol} = 3,786 \times 10^4 \text{ g} = 37,9 \text{ kg}$. c) $V = nRT/p = 860,2 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 293,15 \text{ K} / 101\,325 \text{ Pa} = 20,7 \text{ m}^3$. d) $n(\text{O}_2) = (13/2) \times 215,1 = 1398 \text{ mol}$; $m(\text{O}_2) = 1398 \text{ mol} \times 31,998 \text{ g/mol} = 44,73 \text{ kg}$. Agua: $n(\text{H}_2\text{O}) = 5 \times 215,1 = 1075 \text{ mol}$; $m = 19,37 \text{ kg}$. El CO_2 pesa unas tres veces más que el butano porque incorpora oxígeno del aire; la masa total se conserva: reactivos, $12,50 + 44,73 = 57,23 \text{ kg}$; productos, $37,86 + 19,37 = 57,23 \text{ kg}$.
6. a) $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. b) $n(\text{CaCO}_3) = 5,00 \text{ g} / 100,086 \text{ g/mol} = 4,996 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $n(\text{HCl}) = 1,00 \text{ mol/L} \times 0,0500 \text{ L} = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$. Para consumir todo el CaCO_3 harían falta $2 \times 4,996 \times 10^{-2} = 9,99 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de HCl , y solo hay $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$: el limitante es el HCl , aunque los moles de los dos reactivos sean casi iguales. c) $n(\text{CO}_2) = 5,00 \times 10^{-2} / 2 = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $m = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 44,009 \text{ g/mol} = 1,10 \text{ g}$. d) Reacciona $2,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de CaCO_3 ; sobran $2,50 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 100,086 \text{ g/mol} = 2,50 \text{ g}$ de CaCO_3 sin disolver. El error típico es tomar como limitante el reactivo con menos moles sin mirar los coeficientes.
7. a) Masa teórica: $1,021 \text{ g}$ (ver práctica de la unidad). $1,14 \text{ g} / 1,021 \text{ g} \times 100 = 112 \%$. b) No puede ser real: no se puede obtener más producto del que permiten los átomos de calcio disponibles. c) Causas: sólido húmedo (secar y pesar hasta masa constante), cloruro de sodio no lavado (lavar con más agua destilada y volver a secar), error al pesar el papel. d) La conclusión debe rehacerse: el dato no se publica como «rendimiento del 112 %»; se repite la medida o se declara que no es válido y por qué.
8. Respuesta abierta. Se valora que mencione: que la síntesis del amoníaco ($\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$) permite fabricar fertilizantes a partir del nitrógeno del aire, y que Erisman et al. (2008) estimaron que cerca de la mitad de la población mundial dependía de ese nitrógeno para alimentarse; que el mismo proceso tiene costes ambientales (contaminación por nitratos) y usos militares; y que la decisión no es puramente técnica. Error que debe evitarse: «la química es mala porque contamina» o «es buena porque da comida», sin datos ni matices.

· grupos de 3

Práctica: conservación de la masa y rendimiento de una precipitación

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.5 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Balanza de resolución 0,01 g · Parte A: botella de plástico de refresco con gas de 500 mL con su tapón, vinagre de cocina (en torno al 5 % de ácido acético), hidrogenocarbonato de sodio (bicarbonato sódico de cocina), papel de filtro o pañuelo de papel, probeta de 25 mL · Parte B: cloruro de calcio dihidrato ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3), agua destilada, 2 vasos de precipitados de 100 mL, 1 vaso de 250 mL, probeta de 50 mL, varilla de vidrio, espátula · Embudo, papel de filtro, soporte con aro, frasco lavador con agua destilada y vidrio de reloj · Estufa a unos 105 °C, si la hay; si no, lugar seco y protegido para secar al aire varios días · Gafas de seguridad (una por persona) y guantes de nitrilo

Criterios: 1.2, 2.3, 4.1, 4.2

Objetivo

Comprobar experimentalmente la ley de conservación de la masa en una reacción que desprende un gas, y explicar por qué parece no cumplirse cuando el recipiente está abierto. Medir el rendimiento de una reacción de precipitación en la que uno de los reactivos es limitante, y analizar críticamente el resultado.

Planteamiento

Antes de empezar, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. Si se hace reaccionar bicarbonato con vinagre dentro de una botella cerrada, ¿la masa de la botella aumentará, disminuirá o se mantendrá? ¿Y si después se abre?
2. Si se mezclan 1,50 g de cloruro de calcio dihidrato y 1,50 g de carbonato de sodio, ¿qué reactivo se acabará antes? ¿Qué masa de carbonato de calcio se formará como máximo?

Normas de seguridad específicas

- **Gafas de seguridad obligatorias durante toda la práctica.** El cloruro de calcio y el carbonato de sodio provocan irritación ocular grave (indicación de peligro **H319**, clasificación armonizada del Reglamento (CE) n.º 1272/2008, anexo VI: números índice 017-013-00-2 y 011-005-00-2). Guantes de nitrilo al pesar y disolver los sólidos. Si cae una salpicadura en los ojos, lavado inmediato con agua abundante durante varios minutos y aviso al profesorado.
- El bicarbonato de sodio, el vinagre de cocina, el carbonato de calcio y el cloruro de sodio no tienen clasificación de peligro, pero en el laboratorio no se prueba ni se huele ninguna sustancia.
- **Parte A:** solo botellas de plástico de refresco con gas (están hechas para soportar presión), nunca de vidrio ni de agua sin gas. No se supera la cantidad de 0,50 g de bicarbonato. La botella se abre despacio, girando el tapón poco a poco, apuntando hacia la pared y lejos de la cara.

- **Parte B:** las disoluciones se mezclan sobre la mesa, no en la mano. El filtrado (disolución de cloruro de sodio con un poco de carbonato de sodio) puede verterse por el desagüe con agua abundante. Al terminar, lavado de manos.

Procedimiento

Parte A. Conservación de la masa (sesión 1, unos 20 min)

1. Medid con la probeta 20 mL de vinagre y echadlos en la botella. Pesad 0,50 g de bicarbonato y envolvedlo en un trozo pequeño de papel de filtro, formando un paquete cerrado.
2. Poned sobre la balanza la botella con el vinagre, su tapón y el paquete de bicarbonato al lado. Anotad la masa m_1 .
3. Introducid el paquete en la botella y cerrad el tapón de inmediato. El papel tarda unos segundos en empaparse, lo que da tiempo a cerrar.
4. Agitad suavemente hasta que deje de salir gas. Pesad la botella cerrada (m_2).
5. Abrid la botella despacio, siguiendo la norma de seguridad, y esperad un minuto. Volved a cerrarla y pesadla con su tapón (m_3).

Parte B. Rendimiento de una precipitación (sesiones 1 y 2)

6. Pesad 1,50 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y disolvedlo en unos 50 mL de agua destilada en un vaso de 100 mL. Pesad 1,50 g de Na_2CO_3 y disolvedlo en otros 50 mL en el segundo vaso. Anotad las masas exactas.
7. Verted las dos disoluciones en el vaso de 250 mL y removed con la varilla durante un minuto. Anotad lo que observáis.
8. Pesad un papel de filtro seco (m_{papel}), dobladlo y colocadlo en el embudo. Filtrad la mezcla, arrastrando el sólido que quede en el vaso con el frasco lavador.
9. Lavad el sólido del filtro con dos porciones de unos 10 mL de agua destilada, para eliminar el cloruro de sodio disuelto.
10. Colocad el papel con el sólido en el vidrio de reloj, marcado con el nombre del grupo, y dejadlo secar: en estufa a unos 105 °C, o al aire hasta la sesión siguiente.
11. En la sesión 2, pesad el papel con el sólido seco (m_{total}). Si hay tiempo, volved a secar 10 minutos y pesad de nuevo: el sólido está seco cuando dos pesadas seguidas coinciden.

Tabla de datos

PARTE A	MASA (G)
m_1 : botella + vinagre + tapón + bicarbonato, antes de reaccionar	
m_2 : botella cerrada, después de reaccionar	
m_3 : botella después de abrirla	
$m_2 - m_1$	
$m_3 - m_1$	
PARTE B	VALOR
Masa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (g)	

Masa de Na_2CO_3 (g)

Observaciones al mezclar

m_papel (g)

m_total, primera pesada (g)

m_total, segunda pesada (g)

Masa de CaCO_3 obtenida (g)

Masa teórica de CaCO_3 (g)

Rendimiento (%)

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Escribid y ajustad las ecuaciones de las dos reacciones. Datos (CIAAW): H = 1,0080; C = 12,011; O = 15,999; Na = 22,990; Cl = 35,45; Ca = 40,078.
2. Parte A: comparad m_2 con m_1 y m_3 con m_1 . ¿Se cumple la ley de conservación de la masa? Explicad, con el modelo de partículas, por qué la masa baja al abrir la botella. Calculad la masa máxima de CO_2 que pueden producir 0,50 g de bicarbonato y comparadla con $m_1 - m_3$: ¿por qué la pérdida medida es menor?
3. Parte B: calculad la cantidad de sustancia de cada reactivo, identificad el limitante y calculad la masa teórica de CaCO_3 y el rendimiento. ¿Por qué hay que usar la masa molar del dihidrato y no la del CaCl_2 anhidro?
4. Otro grupo ha obtenido un rendimiento del 112 %. ¿Es posible? Proponed al menos dos causas y cómo comprobaríais cada una.
5. ¿Por qué el procedimiento pone carbonato de sodio en exceso, en lugar de las cantidades exactas de la ecuación?
6. Comparad los resultados con vuestras predicciones iniciales. ¿Cuáles se cumplieron? Redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay laboratorio disponible, la idea de reactivo limitante y reactivo en exceso puede trabajarse con la simulación [Reactivos, productos y excedentes de PhET](#) (Universidad de Colorado, en español): se eligen cantidades iniciales de reactivos y se predice qué sobra antes de ver el resultado. La simulación no permite medir masas ni rendimientos, así que las cuestiones 2 a 4 se resuelven con los datos de ejemplo que facilite el profesorado.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Incumple las normas o no completa las medidas	Completa las medidas con recordatorios de seguridad	Mide con cuidado y cumple las normas sin recordatorios	Además, comprueba la masa constante del precipitado y anota observaciones útiles

Conservación de la masa (2.3)	Concluye que la masa no se conserva	Reconoce que se conserva en la botella cerrada, sin explicar el caso abierto	Explica con el modelo de partículas los dos casos	Además, justifica por qué la pérdida medida es menor que la teórica
Cálculo estequiométrico (4.1)	No identifica el limitante o confunde masas con moles	Identifica el limitante con algún error de cálculo	Calcula limitante, masa teórica y rendimiento con unidades correctas	Además, usa correctamente la masa molar del hidrato y las cifras significativas
Análisis crítico del resultado (4.2)	Acepta cualquier resultado sin discutirlo	Señala una fuente de error genérica	Propone causas concretas del rendimiento obtenido	Propone causas y cómo comprobarlas, y revisa sus propias conclusiones

SOLUCIÓN

1. Parte A, ecuación: $\text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$.
Ajustada: Na 1 = 1; C 1 + 2 = 2 + 1; H 1 + 4 = 3 + 2; O 3 + 2 = 2 + 1 + 2.
2. Parte A, resultados esperados: con la botella cerrada, la masa antes y después de la reacción coincide dentro de la resolución de la balanza (diferencia de 0,00 o $\pm 0,01$ g). Al abrir la botella y dejar salir el gas, la masa disminuye unas décimas de gramo. Máximo teórico: $n(\text{NaHCO}_3) = 0,50 \text{ g} / 84,006 \text{ g/mol} = 5,95 \times 10^{-3} \text{ mol}$; el vinagre está en exceso (20 mL de vinagre al 5 % contienen alrededor de 1 g de ácido acético, unos 0,017 mol), así que se forman $5,95 \times 10^{-3} \text{ mol}$ de $\text{CO}_2 = 0,26 \text{ g}$. La pérdida medida es menor (por ejemplo, 0,15-0,20 g) porque parte del CO_2 queda disuelto en el líquido y, al abrir, solo sale gas hasta que la botella vuelve a la presión atmosférica: ese gas es una mezcla de CO_2 y aire, y parte del CO_2 sigue dentro, mezclado con el aire. Por eso la masa perdida es menor que la del CO_2 formado.
3. Parte A, presión: si todo el CO_2 quedara en los 0,45 L de gas de la botella a 20 °C, la presión aumentaría $\Delta p = nRT/V = 5,95 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 293,15 \text{ K} / 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 3,2 \times 10^4 \text{ Pa}$, una tercera parte de la presión atmosférica. Una botella de refresco con gas soporta presiones bastante mayores; por eso se usa ese tipo de botella y se limita el bicarbonato a 0,50 g.
4. Parte B, ecuación: $\text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + 2 \text{NaCl}(\text{aq})$. Masas molares (CIAAW: H 1,0080; C 12,011; O 15,999; Na 22,990; Cl 35,45; Ca 40,078): $M(\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 147,008 \text{ g/mol}$; $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,988 \text{ g/mol}$; $M(\text{CaCO}_3) = 100,086 \text{ g/mol}$.
5. Parte B, limitante: $n(\text{CaCl}_2) = 1,50 \text{ g} / 147,008 \text{ g/mol} = 1,020 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,50 \text{ g} / 105,988 \text{ g/mol} = 1,415 \times 10^{-2} \text{ mol}$. La proporción es 1:1, así que el limitante es el cloruro de calcio aunque se haya pesado la misma masa de los dos. Masa teórica de $\text{CaCO}_3 = 1,020 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 100,086 \text{ g/mol} = 1,021 \text{ g}$. Sobran $0,395 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de Na_2CO_3 (0,42 g), que quedan disueltos. El agua de cristalización del dihidrato no interviene en la reacción, pero sí cuenta en la masa molar del sólido que se pesa: usar 110,978 g/mol (la del CaCl_2 anhidro) daría una masa teórica falsa de 1,353 g.
6. Parte B, ejemplo de resultados: papel de filtro seco 0,912 g; papel con el sólido seco 1,893 g; CaCO_3 obtenido 0,981 g; rendimiento = $0,981 \text{ g} / 1,021 \text{ g} \times 100 = 96,1 \%$. Un rendimiento algo inferior al 100 % es lo esperable: queda sólido en el vaso, en la varilla y en los poros del papel.
7. Cuestión 4 (rendimiento mayor del 100 %): un 112 % (1,14 g) no significa que se haya creado materia. Causas posibles: precipitado todavía húmedo (la más frecuente; se comprueba volviendo a secar y pesar hasta masa constante), cloruro de sodio no eliminado por un lavado insuficiente, o papel de filtro pesado húmedo y después seco. La conclusión correcta es revisar el procedimiento, no aceptar el dato.
8. Cuestión 5 (por qué se usa exceso de carbonato): para asegurar que todo el calcio precipita; el producto que interesa queda determinado por el reactivo que se ha pesado con exactitud. Si los dos se pusieran en la proporción exacta, cualquier error de pesada dejaría parte del calcio sin precipitar sin que se notara.
9. Cuestión 6 (hipótesis): se valora que el grupo compare las predicciones previas con los resultados sin modificarlas a posteriori. Error típico que debe aparecer corregido: «al abrir la botella la masa baja porque el gas no pesa» (baja porque el gas, que sí tiene masa, sale de la botella).

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 16 PREGUNTAS

1. ¿Cuál de estos cambios es una reacción química?

- a) El agua hierve y se desprende vapor.
- b) Un trozo de hierro se oxida al aire húmedo.
- c) El azúcar se disuelve en el café.
- d) La mantequilla se funde en la sartén.

2. Cuando una cinta de magnesio arde al aire, el óxido de magnesio que se forma pesa más que la cinta, así que la ley de conservación de la masa no se cumple.

Verdadero ☐ Falso ☐

3. Se hace reaccionar bicarbonato con vinagre dentro de una botella bien cerrada. Comparada con la masa inicial, la masa de la botella al terminar la reacción...

- a) Disminuye, porque se forma un gas.
- b) Aumenta, porque el gas empuja las paredes.
- c) Es la misma, porque ninguna sustancia entra ni sale.
- d) Disminuye, porque los gases no tienen masa.

4. Para ajustar $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, ¿qué es correcto?

- a) $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
- b) $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
- c) $\text{H}_2 + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- d) $\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

5. ¿Cuáles son los coeficientes de la ecuación ajustada $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, en ese orden?

- a) 1, 3, 3, 4
- b) 1, 5, 3, 4
- c) 2, 7, 6, 8
- d) 1, 5, 3, 8

6. En la ecuación $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$, los coeficientes indican que 1 g de nitrógeno reacciona con 3 g de hidrógeno.

Verdadero ☐ Falso ☐

7. Calcula la masa molar del dióxido de carbono, CO_2 . Masas atómicas (CIAAW): C = 12,011; O = 15,999.

Respuesta: _____ g/mol

8. ¿Cuántas moléculas hay en 0,250 mol de agua? Expresa el resultado en unidades de 10^{23} (por ejemplo, $2,5 \times 10^{23}$ se escribe 2.5). $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Respuesta: _____ $\times 10^{23}$ moléculas

9. Se queman completamente 32,0 g de metano: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. ¿Qué masa de CO_2 se forma? $M(\text{CH}_4) = 16,043 \text{ g/mol}$; $M(\text{CO}_2) = 44,009 \text{ g/mol}$.

Respuesta: _____ g

10. Se mezclan 2,0 mol de N_2 con 5,0 mol de H_2 para formar amoníaco ($\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$). ¿Cuál es el reactivo limitante?

- a) El N_2 , porque hay menos moles.
- b) El H_2 , porque para 2,0 mol de N_2 harían falta 6,0 mol de H_2 .
- c) Ninguno: están en la proporción de la ecuación.
- d) El N_2 , porque su masa molar es mayor.

11. Con 5,0 mol de H_2 y N_2 en exceso, ¿cuántos moles de NH_3 se forman como máximo? ($\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$)

Respuesta: _____ mol

12. Una reacción debería producir 1,021 g de carbonato de calcio, y se obtienen 0,950 g. ¿Cuál es el rendimiento en %?

Respuesta: _____ %

13. Un grupo obtiene un rendimiento del 112 % en una precipitación. ¿Qué conclusión es correcta?

- a) La reacción ha ido mejor de lo previsto.
- b) Se ha creado materia durante la reacción.
- c) Hay un error: lo más probable es que el precipitado siga húmedo o tenga impurezas.
- d) El reactivo limitante era el otro.

14. ¿Qué volumen ocupa 1,00 mol de un gas ideal a 0 °C (273,15 K) y 100 000 Pa? Da el resultado en litros. $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Respuesta: _____ L

15. Un catalizador aumenta la velocidad de una reacción y se consume en ella como un reactivo más.

Verdadero ☐ Falso ☐

16. ¿Por qué el trabajo de Molina y Rowland de 1974 fue importante?

- a) Inventaron los clorofluorocarbonos (CFC).
- b) Predijeron que el cloro liberado por los CFC en la estratosfera destruiría el ozono mediante un ciclo catalítico.
- c) Descubrieron la síntesis del amoníaco.
- d) Demostraron que el ozono es un gas inerte.

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: energía mecánica, calor y consumo eléctrico

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.6 · Comp. específicas CE2, CE3, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 2.3, 3.1, 4.1, 4.2

Datos: $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$; $c(\text{agua líquida}) = 4,18 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (NIST); densidad del agua $\approx 1,00 \text{ kg/L}$; $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$. Precio supuesto de la electricidad: $0,150 \text{ €/kWh}$. Factor de emisión medio del sistema eléctrico español en 2024: unos $0,10 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$ (estimación del libro a partir de los datos de Red Eléctrica). Convenio de signos: $\Delta U = Q + W$, positivos cuando la energía entra en el sistema.

Ejercicios

- Transformaciones.** Indica qué transformaciones de energía tienen lugar en: a) un panel fotovoltaico; b) la dinamo de una bicicleta; c) un ciclista que sube un puerto; d) un coche que frena hasta pararse; e) una batidora; f) una central eléctrica de gas.
- Energía cinética y velocidad.** Un coche de 1200 kg circula a 90 km/h . a) Calcula su energía cinética. b) Calcúlala a 45 km/h y compara. c) ¿Desde qué altura tendría que caer el coche para llegar al suelo con la misma energía que lleva a 90 km/h ? ¿Qué relación tiene esto con la seguridad vial?
- Caída con y sin aire.** Se deja caer una pelota de $0,200 \text{ kg}$ desde $15,0 \text{ m}$. a) ¿Con qué rapidez llegaría al suelo sin rozamiento con el aire? b) En realidad llega a $14,0 \text{ m/s}$. ¿Cuánta energía mecánica se ha transformado y qué porcentaje supone? c) ¿Adónde ha ido esa energía?
- Un descenso en esquí.** Una esquiadora de $70,0 \text{ kg}$, con su equipo, parte del reposo y desciende una pista con un desnivel de 120 m y una longitud de 400 m . Llega abajo a $20,0 \text{ m/s}$. Calcula la energía transformada por el rozamiento y la fuerza media de rozamiento. ¿A qué velocidad llegaría sin rozamiento? Comenta el resultado.
- Un termo eléctrico.** Un termo de 200 L calienta el agua desde $15,0 \text{ °C}$ hasta $60,0 \text{ °C}$. a) ¿Qué energía recibe el agua, en J y en kWh ? b) Si el rendimiento del termo es del 90% , ¿cuánta energía eléctrica consume? c) Si su resistencia tiene una potencia de $1,50 \text{ kW}$, ¿cuánto tarda en calentarla?
- Calor, temperatura y energía interna.** a) ¿Qué tiene más energía interna: una bañera de agua a 35 °C o una taza de café a 80 °C ? b) Si se vierte el café en la bañera, ¿en qué sentido pasa el calor? ¿Por qué? c) Un gas recibe 500 J de calor y, a la vez, se le comprime haciendo sobre él un trabajo de 200 J . ¿Cuánto varía su energía interna? d) ¿Y si recibe 500 J de calor y es el gas el que hace 200 J de trabajo al expandirse?

7. **El consumo de casa.** En una vivienda hay una bombilla LED de 9 W encendida 5 h al día, un televisor de 100 W encendido 4 h al día y varios aparatos en modo de espera que suman 5 W durante las 24 h. a) Calcula el consumo anual de cada uno en kWh, su coste y las emisiones totales asociadas. b) ¿Qué consume más al año, la bombilla o los aparatos en espera? ¿Por qué, si la potencia de la bombilla es mayor? c) Un compañero dice: «un aparato de 2 kW consume 2 kWh en una hora». ¿Es correcto? ¿Y la frase «consume 2 kW por hora»?
8. **¿Un rendimiento del 300 %?** El folleto de una bomba de calor para calefacción afirma que «por cada kWh de electricidad entrega 3 kWh de calor: un rendimiento del 300 %». a) ¿Incumple la conservación de la energía? b) ¿Por qué no se aplica aquí el límite del 100 % que se estudia en la unidad? c) ¿Incumple el segundo principio, si lleva calor del exterior frío al interior caliente? d) ¿Qué conclusión general sacas sobre cómo analizar un resultado que parece imposible?
9. **Almacenar energía con agua.** Una central de bombeo sube $1,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua a un embalse situado 400 m por encima del inferior. a) ¿Cuánta energía potencial almacena, en J y en GWh? b) Si el rendimiento del ciclo completo (bombear y volver a turbinar) fuera del 75 %, ¿cuánta energía eléctrica se recuperaría? c) ¿Adónde va el resto, y por qué, aun así, compensa construir estas centrales?

SOLUCIÓN

1. a) Panel fotovoltaico: radiante $\rightarrow$ eléctrica. b) Dinamo de bicicleta: cinética $\rightarrow$ eléctrica. c) Ciclista que sube un puerto: química (de los alimentos) $\rightarrow$ potencial gravitatoria, y parte a energía interna (calor corporal). d) Frenado de un coche: cinética $\rightarrow$ energía interna de frenos y ruedas. e) Batidora: eléctrica $\rightarrow$ cinética, y una parte a energía interna. f) Central de gas: química $\rightarrow$ interna del vapor o de los gases $\rightarrow$ cinética de la turbina $\rightarrow$ eléctrica. En todos los casos una parte acaba como energía interna del entorno.
2. a) $v = 90 \text{ km/h} = 25,0 \text{ m/s}$; $E_c = \frac{1}{2} \times 1200 \text{ kg} \times (25,0 \text{ m/s})^2 = 3,75 \times 10^5 \text{ J}$. b) A $45 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$; $E_c = 9,38 \times 10^4 \text{ J}$, la cuarta parte. Al reducir la velocidad a la mitad, la energía cinética se divide entre cuatro, porque depende de v^2 . c) $E_p = m g h \Rightarrow h = E_c / (m g) = 3,75 \times 10^5 \text{ J} / (1200 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m s}^{-2}) = 31,9 \text{ m}$: chocar a 90 km/h equivale, en energía, a caer desde unos 32 m (un edificio de unas diez plantas).
3. a) Sin rozamiento: $v = \sqrt{(2 g h)} = \sqrt{(2 \times 9,81 \text{ m s}^{-2} \times 15,0 \text{ m})} = 17,2 \text{ m/s}$, independiente de la masa. b) E_p inicial $= 0,200 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m s}^{-2} \times 15,0 \text{ m} = 29,4 \text{ J}$; E_c final $= \frac{1}{2} \times 0,200 \text{ kg} \times (14,0 \text{ m/s})^2 = 19,6 \text{ J}$; energía transformada por el rozamiento con el aire $= 9,8 \text{ J}$, un 33 % de la inicial. c) No desaparece: calienta (muy poco) el aire y la pelota, y pone en movimiento el aire.
4. $E_p = 70,0 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m s}^{-2} \times 120 \text{ m} = 8,24 \times 10^4 \text{ J}$. E_c final $= \frac{1}{2} \times 70,0 \text{ kg} \times (20,0 \text{ m/s})^2 = 1,40 \times 10^4 \text{ J}$. $|W_{\text{roz}}| = 8,24 \times 10^4 - 1,40 \times 10^4 = 6,84 \times 10^4 \text{ J}$. Fuerza media de rozamiento (nieve y aire) $= 6,84 \times 10^4 \text{ J} / 400 \text{ m} = 171 \text{ N}$. Sin rozamiento llegaría a $\sqrt{(2 \times 9,81 \times 120)} = 48,5 \text{ m/s}$ (175 km/h): el rozamiento es lo que hace posible esquiar con seguridad.
5. a) $m = 200 \text{ kg}$ (densidad $\approx 1,00 \text{ kg/L}$); $\Delta T = 45,0 \text{ K}$; $Q = 200 \text{ kg} \times 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 45,0 \text{ K} = 3,76 \times 10^7 \text{ J} = 10,5 \text{ kWh}$ ($3,762 \times 10^7 / 3,6 \times 10^6 = 10,45$). b) Energía consumida $= 10,45 \text{ kWh} / 0,90 = 11,6 \text{ kWh}$. c) $t = E / P = 11,6 \text{ kWh} / 1,50 \text{ kW} = 7,7 \text{ h}$. Por eso los termos eléctricos se calientan durante la noche y están aislados.
6. a) La bañera: tiene muchísimas más partículas, y por tanto más energía interna, aunque su temperatura sea menor. b) Del café a la bañera: el calor fluye del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, no del que tiene más energía interna. c) $\Delta U = Q + W = 500 \text{ J} + 200 \text{ J} = 700 \text{ J}$ (convenio IUPAC: la energía que entra es positiva). d) Si el gas hace 200 J de trabajo sobre el exterior, $W = -200 \text{ J}$ y $\Delta U = 500 \text{ J} - 200 \text{ J} = 300 \text{ J}$.
7. a) LED: $9 \text{ W} \times 5 \text{ h} \times 365 = 16,4 \text{ kWh/año} \rightarrow 2,46 \text{ €}$. Televisor: $100 \text{ W} \times 4 \text{ h} \times 365 = 146 \text{ kWh/año} \rightarrow 21,90 \text{ €}$. Aparatos en espera: $5 \text{ W} \times 24 \text{ h} \times 365 = 43,8 \text{ kWh/año} \rightarrow 6,57 \text{ €}$. Total: $206 \text{ kWh/año} \rightarrow 30,93 \text{ €}$; emisiones $\approx 206 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ kg/kWh} \approx 21 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq. b)}$ Los aparatos en espera consumen casi el triple que la bombilla, aunque su potencia sea menor, porque están conectados las 24 h. c) Correcta: un aparato de 2 kW funcionando 1 h consume 2 kWh . La frase errónea es «consume 2 kW por hora»: el kW ya es energía por unidad de tiempo.
8. a) No incumple la conservación de la energía: la bomba de calor no transforma la electricidad en calor, sino que la usa para trasladar calor del aire exterior, más frío, al interior. Por cada $1,0 \text{ kWh}$ eléctrico entrega $3,0 \text{ kWh}$ de calor; los $2,0 \text{ kWh}$ restantes proceden del aire exterior. b) El límite del 100 % se aplica cuando toda la energía que entra es la que se paga; aquí hay otra entrada de energía (el calor tomado del exterior) que no aparece en la factura. Por eso, en lugar de «rendimiento», las fichas técnicas usan un coeficiente de rendimiento (COP). c) El segundo principio no se incumple porque el paso de calor de lo frío a lo caliente no es espontáneo: se consigue consumiendo trabajo eléctrico. d) Conclusión crítica: ante un rendimiento mayor del 100 %, antes de rechazar

el dato hay que buscar si existe una entrada de energía no contabilizada; si no la hay, el dato es un error.

9. 9. a) $m = 1,00 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 1,00 \times 10^9 \text{ kg}$; $E_p = 1,00 \times 10^9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m s}^{-2} \times 400 \text{ m} = 3,92 \times 10^{12} \text{ J} = 1,09 \times 10^6 \text{ kWh} = 1,09 \text{ GWh}$. b) Con un rendimiento del ciclo completo del 75 % (dato supuesto), se recuperan $0,75 \times 1,09 \text{ GWh} = 0,82 \text{ GWh}$. c) El 25 % restante se transforma en energía interna del agua y de las máquinas (rozamiento, pérdidas eléctricas). Aun así compensa, porque permite usar energía renovable que de otro modo se desaprovecharía cuando sobra.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

1 sesión de 55 min (más el informe) · grupos de 3

Práctica: rendimiento de un hervidor eléctrico

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.6 · **Comp. específicas** CE1, CE2, CE3, CE4 · **Comp. clave** STEM, CCL, CPSAA

MATERIALES: Hervidor eléctrico con tapa (en torno a 2000 W) y su placa base · Medidor de consumo enchufable que indique la potencia en vatios (para 230 V y 16 A como mínimo) · Termómetro digital de sonda (resolución 0,1 °C) · Balanza de resolución 1 g y capacidad suficiente para el hervidor con agua · Cronómetro (o el del teléfono móvil) · Jarra o probeta de 1 L, agua del grifo y una varilla o cuchara larga para remover · Paño de cocina o guante resistente al calor

Criterios: 1.2, 2.3, 3.1, 4.1

Objetivo

Medir la energía eléctrica que consume un aparato doméstico y la que llega al agua que calienta, calcular su rendimiento y distinguir en la práctica potencia, energía y rendimiento.

Planteamiento

Antes de empezar, cada grupo escribe su predicción razonada:

1. La etiqueta del hervidor indica su potencia. ¿Basta ese dato para saber cuánta energía consume al calentar el agua? ¿Y para saber cuánta llega al agua?
2. ¿Qué porcentaje de la energía eléctrica creéis que acaba en el agua? ¿Adónde va el resto?

Normas de seguridad específicas

- **Agua caliente y vapor:** el hervidor se calienta solo 90 s con 1000 g de agua y 45 s con 500 g, para que el agua no pase de unos 60 °C y no se forme vapor. Con 500 g de agua, 90 s la llevarían a unos 80-90 °C: no se alarga nunca el tiempo indicado. Si alguna lectura supera los 60 °C, se espera a que el agua se enfríe antes de seguir. Nunca se abre la tapa con el hervidor encendido; se agarra siempre por el asa y, al abrirla, con el paño, apartando la cara.
- **Electricidad:** manos secas al enchufar y desenchufar. El hervidor se apaga y se **desenchufa del medidor antes** de abrir la tapa e introducir la sonda del termómetro. Si se derrama agua sobre la base, el medidor o la mesa, no se toca nada y se avisa al profesorado.
- El medidor de consumo se conecta directamente a la toma de pared, nunca a una regleta con otros aparatos. Se comprueba que admite la potencia del hervidor (16 A ×

230 V = 3680 W).

- El hervidor se coloca en el centro de la mesa, con el cable recogido para que no cuelgue ni se pueda enganchar.
- El agua usada se deja enfriar antes de verterla en la pila.

Procedimiento

1. Tarad la balanza con el hervidor vacío y añadid agua del grifo hasta que la balanza marque 1000 g. Anotad la masa exacta.
2. Removed, introducid la sonda del termómetro, esperad a que la lectura se estabilice y anotad T_1 . Retirad la sonda y cerrad la tapa.
3. Enchufad el medidor de consumo a la pared y el hervidor al medidor. Uno de los miembros del grupo se encarga del cronómetro; otro, de leer la potencia.
4. Encended el hervidor y el cronómetro a la vez. A los 30 s y a los 60 s anotad la potencia que marca el medidor.
5. A los 90 s exactos, apagad el hervidor. Desenchufadlo del medidor.
6. Abrid la tapa con el paño, removed el agua durante 15 s para igualar la temperatura e introducid la sonda. Anotad la temperatura máxima que alcanza la lectura (T_2).
7. Repetid el procedimiento con 500 g de agua fría del grifo (cuestión 4), pero apagad el hervidor a los **45 s**, no a los 90 s: con la mitad de agua, la mitad de tiempo da una subida de temperatura parecida y el agua no pasa de unos 60 °C. Antes de empezar, enjuagad el hervidor con agua fría para que no conserve el calor de la medida anterior.

Tabla de datos

MAGNITUD	MEDIDA 1 (1000 G)	MEDIDA 2 (500 G)
Masa de agua, m (g)		
Temperatura inicial, T_1 (°C)		
Potencia a los 30 s (W)		
Potencia a los 60 s (W)		
Potencia media, P (W)		
Tiempo de funcionamiento, t (s)		
Temperatura final, T_2 (°C)		
$\Delta T = T_2 - T_1$ (K)		
Energía consumida, $E = P \cdot t$ (J)		
Energía consumida (kWh)		
Energía recibida por el agua, $Q = m c \Delta T$ (J)		
Rendimiento, $\eta = Q / E$ (%)		

Tratamiento de datos y cuestiones

Dato: capacidad calorífica específica del agua líquida, $c = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (NIST). 1 kWh = $3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

1. Completad la tabla con las unidades del SI y las cifras significativas que permitan vuestras medidas. Calculad el rendimiento de las dos medidas.
2. ¿Adónde va la energía que no llega al agua? ¿Se ha incumplido la conservación de la energía?
3. Estimad la incertidumbre relativa de m , ΔT , t y P (consultad la ficha técnica del medidor). ¿Cuál limita más la precisión del rendimiento? Si otro grupo obtiene un 104 %, ¿qué ha podido pasar?
4. Comparad los rendimientos con 1000 g y con 500 g y explicad la diferencia.
5. Muchas personas llenan el hervidor entero para preparar una sola taza. Calculad la energía que se consume al año por calentar cada día 1,0 L de agua de más desde 15 °C hasta 100 °C con el rendimiento que habéis medido, y estimad las emisiones con el factor medio del sistema eléctrico español que se calcula en el libro (unos 0,10 kg CO₂ eq/kWh en 2024). ¿Qué hábito recomendaríais?
6. ¿Un hervidor de más potencia tiene necesariamente más rendimiento? Justificadlo con vuestras medidas.
7. Comparad los resultados con vuestras predicciones y redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay hervidor ni medidor disponibles, las transferencias de energía al calentar agua pueden explorarse con la simulación [Formas y cambios de energía de PhET](#) (Universidad de Colorado, en español), que representa con «paquetes» de energía cómo pasa la energía de un quemador al agua y al entorno. La simulación es cualitativa: no da potencias ni rendimientos, así que las cuestiones 1 a 5 se resuelven con los datos de ejemplo que facilite el profesorado.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Incumple las normas (abre la tapa enchufado, manos mojadas) o no completa las medidas	Completa las medidas con recordatorios de seguridad	Mide con cuidado y cumple las normas sin recordatorios	Además, controla las fuentes de error (remueve, enjuaga entre medidas) y anota observaciones útiles
Interpretación energética (2.3)	Confunde calor, temperatura y energía consumida	Calcula las energías, pero no explica adónde va la energía no útil	Explica las pérdidas con la conservación de la energía	Además, explica por qué el rendimiento cambia con la cantidad de agua
Cálculo y unidades (4.1)	Confunde kW y kWh o no usa el SI	Calcula E, Q y η con algún error de unidades	Calcula E, Q y η con unidades y cifras significativas correctas	Además, estima las incertidumbres e identifica la dominante

Consumo responsable (3.1)	No relaciona la práctica con el consumo real	Propone un hábito sin cuantificarlo	Cuantifica el ahorro anual en kWh	Cuantifica ahorro y emisiones, y valora el efecto de muchos hogares y del origen de la electricidad
---------------------------	--	-------------------------------------	-----------------------------------	---

SOLUCIÓN

1. Fundamento: la energía eléctrica consumida es $E = P \cdot t$ (P leída en el medidor, t con el cronómetro); la energía que recibe el agua es $Q = m c \Delta T$, con $c = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; el rendimiento es $\eta = Q / E$. Se usa el producto $P \cdot t$ y no la lectura de energía del medidor porque esta suele tener una resolución de $0,01 \text{ kWh} = 36 \text{ kJ}$, demasiado grosera para un calentamiento de 90 s (unos 180 kJ).
2. Ejemplo de resultados: $P = 1985 \text{ W}$; $t = 90,0 \text{ s}$; $E = 1985 \text{ W} \times 90,0 \text{ s} = 1,79 \times 10^5 \text{ J}$ ($0,0496 \text{ kWh}$). $m(\text{agua}) = 1,000 \text{ kg}$; $T_1 = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_2 = 56,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta T = 36,5 \text{ K}$; $Q = 1,000 \text{ kg} \times 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 36,5 \text{ K} = 1,53 \times 10^5 \text{ J}$. $\eta = 1,526 \times 10^5 \text{ J} / 1,787 \times 10^5 \text{ J} = 0,854 = 85,4 \%$.
3. Cuestión 2 (adónde va el resto): unos $2,6 \times 10^4 \text{ J}$ (el 15%) no acaban en el agua: calientan la resistencia, las paredes y la tapa del hervidor, el aire de dentro y el de alrededor, y una pequeña parte se va con el vapor y la evaporación. La energía se conserva; lo que se pierde es energía útil.
4. Cuestión 3 (incertidumbres): con $\Delta T = 36,5 \text{ K} \pm 0,2 \text{ K}$ (dos lecturas de $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$), la incertidumbre relativa de ΔT es del $0,5 \%$; la de la masa, $1 \text{ g} / 1000 \text{ g} = 0,1 \%$; la del tiempo, unos $0,5 \text{ s} / 90 \text{ s} = 0,6 \%$; la del medidor, típicamente del $1\text{-}2 \%$ según su ficha técnica. La más grande es la del medidor; el rendimiento se puede dar como $(85 \pm 2) \%$. Un rendimiento de grupo mayor del 100% indica un error: lo más frecuente es no remover antes de medir T_2 (la sonda está en una zona caliente) o anotar la potencia nominal de la etiqueta en lugar de la medida.
5. Cuestión 4 (con $0,500 \text{ kg}$ de agua durante 45 s): la mitad de agua recibe la mitad de energía, así que la subida de temperatura es parecida a la de la medida 1 (con $\eta = 0,85$: $0,85 \times 1985 \text{ W} \times 45 \text{ s} / (0,500 \text{ kg} \times 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}) = 36 \text{ K}$) y el agua no pasa de unos $60 \text{ }^\circ\text{C}$. El rendimiento suele bajar, porque la energía que se queda en el propio hervidor es parecida y ahora es una fracción mayor de lo consumido. Es un argumento físico para no calentar menos agua de la mínima que marca el aparato ni más de la que se va a usar.
6. Cuestión 5 (ahorro): calentar cada día $1,0 \text{ L}$ de agua de más desde $15 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $100 \text{ }^\circ\text{C}$ supone una energía útil de $1,0 \text{ kg} \times 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 85 \text{ K} = 3,55 \times 10^5 \text{ J} = 0,0987 \text{ kWh}$; con un rendimiento del $85,4 \%$, se consumen $0,0987 / 0,854 = 0,116 \text{ kWh}$. En un año, $0,116 \times 365 = 42 \text{ kWh}$. Con el factor de emisión medio del sistema eléctrico español en 2024 estimado en el libro (unos $0,10 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$, a partir de los datos de Red Eléctrica), son unos 4 kg de CO_2 equivalente al año por hogar. Se valora que el grupo relacione el gesto individual con la suma de muchos hogares y con el origen de la electricidad.
7. Cuestión 6 (potencia frente a rendimiento): no. Un hervidor de mayor potencia calienta antes, pero su rendimiento puede ser mayor, igual o menor; para comparar dos aparatos hay que medir la energía útil y la consumida, no leer la potencia de la etiqueta.

SITUACIÓN DE APRENDIZAJE

6 sesiones de 55 min repartidas en el bloque B (1 en la U2, 1 en la U4 y 4 en la U5)

Situación de aprendizaje: la factura de la luz de mi casa

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.1, B.2, B.3, B.5, B.6 · **Comp. específicas** CE2, CE3, CE4 · **Comp. clave** STEM, CCL, CD, CPSAA, CC

MATERIALES: Una factura eléctrica doméstica (propia, con los datos personales tapados) o la vivienda de referencia de esta ficha · Etiquetas o fichas técnicas de los aparatos de la vivienda (potencia en W) · Material de la práctica del hervidor: hervidor, medidor de consumo enchufable, termómetro de sonda, balanza y cronómetro · Hoja de cálculo y calculadora científica

Criterios: 2.3, 3.1, 4.1, 4.2

Propuesta para adaptar al grupo y al centro, tal como se plantea en la programación de la asignatura.

Contexto

La factura de la luz es uno de los pocos documentos con física que llegan a todas las casas. En ella aparecen dos magnitudes que casi todo el mundo confunde: la **potencia contratada**, en kW, y la **energía consumida**, en kWh. La pregunta de partida es concreta: **¿en qué se va la energía que pagamos en casa y qué se puede hacer, con fundamento, para gastar menos?**

La situación recorre el bloque B. Se lanza en la unidad 2, cuando el modelo de partículas explica qué es calentar algo; pasa por la unidad 4, que permite calcular cuánto CO₂ produce quemar un combustible; y se resuelve en la unidad 5, con la potencia, el consumo, el rendimiento y la práctica del hervidor eléctrico. Todos los datos de partida son los de la propia vivienda del alumnado o, para quien no quiera o no pueda aportarlos, los de una **vivienda de referencia**: los tres aparatos del ejercicio 7 de la unidad 5 (bombilla LED, televisor y aparatos en espera, 206 kWh al año) más un hervidor de 2000 W usado dos veces al día como en el ejemplo 5.2, que es un supuesto propio de esta ficha (unos 118 kWh al año más).

Competencias específicas y criterios de evaluación

- **CE2.** Comprender y explicar los procesos del entorno y explicarlos, utilizando los principios, leyes y teorías científicos adecuados, para adquirir una visión holística del funcionamiento del medio natural.
 - 2.3 Reconocer y analizar los fenómenos fisicoquímicos más relevantes, explicándolos a través de las principales leyes o teorías científicas.
- **CE3.** Argumentar sobre la importancia de los estilos de vida sostenibles y saludables, basándose en fundamentos científicos, para adoptarlos y promoverlos en su entorno.
 - 3.1 Adoptar y promover hábitos compatibles con un modelo de desarrollo sostenible y valorar su importancia utilizando fundamentos científicos.
- **CE4.** Aplicar el pensamiento científico y los razonamientos lógico-matemáticos, mediante la búsqueda y selección de estrategias y herramientas apropiadas, para resolver problemas relacionados con las ciencias experimentales.
 - 4.1 Resolver problemas relacionados con fenómenos y procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos, utilizando el pensamiento científico y el razonamiento

lógico-matemático y buscando estrategias alternativas de resolución cuando sea necesario.

- 4.2 Analizar críticamente la solución de un problema relacionado con fenómenos y procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos, modificando las conclusiones o las estrategias utilizadas si la solución no es viable, o ante nuevos datos aportados.

Saberes: B.6 (energía, conservación, termodinámica y consumo) como eje; B.1-B.2 (modelo de partículas, temperatura y calor, cambios de estado), B.3 (enlace metálico y conducción) y B.5 (combustión y estequiometría) como apoyo.

Secuencia de sesiones

Seis sesiones tomadas de las de las unidades: una de la U2 (7 sesiones), una de la U4 (9) y cuatro de la U5 (8), una de ellas la práctica del hervidor.

1. **Lanzamiento (U2).** Lectura de una factura con los datos personales tapados: dónde están la potencia contratada, la energía consumida y el periodo facturado. Pregunta inicial individual: «¿qué aparato de tu casa crees que gasta más energía en un año?». Con el modelo de partículas de la unidad 2 se discute por qué calentar agua cuesta energía y por qué dejar que hierva más tiempo no la calienta más (la meseta de la curva de calentamiento). Encargo para las semanas siguientes: inventario de aparatos con su potencia (etiqueta) y horas de uso estimadas durante una semana. Quien no aporte datos propios usa la vivienda de referencia.
2. **¿De dónde sale el CO₂? (U4).** Se repasa el ejemplo resuelto 4.1 (CO₂ que emite 1 m³ de gas natural) y la idea de que el CO₂ pesa más que el combustible porque incorpora oxígeno del aire. Los grupos con caldera de gas estiman las emisiones de su consumo de gas; todos dejan preparada la pregunta: «¿y la electricidad, emite?».
3. **Del inventario a los kWh (U5).** Con $E = P \cdot t$, cada grupo pasa su inventario a kWh por año, en una hoja de cálculo con una fila por aparato. Se calcula el coste con el precio de la factura (término de energía dividido entre los kWh facturados) o, si no se dispone de él, con el precio supuesto de 0,150 €/kWh de la unidad. Las emisiones se estiman con el factor medio del sistema eléctrico español de 2024 que obtiene el libro a partir de Red Eléctrica (unos 0,10 kg CO₂ eq/kWh). Puente con la unidad 3: por qué los cables son de cobre (enlace metálico, electrones libres).
4. **Práctica: rendimiento de un hervidor (U5).** Se hace la práctica de la unidad: energía consumida con el medidor y el cronómetro, energía útil con $Q = m c \Delta T$, rendimiento y adónde va el resto de la energía.
5. **Análisis crítico y propuestas (U5).** Cada grupo revisa sus resultados con una lista de comprobación: unidades (kW frente a kWh), aparatos que no funcionan a potencia constante, rendimientos imposibles y cifras significativas. Después elige tres medidas de ahorro, calcula para cada una los kWh, euros y kg de CO₂ eq que ahorraría al año, y distingue si son de **eficiencia** (el mismo servicio con menos energía) o de **ahorro** (usar menos el servicio), como hace el libro.
6. **Presentación (U5).** Exposición de 4 minutos por grupo con el aparato que más consume, la medida más rentable y la menos útil que suele recomendarse. Coevaluación y comparación de la pregunta inicial con el resultado.

Producto final

Un **informe de auditoría energética doméstica** por grupo (3-4 páginas) con:

- la tabla de aparatos (potencia, horas de uso, kWh/año, €/año y kg CO₂ eq/año) y el total, comparado, si se dispone de factura, con el consumo facturado (y una explicación de la diferencia);
- el resultado de la práctica del hervidor, con su incertidumbre;
- tres medidas de ahorro con su cálculo y su justificación con la conservación de la energía;
- un apartado de límites: qué datos son estimados, qué factor de emisión se ha usado y por qué es una media anual y no el valor de cada hora.

Evaluación

Instrumentos

- Rúbrica del informe (abajo).
- Hoja de cálculo entregada, para comprobar los cálculos fila a fila (4.1).
- Informe individual de la práctica del hervidor, evaluado con su propia rúbrica.
- Coevaluación de la presentación.
- Pregunta individual de cierre: explicar en un párrafo por qué un aparato de poca potencia puede consumir más energía al año que uno de mucha potencia, con un ejemplo de la propia auditoría.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Explicación física (2.3)	Confunde potencia, energía y calor	Distingue kW y kWh, pero no explica las pérdidas	Explica rendimiento y pérdidas con la conservación de la energía	Además, relaciona el calentamiento y el cambio de estado con el modelo de partículas
Cálculos (4.1)	Errores de unidades que invalidan el resultado	Cálculos correctos para la mayoría de aparatos	Tabla completa y correcta, con unidades y cifras significativas coherentes	Además, usa una estrategia alternativa cuando falta un dato (medir con el medidor, estimar por la etiqueta energética)
Análisis crítico (4.2)	Acepta resultados absurdos	Detecta algún error, pero no lo corrige	Detecta y corrige los errores de la lista de comprobación	Además, compara con la factura y explica la diferencia con nuevas hipótesis
Propuestas sostenibles (3.1)	Medidas sin cálculo ni justificación	Medidas con cálculo incompleto	Tres medidas cuantificadas en kWh, € y CO ₂ eq	Además, distingue eficiencia y ahorro y ordena las medidas por su efecto

La calificación se integra en el apartado «Prácticas, informes de laboratorio y situaciones de aprendizaje» de la programación.

Atención a la diversidad

- **Privacidad y equidad:** nadie está obligado a aportar la factura ni los datos de su vivienda. La vivienda de referencia permite hacer la situación completa y evita comparar el consumo de familias con situaciones económicas distintas.
- **Andamiaje:** plantilla de hoja de cálculo con las columnas y una fila resuelta (la bombilla LED); el ejemplo resuelto 5.2 del libro sirve de modelo para el hervidor.
- **Graduación:** el nivel básico calcula energía y coste; el intermedio añade emisiones y rendimiento; el de ampliación analiza un caso con rendimiento aparente mayor del 100 % (la bomba de calor del ejercicio 8 de la unidad 5).
- **Roles:** responsable de datos, de cálculo y de comunicación, que rotan entre la sesión 3 y la 5.
- **Acceso:** si no hay laboratorio, la práctica del hervidor se sustituye por su versión con datos de ejemplo; tiempos y formatos ajustados según el informe del departamento de orientación.

¿Preparas la oposición? La programación y las situaciones de aprendizaje se defienden ante el tribunal → oposicionesfyq.es

SOLUCIÓN

1. Vivienda de referencia (datos supuestos, no estadísticas): los tres aparatos del ejercicio 7 de la unidad 5 (bombilla LED de 9 W, 5 h/día → 16,4 kWh/año; televisor de 100 W, 4 h/día → 146 kWh/año; aparatos en espera, 5 W las 24 h → 43,8 kWh/año; en total 206 kWh/año y 30,93 €, como en ese ejercicio) más un hervidor de 2000 W usado dos veces al día durante 290 s, como en el ejemplo 5.2. El hervidor es un supuesto de esta ficha, no del ejercicio 7: $2,000 \text{ kW} \times (290/3600) \text{ h} \times 2 \times 365 = 117,6 \text{ kWh/año}$. Total: $206,2 + 117,6 = 323,8 \approx 324 \text{ kWh/año}$.
2. Coste con el precio supuesto de 0,150 €/kWh: $323,8 \text{ kWh} \times 0,150 \text{ €/kWh} = 48,6 \text{ €/año}$ (30,93 € del ejercicio 7 más 17,6 € del hervidor). Emisiones con el factor medio del sistema eléctrico español en 2024 estimado en el libro (0,10 kg CO₂ eq/kWh, a partir de Red Eléctrica): $323,8 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ kg/kWh} \approx 32 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq al año}$.
3. Análisis esperado: los aparatos en espera (5 W) consumen 43,8 kWh/año, casi el triple que la bombilla LED (16,4 kWh) y el 14 % del total, aunque su potencia sea la menor, porque están conectados las 24 h. Desenchufarlos ahorra $43,8 \times 0,150 = 6,6 \text{ €/año}$ y unos 4 kg de CO₂ eq. El hervidor tiene una potencia 222 veces mayor que la bombilla, pero consume solo unas siete veces más energía al año: lo que cuenta es $P \cdot t$, no P .
4. Práctica del hervidor (ejemplo de la unidad 5): $P = 1985 \text{ W}$, $t = 90,0 \text{ s}$, $E = 1,79 \times 10^5 \text{ J}$; 1,000 kg de agua de 19,6 °C a 56,1 °C, $Q = 1,53 \times 10^5 \text{ J}$; $\eta = 85,4 \%$. Hervir cada día 1,0 L de agua de más desde 15 °C supone 0,0987 kWh útiles / $0,854 = 0,116 \text{ kWh consumidos}$, 42 kWh al año y unos 4 kg de CO₂ eq.
5. Sesión de la U4: el ejemplo resuelto 4.1 da 1,86 kg de CO₂ por cada 1,00 m³ de metano quemado a 15 °C y 101,325 kPa; el CO₂ pesa casi el triple que el metano porque cada molécula incorpora dos átomos de oxígeno del aire. Si la vivienda tiene caldera de gas y la factura indica el volumen en m³, el grupo puede multiplicarlo por ese valor como estimación (supone que el gas es metano puro).
6. Errores que la rúbrica debe detectar (4.2): confundir kW con kWh («consume 2 kW por hora»), usar la potencia nominal de la etiqueta como si el aparato funcionara siempre a esa potencia (un frigorífico o un termo se encienden y apagan), obtener rendimientos mayores del 100 % sin buscar una entrada de energía no contabilizada (la bomba de calor del ejercicio 8 de la unidad 5) y dar resultados con más cifras significativas que los datos.

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 14 PREGUNTAS

1. Si la velocidad de un coche se duplica, su energía cinética...

- a) se duplica.
- b) se cuadruplica.
- c) no cambia, porque la masa es la misma.
- d) se reduce a la mitad.

2. Calcula la energía cinética de un cuerpo de 2,0 kg que se mueve a 3,0 m/s.

Respuesta: _____ J

3. Se deja caer un objeto desde 5,0 m de altura. Sin rozamiento con el aire, ¿con qué rapidez llega al suelo? $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Respuesta: _____ m/s

4. Cuando un objeto baja una rampa con rozamiento, la energía mecánica que pierde desaparece.

Verdadero ☐ Falso ☐

5. Una persona que sostiene una maleta quieta durante diez minutos no hace trabajo sobre la maleta, aunque se canse.

Verdadero ☐ Falso ☐

6. Se vierte una taza de café a 80 °C en una bañera llena de agua a 35 °C. ¿Qué afirmación es correcta?

- a) El calor pasa de la bañera al café, porque la bañera tiene más energía interna.
- b) El calor pasa del café a la bañera, porque el café está a mayor temperatura.
- c) No hay transferencia de calor, porque los dos son agua.
- d) El café cede temperatura a la bañera.

7. Un gas recibe 300 J de calor y, al mismo tiempo, se le comprime con un trabajo de 100 J hecho sobre él. Con el convenio $\Delta U = Q + W$, ¿cuánto varía su energía interna?

- a) +200 J
- b) +400 J
- c) -200 J
- d) +300 J

8. ¿Qué energía hay que comunicar a 0,500 kg de agua para elevar su temperatura 20,0 K? $c(\text{agua}) = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Expresa el resultado en kJ.

Respuesta: _____ kJ

9. Según el segundo principio de la termodinámica, una máquina térmica ideal, sin rozamientos, podría convertir en trabajo todo el calor que recibe.

Verdadero ☐ Falso ☐

10. ¿Cuál de estas frases es correcta?

- a) Un horno de 2,5 kW consume 2,5 kW cada hora.
- b) Un horno de 2,5 kW funcionando 2 h consume 5,0 kWh.
- c) El kWh es una unidad de potencia.
- d) Un horno de 2,5 kW funcionando 2 h consume 1,25 kW.

11. ¿A cuántos megajulios equivale 1 kWh?

Respuesta: _____ MJ

12. Un motor eléctrico consume 500 J de energía eléctrica y realiza 350 J de trabajo útil. ¿Cuál es su rendimiento, en %?

Respuesta: _____ %

13. Un hervidor de 2200 W tiene necesariamente mayor rendimiento que uno de 1800 W.

Verdadero ☐ Falso ☐

14. Según Red Eléctrica, ¿qué porcentaje de la electricidad generada en España en 2024 fue de origen renovable?

- a) Alrededor del 25 %
- b) Alrededor del 40 %
- c) El 56,8 %
- d) El 90 %

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: órbitas, estaciones, fases y eclipses

ENCAJE CURRICULAR · Saberes C.1, C.2 · Comp. específicas CE2, CE4, CE5 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA, CC

MATERIALES: Calculadora científica (en modo grados para la trigonometría)

Criterios: 2.2, 4.1, 4.2, 5.1

Datos: $GM(\text{Tierra}) = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ (NASA); radio medio terrestre, 6371 km (para órbitas inclinadas, como la de la Estación Espacial); radio ecuatorial, 6378 km (para satélites sobre el ecuador o de período fijo, como el ejercicio 3); 1 au = 149 597 870 700 m (exacta, IAU 2012); inclinación del eje, $23,44^\circ$; perihelio, $147,095 \times 10^6 \text{ km}$; afelio, $152,100 \times 10^6 \text{ km}$ (NASA). Para los planetas, con T en años y a en au: $T^2 = a^3$.

Ejercicios

- Tercera ley de Kepler en el sistema solar.** a) Marte está a 1,524 au del Sol. Calcula su período en años y en días, y compáralo con el valor de la NASA, 687,0 días. b) Júpiter tarda 11,86 años en dar una vuelta al Sol. ¿A qué distancia está, en au? c) ¿Por qué la constante de la ley es la misma para todos los planetas?
- La Estación Espacial Internacional.** Orbita a unos 420 km sobre la superficie. Calcula su período en minutos y cuántas vueltas da a la Tierra en un día. Haz el análisis de unidades.
- Satélites GPS.** Los satélites del sistema GPS dan dos vueltas a la Tierra por cada día sidéreo, así que su período es de 43 082 s. Calcula el radio de su órbita y su altura. Comprueba el resultado con la órbita geoestacionaria (42 164 km) usando solo la proporción de la tercera ley.
- Ley de Hubble-Lemaître.** a) ¿A qué velocidad se aleja una galaxia situada a 100 Mpc, si $H_0 = 67,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$? b) Repite el cálculo con $H_0 = 73,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. c) Un compañero dice que uno de los dos valores «está mal calculado». ¿Qué le responderías?
- Las estaciones en Madrid** ($\varphi = 40,42^\circ \text{ N}$). a) Calcula la altura del Sol al mediodía en los dos solsticios y en los equinoccios. b) ¿Cuántas veces más energía llega por metro cuadrado de suelo horizontal al mediodía del solsticio de junio que al del de diciembre? (Proporcional a $\sin h$; ignora la atmósfera.) c) Compara ese factor con el efecto de la distancia al Sol entre el perihelio y el afelio. d) ¿Qué sombra da un palo vertical de 1,50 m al mediodía de un equinoccio?
- Mes sidéreo y mes sinódico.** La Luna da una vuelta respecto a las estrellas en 27,3217 días. Calcula el tiempo entre dos lunas llenas con $1/T_{\text{sin}} = 1/T_{\text{sid}} - 1/T_{\text{año}}$ ($T_{\text{año}} = 365,256 \text{ días}$) y explica con un dibujo por qué es más largo.
- Fases y eclipses.** Di si es verdadero o falso y corrige las falsas: a) Puede haber un eclipse de Luna en cuarto creciente. b) La fase de cuarto menguante se debe a que la

sombra de la Tierra tapa la mitad de la Luna. c) No hay eclipses todos los meses porque la órbita de la Luna está inclinada respecto a la de la Tierra. d) Un eclipse de Sol puede ocurrir en luna llena. e) La Luna gira sobre sí misma.

8. **Eratóstenes y las cifras.** Según Cleomedes, el ángulo de la sombra en Alejandría era $1/50$ de circunferencia y la distancia a Siena, 5000 estadios. a) Calcula la circunferencia en estadios. b) Pásala a kilómetros suponiendo que el estadio medía 157,5 m y, después, 185 m. Compara con 40 000 km. c) ¿Se puede afirmar con qué porcentaje de error midió Eratóstenes la Tierra? Justifícalo.
9. **Ciencia colectiva.** En unas 10 líneas, explica qué aportaron Henrietta Swan Leavitt y Georges Lemaître al descubrimiento de la expansión del universo y por qué la IAU recomendó en 2018 cambiar el nombre de la ley de Hubble. Usa al menos una fuente primaria o institucional y cítala.

SOLUCIÓN

1. a) $T = a^{3/2} = 1,524^{1,5} = 1,881$ años = $1,881 \times 365,256$ días = 687,2 días; la NASA da 687,0 días. b) $a = T^{2/3} = 11,86^{2/3} = 5,201$ au. c) La constante de la ley es $4\pi^2/(GM_{\odot})$ y depende solo de la masa del Sol, que es la misma para todos los planetas; con años y au vale 1.
2. $r = 6,371 \times 10^6 \text{ m} + 4,20 \times 10^5 \text{ m} = 6,791 \times 10^6 \text{ m}$. $T = 2\pi \sqrt{(r^3/GM)} = 2\pi \sqrt{((6,791 \times 10^6)^3 / (3,9860 \times 10^{14}))} \text{ s} = 5,569 \times 10^3 \text{ s} = 92,8 \text{ min}$. Vueltas al día: $86\,400 \text{ s} / 5569 \text{ s} = 15,5$. Análisis de unidades: $\sqrt{(\text{m}^3 / (\text{m}^3 \text{ s}^{-2}))} = \text{s}$.
3. $T = 43\,082 \text{ s}$. $r = \sqrt[3]{(GM T^2 / 4\pi^2)} = \sqrt[3]{(3,9860 \times 10^{14} \times 43\,082^2 / 39,48)} \text{ m} = 2,656 \times 10^7 \text{ m} = 26\,560 \text{ km}$; altura = $26\,560 - 6378 = 20\,180 \text{ km}$, que coincide con la altura de los satélites GPS, unos 20 200 km (gps.gov, *Space Segment*: <https://www.gps.gov/space-segment>). Comprobación con la tercera ley: si el período es la mitad, el radio se multiplica por $(1/2)^{2/3} = 0,630$: $42\,164 \text{ km} \times 0,630 = 26\,560 \text{ km}$.
4. a) $v = H_0 d = 67,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \times 100 \text{ Mpc} = 6740 \text{ km/s}$ ($6,74 \times 10^3 \text{ km/s}$). b) Con $73,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $v = 7304 \text{ km/s}$, un 8,4 % más. c) No es un error de cálculo: son dos medidas de H_0 por métodos distintos (radiación de fondo y cefeidas con supernovas) cuya diferencia supera las incertidumbres. Es la tensión de Hubble, un problema abierto; no invalida la expansión del universo.
5. a) Madrid, $\phi = 40,42^\circ$. Solsticio de junio: $h = 90^\circ - 40,42^\circ + 23,44^\circ = 73,02^\circ$. Diciembre: $h = 90^\circ - 40,42^\circ - 23,44^\circ = 26,14^\circ$. Equinoccios: $h = 49,58^\circ$. b) $\sin 73,02^\circ / \sin 26,14^\circ = 0,9564 / 0,4405 = 2,17$. c) $(152,100 / 147,095)^2 = 1,069$: un 7 % más en enero que en julio. El efecto de la inclinación (factor 2,17, a favor del verano) es mucho mayor que el de la distancia (factor 1,07, a favor del invierno en el hemisferio norte). d) Sombra = $1,50 \text{ m} / \tan 49,58^\circ = 1,28 \text{ m}$.
6. $1/T_{\text{sin}} = 1/27,3217 - 1/365,256 = 0,036\,601 - 0,002\,738 = 0,033\,863 \text{ día}^{-1}$; $T_{\text{sin}} = 29,53$ días. Mientras la Luna da una vuelta respecto a las estrellas, la Tierra avanza unos 27° en su órbita ($27,32/365,26 \times 360^\circ$), y la Luna tiene que recorrer ese ángulo de más para volver a la misma posición respecto al Sol, unos 2,2 días.
7. a) Falso: un eclipse de Luna solo puede ocurrir en luna llena (la Tierra entre el Sol y la Luna). b) Falso: las fases dependen de la parte de la mitad iluminada que se ve desde la Tierra; la sombra de la Tierra solo interviene en los eclipses de Luna. c) Verdadero: la órbita lunar está inclinada $5,145^\circ$ respecto a la eclíptica y solo hay eclipse si la luna nueva o llena está cerca de un nodo. d) Falso: un eclipse de Sol solo ocurre en luna nueva. e) Verdadero: se ve siempre la misma cara porque la rotación de la Luna es sincrónica, no porque no gire.
8. a) $C = 50 \times 5000 = 250\,000$ estadios. b) Con 157,5 m: $250\,000 \times 157,5 \text{ m} = 3,94 \times 10^7 \text{ m} = 39\,400 \text{ km}$ (un 1,6 % menos que 40 000 km). Con 185 m: $250\,000 \times 185 \text{ m} = 4,63 \times 10^7 \text{ m} = 46\,300 \text{ km}$ (un 16 % más). c) La conclusión no puede ser «acertó con un error del 1,6 %»: como no se conoce el estadio usado ni si el valor fue 250 000 o 252 000 estadios, el porcentaje depende de una suposición. Lo sólido es el método (ángulo de la sombra y distancia norte-sur) y que da el orden de magnitud correcto.
9. Respuesta abierta. Se valora que mencione: que Leavitt (circular 173 del Observatorio del Harvard College, 1912) halló la relación período-luminosidad de las cefeidas, sin la cual no se podían medir distancias a otras galaxias; que Lemaître propuso en 1927 la expansión del universo, antes que el artículo de Hubble de 1929; que en 2018 la IAU

recomendó llamar a la ley «de Hubble-Lemaître»; y que la ley necesitó física teórica, medidas fotométricas y espectroscópicas, y el trabajo de muchas personas cuya aportación no siempre se reconoció a tiempo. Error que debe evitarse: atribuir el descubrimiento a una sola persona.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min (una de observación al mediodía solar y otra de tratamiento de datos) · grupos de 3

Práctica: la sombra del mediodía, la latitud y el tamaño de la Tierra

ENCAJE CURRICULAR · Saberes C.2 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA

MATERIALES: Gnomon: listón o varilla recta de 1,000 m de altura sobre el suelo (medida con cinta métrica), con base que la mantenga vertical · Plomada y nivel de burbuja · Tablero de contrachapado de al menos 1,2 m × 0,8 m, o una zona de suelo horizontal comprobada con el nivel · Cinta métrica o flexómetro de resolución 1 mm, tiza o rotulador, cronómetro o reloj · Gorra, agua y crema de protección solar · Para la parte C: datos de un centro colaborador situado a varios cientos de kilómetros al norte o al sur, medidos el mismo día

Criterios: 1.2, 2.2, 4.1, 4.2

Objetivo

Determinar el mediodía solar y la dirección norte-sur con la sombra de un gnomon, medir la altura del Sol y calcular la latitud del centro. Con los datos de otro centro, estimar la circunferencia de la Tierra con el método de Eratóstenes y analizar la incertidumbre del resultado.

Planteamiento

Antes de salir al patio, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. ¿A qué hora del reloj creéis que la sombra será más corta? ¿Hacia qué punto cardinal apuntará?
2. Si otro centro situado unos 450 km más al norte mide su sombra el mismo día y con un gnomon igual, ¿su sombra será más larga o más corta que la vuestra? ¿Por qué?

Normas de seguridad específicas

- **No se mira nunca al Sol directamente**, ni a simple vista ni a través de gafas de sol, radiografías, cristales ahumados, prismáticos o la cámara del móvil. Todas las medidas se hacen sobre la sombra, que es lo único que hay que mirar. La retina puede dañarse sin dolor y de forma permanente.
- La observación dura alrededor de una hora al mediodía, la franja de mayor radiación ultravioleta: gorra, crema de protección solar y agua. Quien lo necesite puede tomar las medidas por turnos a la sombra.
- El gnomon debe estar bien sujeto en su base para que no caiga; los listones se transportan en vertical y no se dejan apoyados en zonas de paso.
- Si el día está nublado, no se fuerza la medida con el Sol entre nubes: se usa la alternativa virtual o se repite otro día.

Procedimiento

Parte A. El mediodía solar y la dirección norte (sesión 1)

1. Colocad el tablero en una zona soleada del patio y comprobad con el nivel que está horizontal en dos direcciones perpendiculares. Calzadlo si hace falta.
2. Fijad el gnomon en el tablero y comprobad con la plomada que está vertical, por dos lados. Medid su altura L desde el tablero hasta la punta (1,000 m).
3. Unos 45 minutos antes del mediodía solar previsto (el profesorado os dará la hora aproximada), marcad la punta de la sombra y anotad la hora. Repetid cada 5 minutos durante una hora y media.
4. Medid la distancia del pie del gnomon a cada marca. La marca más cercana es el mediodía solar: anotad su hora y su longitud, s .
5. Trazad la línea entre el pie del gnomon y esa marca: es la dirección norte-sur. Comprobadla con la brújula del móvil y anotad la diferencia.

Parte B. Altura del Sol y latitud (sesión 2)

6. Calculad la altura del Sol, $\tan h = L / s$, y la declinación del Sol ese día (si estáis cerca de un equinoccio, $\delta \approx 0^\circ$; si no, consultadla en Stellarium o en el anuario que os indique el profesorado).
7. Calculad la latitud, $\varphi = 90^\circ - h + \delta$, y comparadla con la del centro en el visor cartográfico del IGN.

Parte C. El tamaño de la Tierra (sesión 2)

8. Intercambiad la altura del Sol con el centro colaborador, medida el mismo día.
9. Medid en el visor del IGN la distancia norte-sur entre los dos centros (solo la componente norte-sur, no la distancia en línea recta).
10. Calculad la circunferencia: $C = (360^\circ / \Delta h) \times d$.

Tabla de datos

HORA	LONGITUD DE LA SOMBRA (M)

RESULTADO	VALOR
Altura del gnomon, L (m)	
Hora del mediodía solar	
Sombra mínima, s (m)	
Altura del Sol, h ($^{\circ}$)	
Declinación del Sol ese día, δ ($^{\circ}$)	
Latitud calculada, φ ($^{\circ}$)	
Latitud del mapa ($^{\circ}$)	
Altura del Sol en el centro colaborador ($^{\circ}$)	
Distancia norte-sur entre los centros, d (km)	

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Representad la longitud de la sombra frente a la hora. ¿Qué forma tiene la gráfica? ¿Por qué el mínimo no está a las 12:00 del reloj?
2. Calculad h y φ . Estimad la incertidumbre de h a partir de la resolución con que habéis medido la sombra (si $L = 1$ m, $\Delta h = \Delta s / (1 + s^2)$ en radianes).
3. Explicad por qué, si los dos centros miden el mismo día, no hace falta conocer la declinación del Sol para la parte C.
4. Calculad la circunferencia de la Tierra y su incertidumbre. ¿Es compatible con el valor aceptado, unos 40 000 km?
5. La distancia entre los dos centros se ha tomado de un mapa. ¿Es del todo independiente del tamaño de la Tierra que queréis medir? ¿Qué habría pasado si el otro centro estuviera solo a 50 km?
6. ¿Cómo sería la sombra del mismo gnomon al mediodía del solsticio de diciembre y del de junio? Relacionadlo con las estaciones.
7. Comparad los resultados con las predicciones iniciales y redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si el día está nublado o no hay un centro colaborador, la altura del Sol al mediodía para el lugar y la fecha se puede obtener con [Stellarium](#), un planetario libre y gratuito: se fija la ubicación del centro, se avanza el tiempo hasta que el Sol cruza el meridiano y se lee su altura. Con ella se calcula la sombra que habría dado el gnomon y se completan las cuestiones 2 a 6, usando como segundo centro otra ciudad de la que se busque su latitud y la altura del Sol el mismo día.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Mira hacia el Sol o no completa las medidas	Completa las medidas con recordatorios	Comprueba verticalidad y horizontalidad y mide con regularidad sin recordatorios	Además, detecta y corrige fuentes de error durante la medida (penumbra, tablero movido)
Explicación del fenómeno (2.2)	No relaciona la sombra con la altura del Sol	Relaciona sombra y altura del Sol sin justificar el mediodía solar	Explica el mediodía solar, la dirección norte y el papel de la declinación	Además, relaciona la variación anual de la sombra con la inclinación del eje
Cálculo y unidades (4.1)	Errores de trigonometría o de unidades que invalidan el resultado	Calcula h y φ con algún error menor	Calcula h , φ y C con unidades y cifras significativas correctas	Además, calcula y expresa la incertidumbre de C

Análisis crítico (4.2)	Acepta el resultado sin discutirlo	Cita una fuente de error genérica	Identifica las fuentes de error principales y su efecto	Además, detecta la dependencia de la distancia del mapa y propone cómo evitarla
------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---

SOLUCIÓN

1. Mediodía solar: es el momento de la sombra más corta, no las 12:00 del reloj. En la España peninsular cae hacia las 13:00 en horario de invierno y hacia las 14:00 en horario de verano; varía con la longitud del centro y con la fecha. La línea que une el pie del gnomon con la marca de la sombra mínima es la dirección norte-sur (meridiano local), y la sombra apunta al norte.
2. Ejemplo de datos (Valencia, $\varphi = 39,47^\circ$ N, medida en un equinoccio, $\delta \approx 0^\circ$): gnomon $L = 1,000$ m, sombra mínima $s = 0,824$ m. Altura del Sol: $h = \arctan(L/s) = \arctan(1,000/0,824) = 50,51^\circ$. Latitud: $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 50,51^\circ + 0^\circ = 39,49^\circ$, a $0,02^\circ$ del valor del mapa. Si la medida no se hace en un equinoccio, hay que tomar δ del día en un programa planetario (por ejemplo, Stellarium) o en el anuario del Observatorio Astronómico Nacional.
3. Incertidumbre: con una resolución de $\pm 0,5$ cm en la sombra, la altura del Sol tiene una incertidumbre $\Delta h = \Delta s / (1 + s^2)$ (s en metros, con $L = 1$ m) $= 0,005 / (1 + 0,824^2) \text{ rad} = 2,98 \times 10^{-3} \text{ rad} = 0,17^\circ$. Un gnomon inclinado 1 mm por metro introduce un error de unos $0,06^\circ$ ($\arctan 0,001$). Errores típicos que deben aparecer en el análisis: gnomon no vertical, suelo no horizontal, borde de la sombra difuso (penumbra) y medir lejos del mediodía solar.
4. Parte C, ejemplo con un centro de Santander ($\varphi = 43,46^\circ$ N), el mismo día: sombra mínima $0,948$ m con un gnomon de $1,000$ m; $h = \arctan(1,000/0,948) = 46,53^\circ$. Diferencia de alturas: $\Delta h = 50,51^\circ - 46,53^\circ = 3,98^\circ$. Como la medida es del mismo día, la declinación δ se cancela y Δh es igual a la diferencia de latitudes.
5. Parte C, circunferencia: distancia norte-sur entre los dos centros, medida en un visor cartográfico del IGN: unos 444 km. $C = (360^\circ / \Delta h) \times d = (360^\circ / 3,98^\circ) \times 444 \text{ km} = 4,02 \times 10^4 \text{ km}$. Incertidumbre: combinando las dos medidas ($0,17^\circ$ y $0,15^\circ$), $\Delta(\Delta h) \approx \sqrt{(0,17^2 + 0,15^2)} = 0,23^\circ$, un $5,7\%$ de $3,98^\circ$; por tanto $C = (4,0 \pm 0,2) \times 10^4 \text{ km}$. El valor aceptado de la circunferencia por los polos es de unos $40\,000$ km (la definición original del metro la fijó en $40\,000$ km), dentro de la incertidumbre.
6. Cuestión 5 (análisis crítico): la distancia del mapa ya está calculada con un modelo de Tierra de tamaño conocido, así que, en rigor, el resultado no es independiente. Eratóstenes tomó la distancia de medidas sobre el terreno; para evitar el círculo se podría medir la distancia con el cuentakilómetros de un coche por una carretera casi norte-sur, a costa de una incertidumbre mayor. Se valora que el grupo lo detecte. Con dos centros a solo 50 km de distancia, Δh sería de unos $0,45^\circ$, del orden de la incertidumbre de la medida, y el resultado no tendría valor: hace falta separación norte-sur grande.
7. Cuestión 6 (estaciones): la misma medida en el solsticio de diciembre daría $h = 90^\circ - 39,47^\circ - 23,44^\circ = 27,09^\circ$ y una sombra de $1,000/\tan 27,09^\circ = 1,96$ m; en el de junio, $h = 73,97^\circ$ y sombra $0,29$ m. Es la prueba directa de que la altura del Sol cambia con las estaciones por la inclinación del eje.

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 15 PREGUNTAS

1. ¿Cuál de estas observaciones NO es una de las pruebas principales del modelo del Big Bang?

- a) Las galaxias lejanas se alejan con una velocidad proporcional a su distancia.
- b) Existe una radiación de microondas que llega de todas las direcciones.
- c) Las estrellas más antiguas están formadas casi solo por hidrógeno y helio.
- d) Todos los planetas giran alrededor del Sol en el mismo sentido.

2. El modelo del Big Bang describe una explosión de materia que salió de un punto concreto del espacio hacia el espacio vacío que lo rodeaba.

Verdadero ☐ Falso ☐

3. Según el análisis de los datos del satélite Planck (2020), la edad del universo es...

- a) 4567 millones de años.
- b) $13\,787 \pm 20$ millones de años.
- c) Unos 6000 años.
- d) Infinita: el universo siempre ha existido igual.

4. ¿Por qué los planetas cercanos al Sol son rocosos y los lejanos son gigantes gaseosos?

- a) Porque el Sol atrajo hacia sí todo el gas de las zonas cercanas.
- b) Porque cerca del Sol el disco estaba demasiado caliente para que se condensaran hielos, y solo había metales y silicatos.
- c) Porque los planetas gigantes se formaron antes, en otro sistema estelar, y fueron capturados.
- d) Porque los planetas rocosos se formaron de los restos del Big Bang y los gigantes de estrellas posteriores.

5. Saturno está a 9,54 au del Sol. Calcula su período orbital en años con la tercera ley de Kepler ($T^2 = a^3$, con T en años y a en au).

Respuesta: _____ años

6. Calcula el período de la Luna, en días, a partir de su semieje mayor $a = 3,844 \times 10^8$ m y de $GM(\text{Tierra}) = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, con $T = 2\pi \sqrt{a^3/GM}$.

Respuesta: _____ días

7. Un satélite en una órbita más alta tarda más en dar una vuelta a la Tierra que uno en una órbita más baja.

Verdadero ☐ Falso ☐

8. Calcula la altura del Sol al mediodía, en grados, en Valencia ($\varphi = 39,47^\circ \text{ N}$) el día del solsticio de diciembre (declinación $-23,44^\circ$), con $h = 90^\circ - \varphi + \delta$.

Respuesta: _____ °

9. ¿Cuál es la causa de las estaciones?

- a) La variación de la distancia entre la Tierra y el Sol a lo largo del año.
- b) La inclinación del eje de rotación terrestre, que cambia la altura del Sol y la duración del día.
- c) El balanceo del eje terrestre de un lado a otro a lo largo del año.
- d) Los cambios en la cantidad de energía que emite el Sol.

10. Un gnomon vertical de 1,000 m da al mediodía solar una sombra de 0,824 m. Calcula la altura del Sol en grados ($\tan h = L/s$).

Respuesta: _____ °

11. La fase de cuarto creciente se produce porque la sombra de la Tierra tapa la mitad de la Luna.

Verdadero ☐ Falso ☐

12. ¿Por qué no hay un eclipse de Sol en cada luna nueva?

- a) Porque la Luna es demasiado pequeña para tapar el Sol.
- b) Porque la órbita de la Luna está inclinada unos 5° respecto al plano de la órbita terrestre.
- c) Porque en luna nueva la Luna está al otro lado de la Tierra.
- d) Porque la Luna no gira sobre sí misma.

13. Con $1/T_{\text{sin}} = 1/T_{\text{sid}} - 1/T_{\text{año}}$, calcula el mes sinódico en días a partir de $T_{\text{sid}} = 27,3217$ días y $T_{\text{año}} = 365,256$ días.

Respuesta: _____ días

14. Plutón dejó de considerarse planeta en 2006 porque se descubrió que era mucho más pequeño de lo que se creía y que no tenía forma esférica.

Verdadero ☐ Falso ☐

15. ¿Qué aportó Henrietta Swan Leavitt al descubrimiento de la expansión del universo?

- a) Fotografió por primera vez la radiación cósmica de fondo.
- b) Descubrió la relación entre el período y el brillo de las cefeidas, que permitió medir distancias a otras galaxias.
- c) Propuso el nombre de «Big Bang».
- d) Calculó la edad del universo con el satélite Planck.

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: gravitación, ley de Coulomb y las cuatro interacciones

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.1 · Comp. específicas CE2, CE4, CE5 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA, CC

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 2.2, 2.3, 4.1, 4.2, 5.2

Datos: $G = 6,674\,30 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$; $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$; $k = 8,988 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$; $m_p = 1,672\,62 \times 10^{-27} \text{ kg}$; $m_e = 9,109\,38 \times 10^{-31} \text{ kg}$; radio de Bohr, $a_0 = 5,291\,77 \times 10^{-11} \text{ m}$ (CODATA 2022). $GM(\text{Tierra}) = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$; radio medio terrestre, $6,371 \times 10^6 \text{ m}$; $GM(\text{Luna}) = 4,90 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$; radio lunar, $1,7374 \times 10^6 \text{ m}$; $GM(\text{Marte}) = 4,2828 \times 10^{13} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$; radio de Marte, $3,3895 \times 10^6 \text{ m}$; masa del Sol, $1,9884 \times 10^{30} \text{ kg}$; masa de la Luna, $7,346 \times 10^{22} \text{ kg}$; distancia media Tierra-Sol, $1,495\,98 \times 10^{11} \text{ m}$; distancia media Tierra-Luna, $3,844 \times 10^8 \text{ m}$ (NASA). Toma $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ en la Tierra, $1,62 \text{ m/s}^2$ en la Luna y $3,73 \text{ m/s}^2$ en Marte.

Ejercicios

- Peso y masa.** Una astronauta tiene una masa de 70,0 kg. a) ¿Cuál es su masa y cuál su peso en la Tierra, en la Luna y en Marte? b) ¿Qué marcaría en la Luna una báscula de baño calibrada en la Tierra? ¿Y una balanza de platillos?
- De dónde sale g.** Calcula la intensidad del campo gravitatorio en la superficie de la Tierra, de la Luna y de Marte con $g = GM/R^2$. Compara con los valores de la NASA e indica por qué el valor medido en la Tierra es algo distinto.
- ¿Ingravedez?** Un compañero afirma que los astronautas de la Estación Espacial flotan «porque allí no hay gravedad». Calcula g a 420 km de altura, exprésalo como porcentaje del valor en la superficie y explica por qué la afirmación es falsa.
- Gravitación entre personas.** a) Calcula la atracción gravitatoria entre dos personas de 60,0 kg y 70,0 kg separadas 1,00 m (trátalas como masas puntuales). b) Compárala con el peso de la primera. ¿Por qué no notamos esa atracción?
- Ley de Coulomb.** Dos cargas puntuales de $+2,0 \mu\text{C}$ y $-3,0 \mu\text{C}$ están separadas 0,50 m en el vacío. a) Calcula la fuerza entre ellas e indica si es de atracción o de repulsión. b) ¿Cuánto vale si la distancia se duplica? c) ¿Y si, a 0,50 m, se duplica una de las cargas?
- El átomo de hidrógeno.** En el modelo de Bohr, el electrón está a a_0 del protón. Calcula la fuerza eléctrica y la gravitatoria entre ambos y su cociente. ¿Por qué el cociente es mayor que el del ejercicio resuelto 14.1?
- La masa del Sol.** a) Con el período de la Tierra (365,256 días) y el radio de su órbita (supuesta circular), calcula la masa del Sol a partir de $T^2 = 4\pi^2 a^3 / (GM)$. Haz el análisis de unidades. b) Calcula la rapidez orbital de la Tierra. c) ¿Por qué no hace falta conocer la masa de la Tierra?
- Las mareas.** a) Calcula cuántas veces mayor es la atracción del Sol sobre la Tierra que la de la Luna. b) Calcula el cociente entre el efecto de marea de la Luna y el del Sol, que

es proporcional a M/d^5 . c) Explica por qué la Luna produce mareas mayores aunque atraiga menos a la Tierra.

9. **¿Qué interacción?** Indica qué interacción fundamental es la principal responsable de cada fenómeno: a) un rayo; b) la caída de una hoja; c) la desintegración beta del potasio-40 de las rocas; d) la fusión de hidrógeno en el Sol (indica qué papel tiene cada interacción que intervenga); e) el rozamiento entre un zapato y el suelo; f) la cohesión de un núcleo de hierro; g) la orientación de una brújula; h) la unión de dos átomos de hidrógeno en una molécula.
10. **Análisis crítico.** Para calcular la fuerza con que la Tierra atrae a una persona de 70,0 kg que está de pie en el suelo, un estudiante escribe $F = G M m / r^2$ con $r = 0$, «porque la persona toca la Tierra», y concluye que la fuerza es infinita. Identifica el error, corrígelo y calcula la fuerza correcta. ¿Qué deberías hacer cuando un cálculo da un resultado infinito o absurdo?
11. **Ciencia y sociedad.** Explica en unas diez líneas el papel de Lise Meitner en la explicación de la fisión nuclear y por qué su caso se cita como ejemplo de reconocimiento desigual en la ciencia. Usa como fuente el artículo de Meitner y Frisch (*Nature*, 1939) y la página del Nobel de Química de 1944 en nobelprize.org.

SOLUCIÓN

1. a) La masa es 70,0 kg en los tres lugares. Pesos: Tierra $70,0 \times 9,81 = 687 \text{ N}$; Luna $70,0 \times 1,62 = 113 \text{ N}$; Marte $70,0 \times 3,73 = 261 \text{ N}$. b) La báscula está calibrada con g de la Tierra: en la Luna marcaría $113 \text{ N} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 11,6 \text{ kg}$, aunque la masa sigue siendo 70,0 kg. Una balanza de platillos marcaría 70,0 kg en cualquier sitio.
2. Tierra: $g = 3,9860 \times 10^{14} / (6,371 \times 10^6)^2 = 9,820 \text{ m/s}^2$. Luna: $g = 4,90 \times 10^{12} / (1,7374 \times 10^6)^2 = 1,62 \text{ m/s}^2$. Marte: $g = 4,2828 \times 10^{13} / (3,3895 \times 10^6)^2 = 3,728 \text{ m/s}^2 \approx 3,73 \text{ m/s}^2$. Coinciden con los de la NASA (9,820; 1,62; 3,73). Unidades: $(\text{m}^3 \text{ s}^{-2}) / \text{m}^2 = \text{m s}^{-2}$. El valor real en la superficie terrestre varía con la latitud, de $9,78 \text{ m/s}^2$ en el ecuador a $9,83 \text{ m/s}^2$ en los polos (modelo WGS 84): la Tierra está achatada (en los polos se está más cerca del centro) y su rotación reduce un poco el peso aparente en latitudes bajas. El cálculo con el radio medio y sin rotación no tiene en cuenta ninguno de los dos efectos.
3. $r = 6,371 \times 10^6 \text{ m} + 4,20 \times 10^5 \text{ m} = 6,791 \times 10^6 \text{ m}$. $g = 3,9860 \times 10^{14} / (6,791 \times 10^6)^2 = 8,64 \text{ m/s}^2$, un 88,0 % de $9,820 \text{ m/s}^2$. La afirmación es falsa: los astronautas flotan porque ellos y la estación caen a la vez alrededor de la Tierra (están en órbita); el suelo de la estación no tiene que sostenerlos, pero la Tierra los atrae casi como en la superficie.
4. a) $F = G m_1 m_2 / r^2 = 6,674 \times 10^{-11} \times 60,0 \times 70,0 / (1,00)^2 \text{ N} = 2,80 \times 10^{-7} \text{ N}$. b) Peso de la persona de 60,0 kg: $60,0 \times 9,81 = 589 \text{ N}$. Cociente: $2,80 \times 10^{-7} / 589 = 4,76 \times 10^{-10}$. La atracción entre dos personas es unas 2000 millones de veces menor que su peso: no se nota porque la masa de la Tierra es enorme comparada con la de una persona.
5. a) $F = k |q_1 q_2| / r^2 = 8,988 \times 10^9 \times 2,0 \times 10^{-6} \times 3,0 \times 10^{-6} / (0,50)^2 \text{ N} = 0,22 \text{ N}$, de atracción (signos opuestos). b) A 1,00 m (doble distancia), la fuerza es la cuarta parte: 0,054 N. c) Si una de las cargas se duplica, la fuerza se duplica: es proporcional al producto de las cargas.
6. $F_e = k e^2 / a_0^2 = 8,988 \times 10^9 \times (1,602 \times 10^{-19})^2 / (5,292 \times 10^{-11})^2 \text{ N} = 8,24 \times 10^{-8} \text{ N}$. $F_g = G m_p m_e / a_0^2 = 6,674 \times 10^{-11} \times 1,673 \times 10^{-27} \times 9,109 \times 10^{-31} / (5,292 \times 10^{-11})^2 \text{ N} = 3,63 \times 10^{-47} \text{ N}$. Cociente $F_e / F_g = 2,27 \times 10^{39}$. La química del átomo es eléctrica; la gravedad entre sus partículas es completamente despreciable. Es mayor que el cociente entre dos protones ($1,24 \times 10^{36}$) porque la masa del electrón es unas 1836 veces menor que la del protón.
7. a) $T = 365,256 \times 86\,400 \text{ s} = 3,1558 \times 10^7 \text{ s}$. $M = 4\pi^2 a^3 / (G T^2) = 39,478 \times (1,49598 \times 10^{11})^3 / (6,6743 \times 10^{-11} \times (3,1558 \times 10^7)^2) \text{ kg} = 1,988 \times 10^{30} \text{ kg}$. La NASA da $1,9884 \times 10^{30} \text{ kg}$. Unidades: $\text{m}^3 / (\text{N m}^2 \text{ kg}^{-2} \cdot \text{s}^2) = \text{m}^3 / (\text{kg m s}^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-2} \text{ s}^2) = \text{kg}$. b) $v = 2\pi a / T = 2\pi \times 1,49598 \times 10^{11} / 3,1558 \times 10^7 \text{ m/s} = 2,978 \times 10^4 \text{ m/s} = 29,78 \text{ km/s}$. c) La masa de la Tierra no aparece: se simplifica en la igualdad $G M m / r^2 = m v^2 / r$.
8. a) $F_\odot / F_{\text{Luna}} = (M_\odot / M_{\text{Luna}}) (d_{\text{Luna}} / d_\odot)^2 = (1,9884 \times 10^{30} / 7,346 \times 10^{22}) \times (3,844 \times 10^8 / 1,49598 \times 10^{11})^2 = 2,707 \times 10^7 \times 6,603 \times 10^{-6} = 179$. b) Efecto de marea Luna / Sol = $(M_{\text{Luna}} / M_\odot) (d_\odot / d_{\text{Luna}})^3 = 3,694 \times 10^{-8} \times 5,894 \times 10^7 = 2,18 \approx 2,2$. c) La marea depende de la diferencia de atracción entre los dos lados de la Tierra, que disminuye con el cubo de la distancia; la Luna está unas 390 veces más cerca que el Sol y ese factor, al cubo, compensa su masa mucho menor.
9. a) Electromagnética (separación de cargas y descarga eléctrica). b) Gravitatoria. c) Nuclear débil (un neutrón se convierte en protón). d) Intervienen las cuatro: la gravedad comprime, hay que vencer la repulsión eléctrica, la débil convierte protones en neutrones (es el paso más lento, el que limita el ritmo) y la fuerte une los nucleones. Como

interacción principal se acepta la fuerte o la débil, si se justifica. e) Electromagnética (fuerzas entre las moléculas de las superficies). f) Nuclear fuerte. g) Electromagnética (campo magnético terrestre). h) Electromagnética (enlace químico).

10. 10. El error es tomar $r = 0$. En la ley de Newton, para cuerpos esféricos, r es la distancia entre los centros: para una persona en la superficie, $r = R = 6,371 \times 10^6$ m, no la distancia a la superficie. Con $r = R$, $F = G M m / R^2 = 3,9860 \times 10^{14} \times 70,0 / (6,371 \times 10^6)^2$ N = 687 N, que es el peso. Un resultado infinito no es físico y obliga a revisar el planteamiento, no a aceptarlo.
11. 11. Respuesta abierta. Se valora que mencione: que Hahn y Strassmann obtuvieron bario al bombardear uranio con neutrones a finales de 1938 y no sabían explicarlo; que Meitner, que había tenido que huir de Alemania en 1938, y Otto Frisch lo interpretaron como la división del núcleo de uranio (Nature, febrero de 1939); que el Nobel de Química de 1944 fue solo para Hahn; que el elemento 109 se llama meitnerio en su honor; y que el caso muestra que la ciencia es un trabajo colectivo y que el reconocimiento no siempre ha sido justo, por razones como el exilio, la separación entre disciplinas o el sesgo de género. Error que debe evitarse: atribuir el descubrimiento a una sola persona.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min · grupos de 3

Práctica: el peso frente a la masa y una fuerza eléctrica que gana a la Tierra

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.1 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA

MATERIALES: Soporte con varilla, nuez y gancho, bien sujeto a la mesa (uno por grupo) · Dinamómetro de 5 N con divisiones de 0,05 N · Juego de masas con gancho o portapesas: 50 g, 100 g, 150 g, 200 g, 250 g y 300 g · Balanza electrónica de resolución 0,1 g (puede ser compartida) · Dos globos de goma no metalizados (de látex si nadie del grupo es alérgico; si no, de un plástico no metalizado), hilo de unos 50 cm y cinta adhesiva · Paño de lana o de poliéster, tubo o regla de PVC y varilla de vidrio, si la hay · Papel de 80 g/m², tijeras, regla y una lata de refresco vacía

Criterios: 1.2, 2.3, 4.1, 4.2

Objetivo

Comprobar que el peso de un cuerpo es proporcional a su masa y obtener la intensidad del campo gravitatorio g como pendiente de una gráfica, con su incertidumbre. Observar los fenómenos de electrización por frotamiento y estimar, con un cálculo de orden de magnitud, cuánto mayor es la fuerza eléctrica que la gravitatoria entre objetos cotidianos.

La práctica no repite la del péndulo de la unidad 1: allí g se obtenía a partir de un movimiento; aquí se mide directamente como fuerza por unidad de masa.

Planteamiento

Antes de medir, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. Si se cuelgan del dinamómetro masas de 50 g, 100 g... hasta 300 g, ¿cómo será la gráfica del peso frente a la masa? ¿Qué significado tendrá su pendiente?
2. Un trozo de papel está quieto sobre la mesa porque la Tierra entera tira de él. ¿Podrá un globo frotado levantarlo? ¿Qué os dice eso de la intensidad de las dos fuerzas?

Normas de seguridad específicas

- El soporte debe estar bien sujeto a la mesa, con la base hacia dentro, para que no vuelque al colgar las masas. Mantened los pies y las manos fuera de la vertical de las masas.
- No colguéis del dinamómetro más de lo que indica su escala (5 N, unos 500 g): el muelle se deforma de forma permanente y la masa puede caer. Añadid y retirad las masas con suavidad, sin soltarlas de golpe.
- Preguntad antes si alguien tiene alergia al látex; en ese caso, usad globos de plástico no metalizado (los metalizados conducen y no se cargan). Cada persona infla su propio globo, o se usa un inflador.
- Si usáis la varilla de vidrio, frotadla sobre la mesa y sin presionar en exceso; si se rompe, el profesorado recoge los fragmentos. Cuidado con las tijeras y con el borde de la lata.
- El agua del grifo de la parte B debe caer en una pila, lejos de cualquier enchufe o aparato eléctrico.
- Las pequeñas descargas que se pueden notar al tocar un objeto cargado son inofensivas, pero en esta práctica no se usan generadores electrostáticos (como el de Van de Graaff), que necesitan normas propias.

Procedimiento

Parte A. Peso y masa (sesión 1)

1. Colgad el dinamómetro del gancho del soporte, en vertical, y ajustad su cero sin ninguna masa.
2. Comprobad con la balanza la masa real de cada pesa y anotadla junto a su valor nominal.
3. Colgad la masa de 50 g, esperad a que deje de oscilar y leed el dinamómetro con los ojos a la altura del índice. Anotad la lectura en newtons.
4. Repetid con 100, 150, 200, 250 y 300 g. Si hay tiempo, que otra persona del grupo repita la serie completa sin mirar los valores anteriores.
5. Representad P frente a m (en kg), trazad la recta que mejor se ajuste y calculad su pendiente. Usad una hoja de cálculo si la tenéis.

Parte B. Electrización por frotamiento (sesión 2)

6. Inflad los dos globos y colgadlos del soporte con hilos de la misma longitud, separados unos 10 cm.
7. Frotad uno de ellos con el paño y acercadle el paño. Anotad si hay atracción, repulsión o nada.
8. Frotad los dos globos con el mismo paño y dejad que cuelguen juntos. Anotad lo que ocurre.
9. Acercad el globo cargado (y después el tubo de PVC frotado) a: trozos de papel, la lata vacía tumbada sobre la mesa y un hilo fino de agua del grifo. Anotad lo que observéis.
10. Recortad un cuadrado de papel de $1,0\text{ cm} \times 1,0\text{ cm}$. Frotad un globo y acercadlo poco a poco desde arriba hasta que el papel salte. Estimad la distancia a la que se levanta.

Tabla de datos

MASA NOMINAL (G)	MASA EN LA BALANZA (KG)	PESO MEDIDO (N)	P/M (N/KG)
50			
100			
150			
200			
250			
300			

PAR DE OBJETOS	¿ATRACCIÓN, REPULSIÓN O NADA?	EXPLICACIÓN CON CARGAS
Globo frotado y paño		
Globo frotado y globo frotado		
Globo frotado y papel		
Globo frotado y lata vacía		
Globo frotado e hilo de agua		
Tubo de PVC frotado y papel		

RESULTADO	VALOR
Pendiente de P frente a m (N/kg)	
Ordenada en el origen (N)	
Masa del cuadrado de papel (kg)	
Peso del cuadrado de papel (N)	
Distancia a la que salta el papel (cm)	

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Calculad P/m para cada masa. ¿Es constante? ¿Cuál de los cocientes es menos fiable y por qué?
2. Obtened g como pendiente de la recta y comparadla con el valor esperado, unos 9,80 m/s². ¿La ordenada en el origen es compatible con cero?
3. ¿Qué gráfica habríais obtenido en la Luna (g = 1,62 m/s²)? ¿Y si hubierais usado una balanza de platillos en lugar del dinamómetro?
4. Explicad con el modelo de cargas por qué dos globos frotados con el mismo paño se repelen y por qué un globo cargado atrae a un papel neutro.
5. Calculad la masa y el peso del cuadrado de papel (80 g/m²). ¿Qué fuerza mínima ha hecho el globo?

6. Calculad la atracción gravitatoria entre el globo (5,0 g) y el papel suponiendo toda la masa del globo a 2,0 cm. ¿Cuántas veces mayor es, como mínimo, la fuerza eléctrica? ¿Se puede concluir que la gravedad es siempre despreciable? Justificadlo.
7. Comparad los resultados con las predicciones iniciales y redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay dinamómetros o el aire está demasiado húmedo para que funcione la electrización, se pueden usar tres simulaciones en español de PhET (Universidad de Colorado): [Lab de Fuerza de Gravedad](#), para ver cómo cambia la atracción gravitatoria con las masas y la distancia; [Ley de Coulomb](#), para medir la fuerza entre dos cargas a varias distancias y comprobar la dependencia con $1/r^2$; y [Globos y electricidad estática](#), que muestra el paso de cargas al frotar y la polarización de una pared neutra. Con la segunda, la gráfica de F frente a $1/r^2$ sustituye a la parte A.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Sobrecarga el dinamómetro o no completa las medidas	Completa las medidas con recordatorios	Ajusta el cero, evita el paralaje y mide con orden sin recordatorios	Además, comprueba las masas con la balanza y repite la serie para estimar la dispersión
Explicación de los fenómenos (2.3)	No distingue peso y masa ni relaciona las observaciones con cargas	Distingue peso y masa, pero explica las observaciones de forma incompleta	Explica la pendiente como g y las atracciones y repulsiones con el modelo de cargas	Además, explica la polarización y por qué la balanza de platillos no cambiaría en la Luna
Cálculo y unidades (4.1)	Errores de unidades que invalidan g o la comparación	Calcula g o la comparación con algún error menor	Calcula g, el peso del papel y el cociente con unidades y cifras significativas correctas	Además, estima la incertidumbre de g y la usa para valorar la ordenada en el origen
Análisis crítico (4.2)	Acepta los resultados sin discutirlos	Cita una fuente de error genérica	Identifica las fuentes de error principales y su efecto	Además, reconoce que el cociente de la parte B es una cota mínima y discute el papel de la masa de la Tierra

SOLUCIÓN

1. Parte A, ejemplo de datos (dinamómetro de 5 N, divisiones de 0,05 N): $m = 0,050; 0,100; 0,150; 0,200; 0,250; 0,300 \text{ kg} \rightarrow P = 0,50; 0,98; 1,48; 1,95; 2,45; 2,95 \text{ N}$. Cocientes P/m : $10,0; 9,80; 9,87; 9,75; 9,80; 9,83 \text{ N/kg}$.
2. Parte A, gráfica: los puntos están alineados y la recta pasa prácticamente por el origen. Ajuste por mínimos cuadrados: pendiente $9,79 \text{ N/kg}$, ordenada en el origen $0,005 \text{ N}$ (despreciable frente a la media división, $0,025 \text{ N}$). Si se fuerza la recta por el origen, la pendiente es $9,81 \text{ N/kg}$. Se obtiene $g \approx 9,8 \text{ N/kg} = 9,8 \text{ m/s}^2$, compatible con el valor esperado en la península, unos $9,80 \text{ m/s}^2$ (modelo WGS 84: $9,801 \text{ m/s}^2$ a $39,5^\circ$ de latitud). Cualquier valor entre $9,6$ y $10,0 \text{ N/kg}$ es un buen resultado con un dinamómetro escolar.
3. Parte A, incertidumbre: con media división ($\pm 0,025 \text{ N}$), la lectura de $0,50 \text{ N}$ tiene una incertidumbre relativa del 5% y la de $2,95 \text{ N}$, del $0,8\%$. Por eso el cociente P/m de la masa más pequeña ($10,0 \text{ N/kg}$) es el que más se aleja y la pendiente de la recta, que usa todos los puntos, es mejor estimación que cualquier cociente aislado. Otras fuentes de error: el cero del dinamómetro no ajustado (aparece como ordenada en el origen), leer la escala en oblicuo (paralaje) y masas cuyo valor nominal no coincide con el de la balanza.
4. Parte A, cuestión 3: la pendiente de P frente a m es g , la intensidad del campo gravitatorio. En la Luna la recta seguiría pasando por el origen, pero con pendiente $1,62 \text{ N/kg}$: con las mismas masas, el dinamómetro marcaría unas seis veces menos ($9,81/1,62 = 6,1$). La balanza de platillos, que compara masas, daría el mismo resultado que en la Tierra, porque el peso cambia igual en los dos platillos.
5. Parte B, observaciones esperadas: dos globos frotados con el mismo paño se repelen (misma carga); el globo y el paño se atraen (cargas opuestas: los electrones han pasado de uno a otro); el globo cargado atrae trozos de papel, la lata vacía y un hilo fino de agua del grifo, aunque sean neutros, por polarización. Si se toca el papel con el globo, a veces el papel salta después: ha adquirido carga del mismo signo y es repelido. Con el tiempo, y más con aire húmedo, los efectos se debilitan porque la carga se escapa.
6. Parte B, cálculo: masa del papel de $1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm}$ de 80 g/m^2 : $m = 80 \text{ g/m}^2 \times 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 8,0 \times 10^{-3} \text{ g} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ kg}$. Peso: $P = 8,0 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,8 \times 10^{-5} \text{ N}$. Si el globo lo levanta, la fuerza eléctrica es al menos $7,8 \times 10^{-5} \text{ N}$.
7. Parte B, comparación: la atracción gravitatoria del globo ($5,0 \text{ g}$) sobre el papel, aun suponiendo toda su masa a solo $2,0 \text{ cm}$ (lo que la sobreestima), es $F = G m_{\text{globo}} m_{\text{papel}} / r^2 = 6,674 \times 10^{-11} \times 5,0 \times 10^{-3} \times 8,0 \times 10^{-6} / (2,0 \times 10^{-2})^2 \text{ N} = 6,7 \times 10^{-15} \text{ N}$. La fuerza eléctrica es como mínimo $7,8 \times 10^{-5} / 6,7 \times 10^{-15} = 1,2 \times 10^{10}$ veces mayor. Con unos pocos frotamientos, la fuerza eléctrica de un globo vence la atracción de toda la Tierra sobre el papel.
8. Cuestión 6 (análisis crítico): no se puede concluir que la gravedad sea débil «en general»: entre el papel y la Tierra la gravedad es la fuerza que hay que vencer, y vale $7,8 \times 10^{-5} \text{ N}$ porque la masa de la Tierra es enorme. La conclusión correcta es que, para masas y cargas de laboratorio, la fuerza eléctrica es incomparablemente mayor que la gravitatoria entre los mismos objetos. Se valora que el grupo note también que el resultado es una cota mínima (solo se sabe que la fuerza eléctrica supera el peso) y que la distancia de 2 cm es una aproximación.

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 15 PREGUNTAS

1. ¿Cuál de estas NO es una de las cuatro interacciones fundamentales?

- a) La interacción nuclear débil.
- b) La fuerza de rozamiento.
- c) La interacción electromagnética.
- d) La interacción gravitatoria.

2. ¿Qué interacción mantiene unidos los protones y neutrones de un núcleo atómico, a pesar de la repulsión eléctrica entre los protones?

- a) La gravitatoria, porque los nucleones están muy juntos.
- b) La electromagnética, porque los neutrones atraen a los protones.
- c) La nuclear fuerte.
- d) La nuclear débil.

3. La gravedad es la interacción más débil de las cuatro y, sin embargo, es la que domina el movimiento de planetas y galaxias.

Verdadero ☐ Falso ☐

4. Calcula la fuerza gravitatoria, en newtons, entre dos masas de 1000 kg cuyos centros están a 2,00 m ($G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$). Da el resultado en unidades de 10^{-5} N (por ejemplo, si obtienes $2,50 \times 10^{-5} \text{ N}$, escribe 2,50).

Respuesta: _____ $\times 10^{-5} \text{ N}$

5. Si la distancia entre dos cuerpos se triplica, la fuerza gravitatoria entre ellos...

- a) se reduce a la tercera parte.
- b) se reduce a la novena parte.
- c) se triplica.
- d) no cambia, porque las masas son las mismas.

6. Una persona tiene una masa de 60,0 kg. ¿Cuál es su peso en la Luna, en newtons, si allí $g = 1,62 \text{ m/s}^2$?

Respuesta: _____ N

7. Un astronauta que viaja a la Luna pierde masa, porque allí la gravedad es menor.

Verdadero ☐ Falso ☐

8. Calcula g , en m/s^2 , en la superficie de Marte con $g = GM/R^2$, sabiendo que $GM(\text{Marte}) = 4,2828 \times 10^{13} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ y $R = 3,3895 \times 10^6 \text{ m}$.

Respuesta: _____ m/s^2

9. Los astronautas de la Estación Espacial Internacional flotan porque a 420 km de altura la atracción de la Tierra es prácticamente nula.

Verdadero ☐ Falso ☐

10. Dos cargas de $+4,0 \mu\text{C}$ y $+5,0 \mu\text{C}$ están separadas $0,30 \text{ m}$ en el vacío. Calcula el módulo de la fuerza entre ellas, en newtons ($k = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$).

Respuesta: _____ N

11. Un globo frotado con lana atrae pequeños trozos de papel que no están cargados. ¿Por qué?

- a) Porque el globo tiene más masa que el papel y lo atrae gravitatoriamente.
- b) Porque el globo cargado desplaza las cargas del papel: acerca las de signo contrario y aleja las del mismo signo, y la atracción sobre las cercanas es mayor.
- c) Porque al frotarlo el globo se convierte en un imán.
- d) Porque el papel tiene siempre carga negativa.

12. El cociente entre la fuerza gravitatoria y la eléctrica entre dos protones es $F_g/F_e = G m_p^2 / (k e^2)$. Con $G m_p^2 = 1,867 \times 10^{-64} \text{ N m}^2$ y $k e^2 = 2,307 \times 10^{-28} \text{ N m}^2$, calcula el cociente y escríbelo en notación científica, $a \times 10^n$ con $1 \leq a < 10$. ¿Cuál es el exponente n ? (Escribe solo el número entero n .)

Respuesta: _____

13. ¿Por qué la Luna produce mareas mayores que el Sol, si el Sol atrae a la Tierra unas 180 veces más que la Luna?

- a) Porque la Luna tiene más masa que el Sol.
- b) Porque la marea depende de la diferencia de atracción entre los dos lados de la Tierra, que disminuye con el cubo de la distancia, y la Luna está mucho más cerca.
- c) Porque el Sol solo atrae a la Tierra de día.
- d) Porque las mareas no se deben a la gravedad, sino al viento.

14. ¿Qué interacción es responsable de la desintegración beta, en la que un neutrón del núcleo se transforma en un protón?

- a) La nuclear débil.
- b) La nuclear fuerte.
- c) La electromagnética.
- d) La gravitatoria.

15. Según las medidas de geoneutrinos del experimento KamLAND (2011), aproximadamente la mitad del calor que sale del interior de la Tierra procede de la desintegración radiactiva.

Verdadero ☐ Falso ☐

EJERCICIO

2 sesiones de 55 min · individual, con corrección en parejas

Ejercicios: cinemática, leyes de Newton, equilibrio y distancia de frenado

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.2, E.3 · Comp. específicas CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA, CC

MATERIALES: Calculadora científica

Criterios: 2.3, 4.1, 4.2

Toma $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y da los resultados con las cifras significativas que permitan los datos.

- 1. El móvil al volante.** Un coche circula a 120 km/h. a) Expresa la velocidad en m/s. b) ¿Qué distancia recorre mientras el conductor mira el móvil durante 2,0 s? ¿Qué parte de la distancia de detención aumenta?
- 2. Arrancar.** Un turismo de 1200 kg pasa de 0 a 100 km/h en 10,0 s con aceleración constante. a) Calcula la aceleración. b) ¿Qué distancia recorre en ese tiempo? c) ¿Qué fuerza neta actúa sobre él? ¿Quién la ejerce?
- 3. Caída libre.** Se deja caer una piedra desde 20,0 m. a) ¿Cuánto tarda en llegar al suelo, sin rozamiento con el aire? b) ¿Con qué velocidad llega? c) Si en lugar de una piedra fuera una pluma, ¿cambiaría el resultado sin aire? ¿Y con aire?
- 4. Acción y reacción.** Un libro está en reposo sobre una mesa. a) Identifica las dos fuerzas que actúan sobre el libro y la pareja de acción y reacción de cada una. b) El peso y la normal son iguales y opuestos. ¿Es por la tercera ley de Newton? Justifícalo. c) Valora esta frase: «Si el carro tira del caballo con la misma fuerza que el caballo tira del carro, el conjunto no puede avanzar».
- 5. Una caja en una rampa.** Una caja de 5,00 kg se deja sobre una rampa de $30,0^\circ$. Los coeficientes de rozamiento son $\mu_e = 0,50$ y $\mu_d = 0,30$. a) ¿Desliza? b) Si desliza, calcula su aceleración. c) ¿Cambiaría la respuesta con una caja de 10,0 kg?
- 6. Una maceta colgada.** Una maceta de 4,00 kg cuelga de dos cuerdas iguales que forman cada una $40,0^\circ$ con la horizontal. a) Calcula la tensión de cada cuerda. b) ¿Por qué cada cuerda soporta más de la mitad del peso?
- 7. El balancín.** En un balancín, una niña de 30 kg se sienta a 2,0 m del eje. ¿A qué distancia del eje debe sentarse su hermano, de 40 kg, para que el balancín quede en equilibrio horizontal?
- 8. 30 o 50 km/h.** En una calle urbana un peatón cruza de repente. Como es una sorpresa, toma un tiempo de reacción de 1,5 s (Green, 2000) y $\mu = 0,70$. a) Calcula la distancia de detención a 30 km/h. b) Ídem a 50 km/h. c) Compara: ¿en qué situación está el coche que va a 50 km/h en el punto en que el de 30 km/h ya se ha parado?

9. **Una curva.** a) ¿Cuál es la velocidad máxima a la que se puede tomar una curva plana de 80,0 m de radio con $\mu = 0,70$? b) ¿Y con la calzada mojada ($\mu = 0,50$)? c) ¿Tiene un camión una velocidad máxima menor por pesar más? Justifícalo.
10. **Análisis crítico.** Un compañero calcula la distancia de frenado de un coche a 50 km/h con $\mu = 0,70$ así: $d = 50^2 / (2 \times 0,70 \times 9,81) = 182$ m. Encuentra el error, corrígelo y explica qué pistas deberían haberle hecho sospechar del resultado.
11. **El cinturón.** Un coche a 50 km/h choca contra un muro y su parte delantera se deforma 0,50 m hasta pararse. Supón deceleración constante. a) Calcula la deceleración del habitáculo y el tiempo que dura la parada. b) ¿Qué fuerza debe hacer el cinturón sobre un ocupante de 70 kg para que se pare con el coche? Compárala con su peso. c) Explica con la primera ley qué pasa si no lleva el cinturón. d) Busca en el informe anual de la DGT de 2024 qué porcentaje de fallecidos en turismos y furgonetas en vías interurbanas no llevaba el cinturón.

SOLUCIÓN

1. 1. a) $v = 120 \text{ km/h} / 3,6 = 33,3 \text{ m/s}$. b) MRU: $d = v t = 33,3 \text{ m/s} \times 2,0 \text{ s} = 67 \text{ m}$. Durante dos segundos mirando el móvil se recorren 67 m sin ver la carretera. La distracción no cambia la distancia de frenado, pero añade todo ese tramo a la de reacción.
2. 2. a) $v = 100 \text{ km/h} / 3,6 = 27,8 \text{ m/s}$; $a = (v - v_0) / t = 27,8 \text{ m/s} / 10,0 \text{ s} = 2,78 \text{ m/s}^2$. b) $x = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 2,78 \times (10,0)^2 \text{ m} = 139 \text{ m}$. c) $F_{\text{neta}} = m a = 1200 \text{ kg} \times 2,78 \text{ m/s}^2 = 3,33 \times 10^3 \text{ N}$. Es la fuerza neta: la que hace el suelo sobre las ruedas menos el rozamiento con el aire.
3. 3. a) $h = \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow t = \sqrt{(2 h / g)} = \sqrt{(2 \times 20,0 / 9,81)} \text{ s} = 2,02 \text{ s}$. b) $v = g t = 9,81 \times 2,02 \text{ m/s} = 19,8 \text{ m/s}$ (71 km/h). c) Sin aire, la misma: la aceleración de caída es g para todos los cuerpos (unidad 14). Con aire, la pluma cae mucho más despacio porque el rozamiento con el aire es comparable a su peso.
4. 4. a) Pareja del peso del libro (Tierra sobre libro): la atracción del libro sobre la Tierra. Pareja de la normal (mesa sobre libro): la fuerza del libro sobre la mesa. b) El peso y la normal se compensan porque el libro está en equilibrio (primera ley), no por la tercera ley: actúan sobre el mismo cuerpo. Si se empuja la mesa hacia arriba (por ejemplo, en un ascensor que acelera hacia arriba), la normal es mayor que el peso, pero cada pareja de acción y reacción sigue siendo de fuerzas iguales. c) La afirmación es falsa: el caballo tira del carro y el carro del caballo con fuerzas iguales, pero actúan sobre cuerpos distintos. El conjunto avanza porque el suelo empuja los cascos del caballo hacia delante con más fuerza que el rozamiento que frena el carro.
5. 5. a) Componente del peso paralela a la rampa: $m g \sin 30,0^\circ = 5,00 \times 9,81 \times 0,500 \text{ N} = 24,5 \text{ N}$. Normal: $N = m g \cos 30,0^\circ = 42,5 \text{ N}$. Rozamiento estático máximo: $\mu_e N = 0,50 \times 42,5 \text{ N} = 21 \text{ N}$. Como $24,5 \text{ N} > 21 \text{ N}$ (o, equivalentemente, $\tan 30,0^\circ = 0,577 > 0,50$), la caja desliza. b) Rozamiento dinámico: $0,30 \times 42,5 \text{ N} = 12,7 \text{ N}$. $a = (24,5 - 12,7) \text{ N} / 5,00 \text{ kg} = 2,4 \text{ m/s}^2$, igual a $g (\sin \theta - \mu_d \cos \theta) = 9,81 \times (0,500 - 0,260) = 2,4 \text{ m/s}^2$. c) No: con el doble de masa se duplican la componente del peso y el rozamiento; el ángulo crítico ($\tan \theta = \mu_e$) y la aceleración no dependen de la masa.
6. 6. a) $P = m g = 4,00 \times 9,81 \text{ N} = 39,2 \text{ N}$. Eje y: $2 T \sin 40,0^\circ = m g \rightarrow T = 39,24 / (2 \times 0,6428) \text{ N} = 30,5 \text{ N}$. b) Cada cuerda soporta menos que el peso total, pero más que la mitad (19,6 N), porque solo la componente vertical de la tensión sostiene la maceta. Si las cuerdas fueran verticales, cada una soportaría exactamente la mitad; cuanto más horizontales, más tensión.
7. 7. $\Sigma M = 0$ respecto al eje: $m_1 g d_1 = m_2 g d_2 \rightarrow d_2 = m_1 d_1 / m_2 = 30 \text{ kg} \times 2,0 \text{ m} / 40 \text{ kg} = 1,5 \text{ m}$. g se simplifica. El niño más pesado debe sentarse más cerca del eje. Unidades: $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{kg} = \text{m}$.
8. 8. a) $30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$; $d_r = 8,33 \text{ m/s} \times 1,5 \text{ s} = 12,5 \text{ m}$; $a = 0,70 \times 9,81 = 6,87 \text{ m/s}^2$; $d_f = (8,33)^2 / (2 \times 6,87) \text{ m} = 5,1 \text{ m}$; total $17,6 \text{ m} \approx 18 \text{ m}$. b) $50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$; $d_r = 13,9 \text{ m/s} \times 1,5 \text{ s} = 20,8 \text{ m}$; $d_f = (13,9)^2 / (2 \times 6,87) \text{ m} = 14,0 \text{ m}$; total $34,9 \text{ m} \approx 35 \text{ m}$. c) A 18 m del punto en que aparece el peatón, el coche que va a 50 km/h todavía no ha empezado a frenar (su distancia de reacción ya es 20,8 m): llega al punto donde el otro se ha detenido prácticamente a 50 km/h. Su energía cinética es $(50/30)^2 = 2,8$ veces la que tendría a 30 km/h. Es el argumento físico del límite de 30 km/h en calles de un carril por sentido (RD 970/2020).
9. 9. a) $v_{\text{máx}} = \sqrt{(\mu g r)} = \sqrt{(0,70 \times 9,81 \times 80,0)} \text{ m/s} = 23,4 \text{ m/s} = 84 \text{ km/h}$. b) $\sqrt{(0,50 \times 9,81 \times 80,0)} \text{ m/s} = 19,8 \text{ m/s} = 71 \text{ km/h}$. c) No: la masa se simplifica ($\mu m g = m v^2 / r$). Un vehículo

más pesado necesita más fuerza centrípeta, pero el rozamiento máximo crece en la misma proporción. En la realidad influyen además el peralte, el estado de los neumáticos y la altura del centro de gravedad (riesgo de vuelco), que este modelo no incluye.

10. 10. El error es no pasar la velocidad a m/s: con $v = 50$ se obtiene $d_f = 50^2 / (2 \times 6,87) = 182$ m, un resultado absurdo para un coche urbano. Correcto: $v = 50 / 3,6 = 13,9$ m/s, $d_f = (13,9)^2 / (2 \times 6,87) = 14$ m. Pistas que debían alertar: la distancia de frenado de 182 m supera con mucho la que la Norma 3.1-IC usa para el diseño a 50 km/h (unos 52 m, incluidos 2 s de reacción), y las unidades no cuadran si se mezclan km/h con m/s². Lección: comprobar unidades y comparar con un valor de referencia antes de dar un resultado por bueno.

11. 11. a) $v = 13,9$ m/s. $a = v^2 / (2 d) = (13,9)^2 / (2 \times 0,50) \text{ m/s}^2 = 1,9 \times 10^2 \text{ m/s}^2$, unas 20 veces g. Tiempo de la parada: $t = v / a = 0,072$ s. b) $F = m a = 70 \text{ kg} \times 193 \text{ m/s}^2 = 1,4 \times 10^4 \text{ N}$, unas 20 veces su peso (687 N). c) Sin cinturón, el ocupante sigue a 13,9 m/s (primera ley) mientras el coche se para, y se detiene contra el volante o el parabrisas en unos pocos centímetros: la deceleración y la fuerza serían mucho mayores. El cinturón le obliga a frenar junto con el habitáculo, a lo largo de los 0,50 m que se deforma la parte delantera. d) Según la DGT, en 2024 el 26 % de las personas fallecidas en turismos y furgonetas en vías interurbanas no llevaba el cinturón (porcentaje calculado sobre los casos en que se conoce el uso).

PRÁCTICA DE LABORATORIO

2 sesiones de 55 min · grupos de 3

Práctica: el rozamiento en un plano inclinado y sobre la mesa

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.2, E.3 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA

MATERIALES: Tabla lisa de madera de 1,00 m, con un tope o un libro al pie para recoger el taco · Taco de madera con gancho (unos 100 g) y masas de 100 g que se puedan sujetar encima · Regla o cinta métrica de 1 m (resolución 1 mm) y, si lo hay, transportador o inclinómetro del móvil · Dinamómetro de 5 N (la parte B llega a picos de unos 2,5 N, por encima de la escala de uno de 2 N) y cordel · Balanza electrónica de resolución 0,1 g (puede ser compartida) · Pila de libros o soporte con nuez para levantar la tabla poco a poco

Criterios: 1.2, 2.3, 4.1, 4.2

Objetivo

Medir los coeficientes de rozamiento estático y dinámico entre dos superficies de madera por dos métodos distintos, comprobar si el ángulo al que un cuerpo empieza a deslizar depende de su masa y relacionar el resultado con la frenada de un vehículo.

Planteamiento

Antes de medir, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. Si se pone una masa encima del taco, ¿empezará a deslizar con más inclinación, con menos o con la misma?
2. Al arrastrar el taco con un dinamómetro, ¿la lectura será la misma justo antes de que arranque que cuando ya se mueve?

Normas de seguridad específicas

- La tabla se levanta poco a poco y nunca por encima de unos 45°, sujeta por una persona o apoyada en un soporte estable. Al pie de la tabla debe haber un tope (un libro) que

recoja el taco: no se deja caer al suelo ni sobre los pies.

- Las masas se sujetan bien al taco (con cinta o en un hueco); una masa suelta puede salir despedida al deslizar.
- No se cuelga del dinamómetro ni se tira de él con más fuerza que el máximo de su escala: el muelle se deforma de forma permanente y puede soltarse de golpe.
- Se trabaja en la mesa, lejos del borde, con el cordel corto, sin tirones y sin apuntar el dinamómetro hacia otra persona.

Procedimiento

Parte A. Ángulo crítico (sesión 1)

1. Comprobad con la balanza la masa del taco y de las masas adicionales. Limpiad con un paño seco la tabla y la cara del taco que va a deslizar.
2. Colocad la tabla horizontal sobre la mesa y el taco cerca de su extremo superior. Levantad ese extremo muy despacio hasta que el taco empiece a deslizar.
3. Sin mover la tabla, medid la altura h del extremo levantado respecto de la mesa. Anotadla.
4. Repetid cinco veces, colocando el taco siempre en el mismo sitio y con la misma cara.
5. Repetid la serie con 100 g y con 200 g sujetos encima del taco.

Parte B. Arrastre sobre la mesa (sesión 2)

6. Usad el dinamómetro de 5 N y ajustad su cero en horizontal. Atad el taco al dinamómetro con un cordel corto, paralelo a la mesa.
7. Tirad muy despacio y anotad la lectura máxima justo antes de que el taco empiece a moverse (pico estático).
8. Una vez en marcha, mantened una velocidad constante y lenta y anotad la lectura media (rozamiento dinámico).
9. Repetid los pasos 7 y 8 con masas totales de 200, 300, 400 y 500 g sobre la mesa.
10. Representad la fuerza de rozamiento dinámico frente a la normal ($N = m g$) y calculad la pendiente.

Tabla de datos

CARGA SOBRE EL TACO	H_1 (M)	H_2 (M)	H_3 (M)	H_4 (M)	H_5 (M)	H MEDIA (M)	θ (°)	$M_E = Tg \theta$
Taco solo								
Taco + 100 g								
Taco + 200 g								

MASA TOTAL (KG)	NORMAL $N = M G$ (N)	PICO ESTÁTICO (N)	ROZAMIENTO DINÁMICO (N)	$M_D = F/N$
0,200				
0,300				
0,400				
0,500				

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Con $L = 1,000$ m, calculad $\sin \theta = h/L$, el ángulo θ y $\mu_e = \tan \theta$ para cada serie. Expresad μ_e con su incertidumbre a partir de la dispersión de h .
2. ¿Depende el ángulo crítico de la masa? Justificadlo con la ecuación del plano inclinado y comparadlo con vuestra predicción.
3. Obtened μ_d como pendiente de la gráfica F frente a N . ¿Pasa la recta por el origen? Calculad μ_e con el pico estático y comparadlo con el de la parte A.
4. ¿Qué error se comete si el cordel no está horizontal? ¿Y si se tira a tirones? Citad otras dos fuentes de error.
5. ¿A qué ángulo empezaría a deslizar una caja de madera sobre una rampa de madera? ¿Con qué aceleración bajaría por una rampa de 30° ? Relacionad el coeficiente de rozamiento con la deceleración máxima de un coche y con la distancia de frenado en seco y en mojado.
6. ¿Con cuántas cifras significativas tiene sentido dar los coeficientes? ¿Son constantes universales de la madera? Comparad los resultados con las predicciones y redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay material, se puede usar la simulación en español [Fuerzas y Movimiento: Intro](#) de PhET (Universidad de Colorado). En su pantalla de rozamiento se aplica una fuerza creciente a un objeto hasta que arranca y se observa que el rozamiento estático se ajusta a la fuerza aplicada hasta un máximo y después baja al valor dinámico; repitiendo con objetos de distinta masa se puede construir la tabla de la parte B. Para el plano inclinado existe [Rampa: Fuerzas y movimiento](#), una versión más antigua que se ejecuta en el navegador.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Levanta la tabla de golpe, deja caer el taco o sobrecarga el dinamómetro	Completa las medidas con recordatorios	Sube la tabla despacio, ajusta el cero, tira en horizontal y repite las medidas sin recordatorios	Además, controla las variables (misma cara, misma posición, superficies limpias) y lo justifica
Explicación de los fenómenos (2.3)	No relaciona el deslizamiento con las fuerzas	Describe las observaciones sin justificarlas con fuerzas	Explica con la descomposición del peso por qué la masa no influye y por qué $\mu_e > \mu_d$	Además, relaciona el coeficiente con la frenada de un vehículo en seco y en mojado
Cálculo y unidades (4.1)	Errores de trigonometría o de unidades que			

	invalidan los coeficientes	Calcula los coeficientes con algún error menor	Calcula μ_e y μ_d con las cifras significativas adecuadas y obtiene μ_d como pendiente	Además, estima la incertidumbre de μ_e a partir de la dispersión
Análisis crítico (4.2)	Acepta los resultados sin discutirlos	Cita una fuente de error genérica	Identifica las fuentes de error principales y su efecto sobre el resultado	Además, compara los dos métodos para μ_e y discute los límites del modelo $F_r = \mu N$

SOLUCIÓN

1. Parte A, ejemplo de datos (tabla L = 1,000 m, taco solo): alturas a las que empieza a deslizar $h = 0,44; 0,46; 0,45; 0,47; 0,44$ m. Media $h = 0,452$ m, desviación típica $s = 0,013$ m, incertidumbre de la media $s/\sqrt{5} = 0,006$ m. $\sin \theta = h/L = 0,452 \rightarrow \theta = 26,9^\circ$; $\mu_e = \tan \theta = 0,507 \approx 0,51$. Con $h = 0,452 \pm 0,006$ m, $\tan \theta$ va de 0,499 a 0,515: $\mu_e = 0,51 \pm 0,01$. Es coherente con el valor aproximado 0,5 para madera sobre madera (OpenStax, tabla 5.1).
2. Parte A, masa: con 100 g o 200 g encima, el ángulo crítico se mantiene dentro de la dispersión de las medidas. Explicación: en el límite, $m g \sin \theta = \mu_e m g \cos \theta$, la masa se simplifica y $\tan \theta = \mu_e$. La hipótesis «el taco más pesado aguanta más inclinación» queda refutada.
3. Parte B, ejemplo de datos: masas $m = 0,200; 0,300; 0,400; 0,500$ kg $\rightarrow N = m g = 1,96; 2,94; 3,92; 4,91$ N. Lecturas a velocidad constante $F = 0,60; 0,88; 1,20; 1,47$ N. Cocientes $F/N: 0,306; 0,299; 0,306; 0,300$. Ajuste por mínimos cuadrados: pendiente 0,299, ordenada 0,012 N (del orden de la resolución del dinamómetro, compatible con cero). Forzando el origen, 0,302. $\mu_d \approx 0,30$, coherente con el 0,3 de la tabla para madera sobre madera.
4. Parte B, pico de arranque: con 0,300 kg, la lectura justo antes de que el taco se mueva es de unos 1,5 N $\rightarrow \mu_e = 1,50 / (0,300 \times 9,81) = 0,51$ (con 0,500 kg el pico llega a unos $0,51 \times 0,500 \times 9,81 = 2,5$ N, por eso hace falta el dinamómetro de 5 N), que coincide con el valor de la parte A obtenido por un método distinto. $\mu_e > \mu_d$: cuesta más arrancar que mantener el movimiento.
5. Cuestión 4: si el dinamómetro no está horizontal y tira hacia arriba con un ángulo α , la normal disminuye ($N = m g - F \sin \alpha$) y la lectura ya no es $\mu_d m g$: se obtendría un coeficiente aparente menor. Si se tira a tirones, la lectura oscila entre el pico estático y el valor dinámico. Otras fuentes de error: tabla o taco sucios o húmedos (el coeficiente cambia de un día a otro), lectura en oblicuo del dinamómetro y subir la tabla a saltos, que hace que el taco arranque antes de tiempo.
6. Cuestión 5: con $\mu_e = 0,51$, una caja de madera en una rampa de madera empieza a deslizar hacia los 27° . Con $\mu_d = 0,30$, una vez en marcha baja por una rampa de 30° con $a = g (\sin 30^\circ - 0,30 \cos 30^\circ) = 9,81 \times (0,500 - 0,260) = 2,4$ m/s². Relación con la seguridad vial: el coeficiente entre neumático y calzada fija la deceleración máxima de frenada, $a = \mu g$; la tabla de OpenStax da para caucho sobre hormigón 0,7 en seco y 0,5 en mojado (valores dinámicos aproximados), lo que alarga la distancia de frenado un 40 % con la calzada mojada.
7. Cuestión 6 (análisis crítico): el modelo $F_r = \mu N$ es empírico y aproximado; el coeficiente se da con una o dos cifras significativas y varía con el estado de las superficies. Un resultado como $\mu_e = 0,507$ debe darse como $0,51 \pm 0,01$ y valorarse como propio de esas superficies ese día, no como una constante universal. Se valora que el grupo compare los dos métodos para μ_e y explique la diferencia, si la hay, por la dispersión.

SITUACIÓN DE APRENDIZAJE

5 sesiones de 55 min (dentro de las 9 de la unidad 15) · grupos de 3

Situación de aprendizaje: distancia de seguridad

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.1, E.2, E.3 · Comp. específicas CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA, CC

MATERIALES: Material de la práctica de rozamiento de la unidad 15 (tabla, taco de madera, masas, dinamómetro, cinta métrica) · Hoja de cálculo · Herramienta de maquetación o papel A3 para la infografía

Criterios: 2.3, 4.1, 4.2

Propuesta para adaptar al grupo y al centro, tal como se plantea en la programación de la asignatura.

Contexto

Buena parte del alumnado de 2.º de Bachillerato está sacándose el carné de conducir o lo hará pronto. En la autoescuela aprende límites de velocidad y la obligación de guardar distancia con el vehículo de delante, casi siempre como normas que hay que memorizar. Esta situación pregunta de dónde salen: **¿cuánto necesita un coche para pararse y qué distancia hay que dejar con el de delante?**

El punto de partida son datos reales que recoge la unidad 15. Según el informe de la DGT con datos consolidados de 2024, murieron 1785 personas en siniestros de tráfico en España, y en los siniestros mortales los factores concurrentes más frecuentes fueron la distracción (30 %), el alcohol (28 %) y la velocidad inadecuada (22 %); en un mismo siniestro puede concurrir más de un factor, estos porcentajes excluyen Cataluña y el País Vasco y el del alcohol se calcula solo sobre los siniestros en que se hizo la prueba a todos los conductores, como precisa la unidad 15 ([DGT, Principales cifras de la siniestralidad vial, 2024](#)). Los tres tienen una traducción física directa en la distancia de detención.

Las normas que se van a valorar son las del **Reglamento General de Circulación** (Real Decreto 1428/2003, [texto consolidado en el BOE](#)): el art. 48, que fija para turismos 120 km/h en autopista y autovía y 90 km/h en carretera convencional, con una excepción: «en carreteras convencionales con separación física de los dos sentidos de circulación, el titular de la vía podrá fijar un límite máximo de 100 km/h» para turismos, motocicletas y autocaravanas de hasta 3500 kg; el art. 50, con el límite de 30 km/h en las calles de un carril por sentido desde la reforma del Real Decreto 970/2020; y el art. 54.1, que obliga a quien circula detrás de otro vehículo a dejar un espacio libre que le permita detenerse en caso de frenado brusco sin colisionar, teniendo en cuenta la velocidad y las condiciones de adherencia y frenado. Este último no da ningún número: calcularlo es el trabajo de la situación.

Competencias específicas y criterios de evaluación

- **CE2.** Comprender y explicar los procesos del entorno y explicarlos, utilizando los principios, leyes y teorías científicos adecuados, para adquirir una visión holística del funcionamiento del medio natural.
 - 2.3 Reconocer y analizar los fenómenos fisicoquímicos más relevantes, explicándolos a través de las principales leyes o teorías científicas.
- **CE4.** Aplicar el pensamiento científico y los razonamientos lógico-matemáticos, mediante la búsqueda y selección de estrategias y herramientas apropiadas, para resolver problemas relacionados con las ciencias experimentales.
 - 4.1 Resolver problemas relacionados con fenómenos y procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos, utilizando el pensamiento científico y el razonamiento

lógico-matemático y buscando estrategias alternativas de resolución cuando sea necesario.

- 4.2 Analizar críticamente la solución de un problema relacionado con fenómenos y procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos, modificando las conclusiones o las estrategias utilizadas si la solución no es viable, o ante nuevos datos aportados.

Saberes: E.3 (mecánica del movimiento y seguridad vial) como eje; E.1 (origen electromagnético del rozamiento, unidad 14) y E.2 (equilibrio en el plano inclinado) como apoyo.

Secuencia de sesiones

La situación ocupa 5 de las 9 sesiones de la unidad 15 y se apoya en lo visto en la unidad 14 (peso, g y la interacción electromagnética).

1. **Lanzamiento y predicciones.** Se presentan los datos de la DGT y el art. 54.1 del Reglamento. Cada estudiante responde por escrito, sin calcular: «si un coche va al doble de velocidad, ¿necesita el doble de distancia para pararse?» y «¿cuántos metros dejarías con el coche de delante a 120 km/h?». Las respuestas se guardan para la última sesión.
2. **Laboratorio I: el coeficiente de rozamiento.** Parte A de la práctica de rozamiento de la unidad 15: ángulo crítico en el plano inclinado, $\mu_e = \tan \theta$ y comprobación de que no depende de la masa.
3. **Laboratorio II: rozamiento dinámico.** Parte B de la práctica: μ_d como pendiente de la gráfica rozamiento-normal. Discusión: por qué el μ del taco de madera no sirve para un neumático, qué valores da la tabla del libro para caucho sobre hormigón seco y mojado y por qué conviene tratarlos como un intervalo.
4. **El modelo de la distancia de detención.** Con el ejemplo resuelto 15.2 como guía, cada grupo construye en una hoja de cálculo la tabla de distancias de reacción, de frenado y de detención para 30, 50, 90 y 120 km/h, con tres tiempos de reacción (0,75 s; 1,25 s; 1,5 s) y la calzada seca o mojada, y la gráfica de la distancia de detención frente a la velocidad. Análisis crítico: comparación con los 145 m de la Norma 3.1-IC a 90 km/h y discusión de por qué el modelo es optimista.
5. **Infografía y exposición.** Cada grupo diseña su infografía y la presenta en una exposición tipo galería. Se recuperan las predicciones de la sesión 1 y cada estudiante escribe qué ha cambiado en su respuesta y por qué.

Producto final

Una **infografía de seguridad vial** (A3 o formato digital) dirigida a quien se está sacando el carné, con:

- una gráfica o esquema de la distancia de detención en función de la velocidad, separando reacción y frenado;
- el efecto de la distracción o el alcohol (tiempo de reacción) y de la lluvia (coeficiente de rozamiento);
- una recomendación justificada de distancia mínima con el vehículo de delante a 90 y a 120 km/h, apoyada en el art. 54.1;
- un anexo con los cálculos, las hipótesis del modelo y sus límites, y las fuentes de cada dato.

Evaluación

Instrumentos

- Rúbrica de la infografía y su anexo de cálculos (abajo).
- Hoja de cálculo entregada, para comprobar el modelo (4.1).
- Informe de la práctica de rozamiento, evaluado con su propia rúbrica.
- Reflexión individual de la sesión 5 (predicción inicial frente a resultado).
- Prueba escrita de la evaluación, con un problema de distancia de detención como los del ejercicio de la unidad 15.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Explicación física (2.3)	No distingue reacción y frenado	Distingue los dos tramos sin justificar su forma	Explica el MRU de la reacción y el MRUA del frenado con $a = \mu g$	Además, explica por qué la frenada crece con v^2 (energía cinética) y el origen del rozamiento
Resolución del problema (4.1)	Errores de unidades (km/h sin pasar a m/s)	Tabla correcta para algunos casos	Tabla completa con unidades y cifras significativas coherentes	Además, usa la gráfica para responder preguntas nuevas (velocidad máxima para pararse en una distancia dada)
Análisis crítico (4.2)	Presenta los resultados como exactos	Menciona alguna limitación del modelo	Compara con la Norma 3.1-IC y explica la diferencia	Además, revisa su recomendación de distancia a la luz de esa comparación
Comunicación de la infografía (2.3, 4.2)	Mensaje confuso o sin datos	Datos correctos, pero poco legibles	Mensaje claro, datos correctos y fuentes citadas	Mensaje claro, preciso y útil para su público, con los límites del modelo explicados

La calificación se integra en el apartado «Prácticas, informes de laboratorio y situaciones de aprendizaje» de la programación.

Atención a la diversidad

- **Andamiaje:** hoja de cálculo con la estructura de la tabla y la fila de 90 km/h en seco resuelta (los valores del ejemplo 15.2); tarjeta con el paso de km/h a m/s y las dos fórmulas.
- **Graduación:** el nivel básico calcula la tabla con un solo tiempo de reacción; el intermedio añade la calzada mojada y la distracción; el de ampliación resuelve el problema inverso (velocidad máxima para detenerse en una distancia dada) o el caso del límite de 30 km/h que analiza el libro.
- **Roles:** cálculo, diseño gráfico y documentación de fuentes, para que cada estudiante aporte desde su perfil.

- **Acceso:** si no hay laboratorio, las sesiones 2 y 3 se hacen con la alternativa virtual de la práctica (simulaciones de PhET de la unidad 15); formatos de infografía en papel o digitales, y tiempos ajustados según el informe del departamento de orientación.
 - **Sensibilidad:** algunas familias han sufrido siniestros de tráfico. Los datos de la DGT se presentan como cifras de salud pública, sin casos individuales ni imágenes de accidentes.
-

¿Preparas la oposición? La programación y las situaciones de aprendizaje se defienden ante el tribunal → oposicionesfyq.es

SOLUCIÓN

1. Modelo: $d = v t_r + v^2 / (2 \mu g)$, con $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Datos de la unidad 15: $t_r = 0,75 \text{ s}$ (señal esperada), $1,25 \text{ s}$ (luces de freno del coche de delante) y $1,5 \text{ s}$ (sorpresa), según Green (2000); $\mu = 0,7$ en seco y $0,5$ en mojado (caucho sobre hormigón, valores dinámicos aproximados de OpenStax, College Physics 2e, tabla 5.1).
2. Distancia de frenado: a 30 km/h ($8,33 \text{ m/s}$), $5,1 \text{ m}$ en seco y $7,1 \text{ m}$ en mojado; a 50 km/h ($13,9 \text{ m/s}$), 14 m y 20 m ; a 90 km/h ($25,0 \text{ m/s}$), 46 m y 64 m ; a 120 km/h ($33,3 \text{ m/s}$), 81 m y 113 m .
3. Distancia de reacción con $t_r = 1,25 \text{ s}$: 10 m a 30 km/h ; 17 m a 50 km/h ; 31 m a 90 km/h ; 42 m a 120 km/h . Con $t_r = 1,5 \text{ s}$: $12,5 \text{ m}$; 21 m ; $37,5 \text{ m}$; 50 m . Con $t_r = 0,75 \text{ s}$: $6,3 \text{ m}$; 10 m ; 19 m ; 25 m .
4. Distancia de detención con $t_r = 1,25 \text{ s}$: en seco, 15 m (30 km/h), 31 m (50 km/h), 77 m (90 km/h) y 123 m (120 km/h); en mojado, 18 m , 37 m , 95 m y 155 m . Con $t_r = 1,5 \text{ s}$ en mojado a 120 km/h : $50 + 113 = 163 \text{ m}$. Con dos coeficientes de una cifra significativa, los resultados se dan con dos cifras como mucho.
5. Análisis esperado: de 90 a 120 km/h (un 33% más de velocidad) la distancia de detención en seco pasa de 77 m a 123 m , un 60% más, y la energía cinética se multiplica por $(120/90)^2 = 1,78$. La distancia de reacción crece en proporción a v y la de frenado con v^2 : a velocidades bajas domina la reacción y a velocidades altas, el frenado. La distracción (2 s mirando el móvil) son 50 m a 90 km/h y 67 m a 120 km/h y el alcohol alargan la reacción, no el frenado.
6. Distancia entre vehículos: si los dos coches frenan con la misma deceleración, el de detrás necesita como mínimo la distancia que recorre durante su tiempo de reacción (31 m a 90 km/h y 42 m a 120 km/h con $1,25 \text{ s}$), porque empieza a frenar más tarde. Es la lectura física del art. 54.1 del Reglamento General de Circulación, que exige un espacio que permita detenerse sin colisionar «teniendo en cuenta especialmente la velocidad y las condiciones de adherencia y frenado». Si el de delante choca contra un obstáculo y se para casi en seco, haría falta la distancia de detención completa.
7. Contraste con la norma de diseño de carreteras (4.2): la Norma 3.1-IC (Orden FOM/273/2016) usa 2 s de percepción y reacción y, a 90 km/h , un coeficiente movilizado de $0,334$; con esos valores, la distancia de parada en llano es $25,0 \times 2 + 625 / (2 \times 9,81 \times 0,334) = 145 \text{ m}$, casi el doble de los 77 m del modelo con conductor atento y máximo agarre. Se valora que el grupo explique que el modelo escolar es un límite optimista y la norma, un criterio prudente.
8. Puente con la práctica y la unidad 14: el μ medido para madera sobre madera ($\mu_e \approx 0,51$; $\mu_d \approx 0,30$) no es el de un neumático, pero el método y la conclusión (el rozamiento fija la deceleración máxima, $a = \mu g$, y no depende de la masa) son los mismos. El rozamiento tiene origen en la interacción electromagnética entre las superficies (unidad 14).

TEST DE AUTOEVALUACIÓN · 15 PREGUNTAS

1. Un coche circula por una autovía recta a 100 km/h constantes. ¿Qué se puede decir de la fuerza neta que actúa sobre él?

- a) Apunta hacia delante, porque el coche se mueve hacia delante.
- b) Es cero, porque su velocidad no cambia.
- c) Apunta hacia atrás, porque el aire lo frena.
- d) Es igual al peso del coche.

2. Las fuerzas de acción y reacción se anulan entre sí porque son iguales y de sentido contrario.

Verdadero ☐ Falso ☐

3. Un libro descansa sobre una mesa. ¿Cuál es la pareja de acción y reacción del peso del libro?

- a) La fuerza normal que la mesa ejerce sobre el libro.
- b) La fuerza que el libro ejerce sobre la mesa.
- c) La fuerza con que el libro atrae a la Tierra.
- d) No tiene pareja, porque el libro está en reposo.

4. Al tomar una curva, un pasajero nota que se «va hacia la puerta». Visto desde la carretera, ¿qué ocurre?

- a) Una fuerza centrífuga lo empuja hacia fuera de la curva.
- b) El pasajero tiende a seguir en línea recta, y la puerta lo empuja hacia el centro de la curva.
- c) El peso del pasajero se inclina hacia fuera.
- d) El rozamiento del asiento lo empuja hacia fuera.

5. Un turismo de 1500 kg acelera a $2,0 \text{ m/s}^2$. ¿Qué fuerza neta actúa sobre él, en newtons?

Respuesta: _____ N

6. Un conductor circula a 108 km/h y tarda 1,5 s en reaccionar ante un obstáculo. ¿Qué distancia recorre, en metros, antes de empezar a frenar?

Respuesta: _____ m

7. Un coche que va a 72 km/h frena con una deceleración constante de $7,0 \text{ m/s}^2$. ¿Cuál es su distancia de frenado, en metros?

Respuesta: _____ m

8. Si un coche duplica su velocidad, y todo lo demás sigue igual, su distancia de frenado...

- a) se duplica.
- b) se cuadruplica.
- c) no cambia, porque los frenos son los mismos.
- d) se reduce a la mitad.

9. En general, el coeficiente de rozamiento estático entre dos superficies es mayor que el dinámico.

Verdadero ☐ Falso ☐

10. Un taco empieza a deslizar por una rampa cuando la inclinación alcanza 27° . Si se le pega encima una masa igual a la suya, empezará a deslizar...

- a) con más inclinación, porque pesa más.
- b) con menos inclinación, porque empuja más hacia abajo.
- c) con la misma inclinación, porque la masa se simplifica.
- d) nunca, porque el rozamiento se duplica.

11. Una lámpara de 10,0 kg cuelga del centro de un cable; cada mitad forma $30,0^\circ$ con la horizontal. ¿Cuál es la tensión de cada mitad, en newtons? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Respuesta: _____ N

12. ¿Qué condiciones debe cumplir una viga para estar en equilibrio estático?

- a) Que no actúe ninguna fuerza sobre ella.
- b) Que la suma de las fuerzas sea cero, aunque gire.
- c) Que la suma de las fuerzas y la suma de los momentos sean cero.
- d) Que su peso sea igual a la suma de las demás fuerzas, sin importar la dirección.

13. ¿Cuál es la velocidad máxima, en m/s, a la que se puede tomar una curva plana de 40,0 m de radio si $\mu = 0,50$? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Respuesta: _____ m/s

14. Según el informe anual de la DGT con datos consolidados de 2024, ¿cuál fue el factor concurrente más frecuente en los siniestros mortales?

- a) La velocidad inadecuada.
- b) El alcohol.
- c) La distracción.
- d) El mal estado de la calzada.

15. La distracción al volante aumenta la distancia de frenado de un vehículo.

Verdadero ☐ Falso ☐

Solucionario

Respuestas correctas de los tests de autoevaluación, con comentario. Edición para profesorado.

UNIDAD 1 · 14 PREGUNTAS

1. b) Solo la segunda predice un resultado medible concreto que podría salir mal: si al duplicar la longitud el período no cambia, la hipótesis queda refutada. Las demás no admiten ningún resultado que las contradiga.

2. c) La independiente es la masa (se cambia a propósito) y la dependiente, el período (se mide). La longitud debe mantenerse constante para que no interfiera: es una variable controlada.

3. Falso Un resultado favorable solo deja la hipótesis en pie de momento; otro experimento podría refutarla. Lo que caracteriza a una hipótesis científica es que pueda refutarse.

4. a) El error es sistemático: todas las medidas se desplazan igual, así que pueden estar muy juntas entre sí (precisas) y lejos del valor verdadero (poco exactas). Repetir no lo corrige; hay que calibrar.

5. Verdadero La revisión del SI aprobada en noviembre de 2018 y en vigor desde el 20 de mayo de 2019 fija $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s. El kilogramo ya no depende del prototipo guardado en Sèvres.

6. b) Los ceros de la izquierda solo sitúan la coma y no cuentan. El cero final, detrás de la coma, sí: indica que se midió hasta esa posición. Quedan 4, 5 y 0.

7. b) La incertidumbre se redondea a una cifra significativa (dos si empieza por 1) y el valor se redondea a la misma posición decimal; valor e incertidumbre van entre paréntesis con la unidad común.

8. 2,46 cm $\text{Media} = (2,45 + 2,48 + 2,44 + 2,47) / 4 = 9,84 / 4 = 2,46 \text{ cm}.$

9. 25 m/s $90 \text{ km/h} \times (1000 \text{ m} / 1 \text{ km}) \times (1 \text{ h} / 3600 \text{ s}) = 90\,000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 25 \text{ m/s}.$

10. 0,4 % $\text{Incertidumbre relativa} = 0,2 \text{ cm} / 50,0 \text{ cm} = 0,004 = 0,4 \text{ \%}.$ Es adimensional: las unidades se cancelan.

11. 1,56 s $T = 15,6 \text{ s} / 10 = 1,56 \text{ s}.$ Medir diez oscilaciones divide también por diez la incertidumbre del período.

12. 2700 kg/m³ $\rho = 27,0 \text{ g} / 10,0 \text{ cm}^3 = 2,70 \text{ g/cm}^3.$ Como $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho = 2,70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, con tres cifras significativas como los datos.

13. c) La difusión y la popularidad no dicen nada sobre la calidad de los datos. Lo decisivo es poder llegar a la fuente original, saber quién la firma, cuándo y con qué datos, y comprobar si otras fuentes independientes coinciden.

14. Verdadero Según el CERN, el resultado original se atribuyó a un elemento defectuoso del sistema de fibra óptica, y en junio de 2012 cuatro experimentos de Gran Sasso midieron tiempos compatibles con la velocidad de la luz.

UNIDAD 2 · 14 PREGUNTAS

- 1. b)** Las partículas de una sustancia son las mismas en estado líquido y gaseoso. En el gas están muy separadas y casi todo el volumen es vacío, que se puede reducir; en el líquido ya están en contacto.
- 2. Falso** Fundirse es una propiedad del conjunto. Las moléculas de agua siguen siendo las mismas: lo que cambia es que dejan de ocupar posiciones fijas y pasan a desplazarse unas sobre otras.
- 3. c)** El aire es también un gas formado por partículas, así que no puede estar «entre» ellas. Según el modelo, entre las partículas hay vacío.
- 4. b)** Durante el cambio de estado se forma una meseta: la energía cedida procede de que las partículas pasan a posiciones fijas con atracciones más intensas, no de una disminución de su agitación media, que es lo que mide la temperatura.
- 5. Falso** La temperatura es una propiedad de un cuerpo y mide la agitación media de sus partículas. El calor es energía que se transfiere entre cuerpos a distinta temperatura.
- 6. c)** Contiene agua y sales disueltas en proporción variable (es una mezcla), y una vez filtrada su composición es la misma en cualquier punto (homogénea).
- 7. b)** El agua es un compuesto: H y O unidos en proporción fija, con propiedades propias (no arde). Para obtener sus elementos hace falta una reacción química, no un método físico.
- 8. Falso** Fundir es el cambio de estado de una sola sustancia por calentamiento. Al disolverse, las moléculas de azúcar se separan y se dispersan entre las del agua formando una mezcla homogénea.
- 9. c)** La sal disuelta atraviesa el filtro y no sedimenta. Se separa aprovechando que el agua es volátil y la sal no: al evaporar el agua, la sal cristaliza.
- 10. 300,15 K** $T = t + 273,15 = 27,0 + 273,15 = 300,15 \text{ K}$ (300,2 K con la última cifra decimal de los datos).
- 11. 400 kPa** Ley de Boyle: $p_2 = p_1 V_1 / V_2 = 100 \text{ kPa} \times 2,0 \text{ L} / 0,50 \text{ L} = 400 \text{ kPa}$ ($4,0 \times 10^2 \text{ kPa}$). El volumen se reduce a la cuarta parte y la presión se multiplica por cuatro.
- 12. 99800 Pa** $p = nRT / V = 2,00 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \text{ K} / 0,0500 \text{ m}^3 = 9,98 \times 10^4 \text{ Pa}$. Unidades: $\text{J/m}^3 = \text{Pa}$. Es casi exactamente la presión atmosférica.
- 13. 330700 Pa** Ley de Gay-Lussac con temperaturas absolutas: $p_2 = 3,0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 323,15 \text{ K} / 293,15 \text{ K} = 3,3 \times 10^5 \text{ Pa}$. Usar 50/20 en grados Celsius daría un resultado absurdo de $7,5 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- 14. 60 g/L** $c = 15 \text{ g} / 0,250 \text{ L} = 60 \text{ g/L}$. El volumen se pasa a litros antes de dividir.

UNIDAD 3 · 16 PREGUNTAS

1. b) El modelo actual no asigna trayectorias a los electrones. Las órbitas eran propias de modelos anteriores, como el de Bohr; un orbital describe dónde es probable encontrar al electrón.

2. c) Los isótopos tienen el mismo número atómico (los mismos protones), así que son el mismo elemento y se comportan igual químicamente. Difieren en los neutrones y, por tanto, en el número másico y en la masa.

3. 30 neutrones $N = A - Z = 56 - 26 = 30$.

4. 10 electrones El átomo neutro tiene 13 electrones; el ion con carga $3+$ ha perdido 3, así que le quedan $13 - 3 = 10$. Los protones (13) y los neutrones (14) no cambian.

5. 107,868 u $A_r = 0,518\,39 \times 106,905\,09 + 0,481\,61 \times 108,904\,756 = 55,418\,53 + 52,449\,62 = 107,868\,1$, que coincide con el valor estándar de la CIAAW, 107,8682(2), dentro de su incertidumbre.

6. Falso Es la media de las masas de todos sus isótopos, ponderada por la abundancia de cada uno. Por eso el cloro tiene 35,45 y no 35 ni 37.

7. d) El radio aumenta al bajar en un grupo y disminuye al avanzar en un periodo. El K está en el periodo 4 y en el grupo 1, así que es el mayor de los cuatro.

8. Falso Es una red de iones Na^+ y Cl^- en la que cada ion está rodeado de seis de signo contrario. La fórmula NaCl indica la proporción 1:1 (la unidad fórmula), no una molécula.

9. Falso Es una regla práctica, útil sobre todo con C, N, O y los halógenos, con excepciones conocidas: el BF_3 (el boro queda con seis electrones), el SF_6 (el azufre comparte doce) o el NO (número impar de electrones).

10. c) Conducir en estado sólido exige cargas móviles en el propio sólido: los electrones libres de un metal. Un compuesto iónico solo conduce fundido o disuelto, y una sustancia molecular no conduce.

11. Falso Al hervir, las moléculas de H_2O se separan unas de otras pero siguen intactas: se vencen los enlaces de hidrógeno entre moléculas, que son mucho más débiles que los enlaces covalentes O–H.

12. b) Cada base de una cadena forma enlaces de hidrógeno con una base de la otra, como propusieron Watson y Crick en 1953. Dentro de cada cadena, los átomos están unidos por enlaces covalentes.

13. c) El hierro tiene número de oxidación $+3$ ($2 \times 3 = 6 = 3 \times 2$). Son correctos óxido de hierro(III) y trióxido de dihierro. «Óxido férrico» ya no es un nombre aceptado, y «trioxido de hierro» no indica que hay dos átomos de hierro.

14. b) En el orden de elementos de la IUPAC de 2005, el oxígeno va delante de los halógenos, así que se escribe primero: OCl_2 . La fórmula Cl_2O corresponde a las recomendaciones anteriores.

15. c) El ion hidróxido es OH^- y el hierro(III) aporta $+3$: hacen falta tres grupos OH, que van entre paréntesis porque el subíndice afecta a todo el grupo. Fe_2O_3 es el óxido, no el hidróxido.

16. 110,98 g/mol $M = 40,078 + 2 \times 35,45 = 110,978 \text{ g/mol} \approx 110,98 \text{ g/mol}$.

UNIDAD 4 · 16 PREGUNTAS

- 1. b)** En la oxidación del hierro se forma una sustancia nueva, el óxido. En los otros tres casos las sustancias siguen siendo las mismas, aunque cambien de estado o se dispersen; que se desprenda un gas no basta para hablar de reacción.
- 2. Falso** La ley se cumple: el producto incorpora el oxígeno del aire ($2 \text{ Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ MgO}$). La masa de magnesio más la del oxígeno consumido es igual a la del óxido.
- 3. c)** En un sistema cerrado la masa se conserva. Solo al abrir la botella y dejar escapar el CO_2 disminuye la masa de lo que queda; el gas tiene masa, y por eso su salida se nota en la balanza.
- 4. b)** Se ajusta cambiando coeficientes. Cambiar subíndices cambia las sustancias: H_2O_2 es peróxido de hidrógeno y H_4 no existe; además, el oxígeno del aire es O_2 , no O .
- 5. b)** $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 4 \text{ H}_2\text{O}$. Comprobación: C, $3 = 3$; H, $8 = 8$; O, $10 = 6 + 4$.
- 6. Falso** Los coeficientes son proporciones entre cantidades de sustancia (moles o moléculas), no entre masas: 1 mol de N_2 (28,014 g) reacciona con 3 mol de H_2 (6,048 g).
- 7. 44,009 g/mol** $M(\text{CO}_2) = 12,011 + 2 \times 15,999 = 44,009 \text{ g/mol}$.
- 8. $1,506 \times 10^{23}$ moléculas** $N = n \cdot N_A = 0,250 \text{ mol} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,51 \times 10^{23} \text{ moléculas}$.
- 9. 87,78 g** $n(\text{CH}_4) = 32,0 \text{ g} / 16,043 \text{ g/mol} = 1,995 \text{ mol}$. Por la ecuación, $n(\text{CO}_2) = 1,995 \text{ mol}$; $m = 1,995 \text{ mol} \times 44,009 \text{ g/mol} = 87,8 \text{ g}$. Se forma casi el triple de masa de CO_2 que de metano, porque el CO_2 incorpora oxígeno del aire.
- 10. b)** Hay que comparar con la proporción de la ecuación, no solo los moles. Para consumir 2,0 mol de N_2 hacen falta $3 \times 2,0 = 6,0 \text{ mol}$ de H_2 , y solo hay 5,0: se acaba antes el H_2 , aunque haya más moles de él.
- 11. 3,33 mol** $n(\text{NH}_3) = (2/3) \times 5,0 \text{ mol} = 3,3 \text{ mol}$. La proporción entre NH_3 y H_2 es 2:3.
- 12. 93 %** Rendimiento = $0,950 \text{ g} / 1,021 \text{ g} \times 100 = 93,0 \%$.
- 13. c)** No se puede obtener más producto del que permiten los átomos del reactivo limitante. Un rendimiento mayor del 100 % obliga a revisar el procedimiento: secar hasta masa constante, lavar mejor el sólido o repetir las pesadas.
- 14. 22,71 L** $V = nRT/p = 1,00 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 273,15 \text{ K} / 100\,000 \text{ Pa} = 0,02271 \text{ m}^3 = 22,7 \text{ L}$. El volumen molar depende de p y T , por eso se calcula en cada caso.
- 15. Falso** El catalizador acelera la reacción sin consumirse: se regenera. Es el caso del hierro en la síntesis del amoníaco y del cloro en la destrucción del ozono ($\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$; $\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$).
- 16. b)** Molina y Rowland publicaron en Nature (1974) que los CFC liberarían cloro en la estratosfera y que este destruiría ozono actuando como catalizador. Su trabajo llevó al Protocolo de Montreal y les valió el Nobel de Química de 1995, compartido con Paul Crutzen.

UNIDAD 5 · 14 PREGUNTAS

1. b) $E_c = \frac{1}{2} m v^2$. Si v se multiplica por 2, v^2 se multiplica por 4, y también la energía cinética. Por eso la distancia de frenado crece tanto con la velocidad.

2. 9 J $E_c = \frac{1}{2} \times 2,0 \text{ kg} \times (3,0 \text{ m/s})^2 = 9,0 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 9,0 \text{ J}$.

3. 9,9 m/s Conservación de la energía mecánica: $m g h = \frac{1}{2} m v^2$, así que $v = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m s}^{-2} \times 5,0 \text{ m}} = 9,9 \text{ m/s}$. La masa se simplifica: el resultado es el mismo para cualquier objeto.

4. Falso La energía mecánica disminuye, pero la energía total se conserva: la parte que falta se ha convertido en energía interna del objeto, de la rampa y del aire, que se calientan ligeramente.

5. Verdadero El trabajo exige que la fuerza desplace su punto de aplicación ($W = F d \cos \alpha$). La maleta no se desplaza, así que el trabajo sobre ella es nulo. El cansancio se debe a la energía química que consumen los músculos para mantenerse contraídos.

6. b) El sentido del calor lo decide la temperatura, no la energía interna. La bañera tiene más energía interna (muchas más partículas), pero el calor va del café, más caliente, al agua de la bañera. La temperatura no se «cede»: lo que se transfiere es energía.

7. b) Las dos transferencias son entradas de energía en el sistema, así que $Q = +300 \text{ J}$ y $W = +100 \text{ J}$: $\Delta U = 300 \text{ J} + 100 \text{ J} = +400 \text{ J}$.

8. 41,8 kJ $Q = m c \Delta T = 0,500 \text{ kg} \times 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 20,0 \text{ K} = 4,18 \times 10^4 \text{ J} = 41,8 \text{ kJ}$.

9. Falso Ninguna máquina que funcione por ciclos puede convertir íntegramente el calor en trabajo: siempre cede una parte a un foco frío. Incluso una máquina ideal está limitada por $\eta_{\text{máx}} = 1 - T_{\text{frío}} / T_{\text{caliente}}$.

10. b) La energía consumida es $E = P t = 2,5 \text{ kW} \times 2 \text{ h} = 5,0 \text{ kWh}$. El kW mide potencia (rapidez con que se consume energía) y el kWh mide energía; «kW por hora» no tiene sentido.

11. 3,6 MJ $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$.

12. 70 % $\eta = E_{\text{útil}} / E_{\text{consumida}} = 350 \text{ J} / 500 \text{ J} = 0,70 = 70 \%$. Los 150 J restantes se transforman en energía interna (el motor se calienta).

13. Falso La potencia indica lo deprisa que consume energía, no qué fracción de esa energía llega al agua. Para comparar rendimientos hay que medir la energía útil y la consumida.

14. c) La generación renovable fue de 148 999 GWh, el 56,8 % del total (Red Eléctrica, informes del sistema eléctrico español 2024, presentados el 18 de marzo de 2025). La eólica fue la primera tecnología, con el 23,2 % de la generación.

UNIDAD 6 · 15 PREGUNTAS

- 1. d)** El sentido común de giro de los planetas es una prueba de que el sistema solar se formó a partir de un disco en rotación (hipótesis nebular), no del Big Bang. Las otras tres son la expansión, la radiación cósmica de fondo y la abundancia de los elementos ligeros.
- 2. Falso** Describe la expansión del propio espacio a partir de un estado muy denso y caliente, que ocurrió en todas partes a la vez. No hay un centro desde el que todo se aleje.
- 3. b)** $13\,787 \pm 20$ millones de años, unos 13 800 millones. 4567 millones de años es la edad de los materiales más antiguos del sistema solar (inclusiones de meteoritos datadas por Connelly et al., 2012).
- 4. b)** Más allá de la línea de la nieve se condensaban también hielos; había más material sólido, los núcleos crecieron más y pudieron atraer gas. Cerca del Sol solo podían condensarse metales y silicatos.
- 5. 29,47 años** $T = a^3/(3/2) = 9,54^{1,5} = 29,5$ años. La NASA da 10 747 días, es decir, 29,4 años: la ley funciona para todos los planetas porque todos giran alrededor del mismo cuerpo central.
- 6. 27,45 días** $a^3/GM = 5,680 \times 10^{25} \text{ m}^3 / 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} = 1,425 \times 10^{11} \text{ s}^2$; $T = 2\pi \times 3,775 \times 10^5 \text{ s} = 2,372 \times 10^6 \text{ s} = 27,45$ días. El valor medido es 27,32 días; la diferencia se debe sobre todo a haber despreciado la masa de la Luna.
- 7. Verdadero** Por la tercera ley, T^2 es proporcional a r^3 : la Estación Espacial, a unos 420 km, tarda unos 93 minutos; un satélite geoestacionario, a 35 786 km, un día sidéreo.
- 8. 27,09°** $h = 90^\circ - 39,47^\circ - 23,44^\circ = 27,09^\circ$. En el solsticio de junio, $h = 73,97^\circ$. La energía por metro cuadrado de suelo, proporcional a $\sin h$, es en junio 2,11 veces la de diciembre.
- 9. b)** La Tierra está más cerca del Sol en enero (perihelio) que en julio (afelio), y el efecto de la distancia es de solo un 7 %. Además, las estaciones son opuestas en los dos hemisferios, lo que la distancia no puede explicar. El eje no se balancea: apunta siempre en la misma dirección.
- 10. 50,51°** $h = \arctan(1,000/0,824) = 50,51^\circ$. Si es un equinoccio ($\delta \approx 0^\circ$), la latitud es $\varphi = 90^\circ - 50,51^\circ = 39,49^\circ$, la de Valencia.
- 11. Falso** La Luna tiene siempre iluminada la mitad que mira al Sol; las fases dependen de qué parte de esa mitad se ve desde la Tierra. La sombra de la Tierra solo cae sobre la Luna en los eclipses de Luna, que ocurren en luna llena.
- 12. b)** Por la inclinación de $5,145^\circ$ (NASA), la luna nueva suele pasar por encima o por debajo del Sol. Solo hay eclipse cuando la luna nueva coincide con un nodo de la órbita.
- 13. 29,53 días** $1/T_{\text{sin}} = 0,036\,601 - 0,002\,738 = 0,033\,863 \text{ día}^{-1}$, así que $T_{\text{sin}} = 29,53$ días. Es el tiempo entre dos lunas llenas, más largo que el mes sidéreo porque la Tierra avanza en su órbita mientras tanto.
- 14. Falso** Plutón es casi esférico y orbita al Sol. Según la definición de la IAU de 2006 no es planeta porque no ha limpiado de otros cuerpos las proximidades de su órbita; pasó a ser planeta enano.
- 15. b)** En 1912 Leavitt mostró que en las cefeidas de la Pequeña Nube de Magallanes el período crece con el brillo. Esa relación convirtió a las cefeidas en indicadores de distancia, imprescindibles para la ley de Hubble-Lemaître.

UNIDAD 14 · 15 PREGUNTAS

1. b) Las cuatro interacciones fundamentales son la gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil. El rozamiento es una fuerza de contacto cuyo origen microscópico es electromagnético: atracciones y repulsiones entre las partículas cargadas de las dos superficies.

2. c) La interacción fuerte es atractiva y supera a la repulsión eléctrica a distancias del orden de 10^{-15} m. La gravitatoria es unas 10^{36} veces más débil que la eléctrica entre dos protones, y los neutrones no tienen carga.

3. Verdadero La gravedad siempre atrae y sus efectos se suman, mientras que la materia es casi exactamente neutra y las fuerzas eléctricas se cancelan a gran escala. Las nucleares tienen un alcance muy corto. Por eso, a escala astronómica, solo queda la gravedad.

4. $1,67 \times 10^{-5}$ N $F = G m_1 m_2 / r^2 = 6,674 \times 10^{-11} \times 1000 \times 1000 / (2,00)^2 \text{ N} = 6,674 \times 10^{-5} / 4,00 \text{ N} = 1,67 \times 10^{-5} \text{ N}$. Aun con una tonelada cada una, la fuerza es minúscula: equivale al peso de unos 1,7 mg.

5. b) La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: $1/3^2 = 1/9$. Lo mismo ocurre con la fuerza eléctrica de Coulomb.

6. 97,2 N $P = m g = 60,0 \text{ kg} \times 1,62 \text{ m/s}^2 = 97,2 \text{ N}$. Su masa sigue siendo 60,0 kg; en la Tierra pesaría $60,0 \times 9,81 = 589 \text{ N}$, unas seis veces más.

7. Falso La masa es la cantidad de materia y no depende del lugar. Lo que disminuye es el peso, la fuerza con que el astro lo atrae: $P = m g$, y g es unas seis veces menor en la Luna.

8. $3,73 \text{ m/s}^2$ $g = 4,2828 \times 10^{13} / (3,3895 \times 10^6)^2 \text{ m/s}^2 = 4,2828 \times 10^{13} / 1,1489 \times 10^{13} \text{ m/s}^2 = 3,73 \text{ m/s}^2$, el valor de la NASA. Unidades: $(\text{m}^3 \text{ s}^{-2}) / \text{m}^2 = \text{m s}^{-2}$.

9. Falso A esa altura, $g = 8,64 \text{ m/s}^2$, un 88 % del valor en la superficie. Flotan porque ellos y la estación están en órbita, cayendo juntos alrededor de la Tierra.

10. 2 N $F = k q_1 q_2 / r^2 = 8,99 \times 10^9 \times 4,0 \times 10^{-6} \times 5,0 \times 10^{-6} / (0,30)^2 \text{ N} = 0,1798 / 0,090 \text{ N} = 2,0 \text{ N}$. Como las dos cargas son positivas, la fuerza es de repulsión.

11. b) Es la polarización: el papel sigue siendo neutro en conjunto, pero sus cargas se redistribuyen. Como la fuerza disminuye con la distancia, gana la atracción sobre las cargas más cercanas. La atracción gravitatoria entre el globo y el papel es al menos diez mil millones de veces menor.

12. -37 $F_g/F_e = 1,867 \times 10^{-64} / 2,307 \times 10^{-28} = 8,09 \times 10^{-37}$, así que $n = -37$. Dicho de otro modo, la fuerza eléctrica es unas $1,24 \times 10^{36}$ veces mayor que la gravitatoria. El cociente no depende de la distancia, porque las dos fuerzas varían con $1/r^2$.

13. b) El efecto de marea es proporcional a M/d^3 . Con los datos de la NASA, el de la Luna es unas 2,2 veces el del Sol: el factor de distancia al cubo compensa la masa mucho menor de la Luna.

14. a) La interacción débil es la única que puede cambiar un tipo de quark en otro y, con ello, un neutrón en un protón y un elemento químico en otro. Interviene también en el primer paso de la fusión del hidrógeno en el Sol.

15. Verdadero La Tierra emite unos 44 TW de calor interno; las desintegraciones de uranio, torio y potasio aportan aproximadamente la mitad, y el resto es calor de la formación del planeta. Ese calor alimenta el movimiento del manto y la tectónica de placas.

UNIDAD 15 · 15 PREGUNTAS

1. b) Por la primera ley, si la velocidad (módulo y dirección) es constante, la fuerza neta es cero. El motor empuja, a través del suelo, lo justo para compensar el rozamiento con el aire y la rodadura. Pensar que hace falta una fuerza neta hacia delante para mantener el movimiento es la idea previa errónea más común.

2. Falso Son iguales y opuestas, pero actúan sobre cuerpos distintos, así que no se suman sobre el mismo cuerpo y no se pueden anular. Para saber si un cuerpo se acelera se suman solo las fuerzas que actúan sobre él.

3. c) El peso es la atracción de la Tierra sobre el libro; su pareja es la atracción del libro sobre la Tierra. La normal también vale lo mismo que el peso en este caso, pero actúa sobre el mismo cuerpo (el libro) y se compensan por la primera ley, no por la tercera.

4. b) Por inercia, el pasajero tiende a seguir recto; el coche gira y la puerta acaba empujándolo hacia dentro, aportando la fuerza centrípeta. Ningún cuerpo ejerce una «fuerza centrífuga»: solo aparece como fuerza ficticia si se describe el movimiento desde el coche, que es un sistema que gira.

5. 3000 N $F = m a = 1500 \text{ kg} \times 2,0 \text{ m/s}^2 = 3,0 \times 10^3 \text{ N}$. Es la fuerza neta: la que hace el suelo sobre las ruedas motrices menos los rozamientos que se oponen al movimiento.

6. 45 m $v = 108 / 3,6 = 30 \text{ m/s}$. Durante el tiempo de reacción el movimiento es uniforme: $d_r = v t_r = 30 \text{ m/s} \times 1,5 \text{ s} = 45 \text{ m}$.

7. 28,6 m $v_0 = 72 / 3,6 = 20 \text{ m/s}$. Con $v^2 = v_0^2 - 2 a d$ y $v = 0$: $d = v_0^2 / (2 a) = 400 / 14 \text{ m} = 28,6 \text{ m}$ (29 m con dos cifras significativas).

8. b) $d_f = v^2 / (2 a)$: depende del cuadrado de la velocidad, así que a doble velocidad, cuádruple distancia de frenado. La distancia de reacción, en cambio, solo se duplica. Es la misma dependencia que la de la energía cinética.

9. Verdadero Por eso cuesta más arrancar un mueble que mantenerlo en movimiento. Por ejemplo, para madera sobre madera se dan valores aproximados de 0,5 (estático) y 0,3 (dinámico) (OpenStax, College Physics 2e, tabla 5.1).

10. c) En el límite, $m g \sin \theta = \mu_e m g \cos \theta$, y la masa se simplifica: $\tan \theta = \mu_e$. Al duplicar la masa se duplican tanto la componente del peso a lo largo de la rampa como el rozamiento máximo.

11. 98,1 N Equilibrio en el eje vertical: $2 T \sin 30,0^\circ = m g \rightarrow T = 98,1 \text{ N} / (2 \times 0,500) = 98,1 \text{ N}$. Cada mitad soporta tanto como el peso total, porque con 30° solo la mitad de su tensión es vertical.

12. c) Un cuerpo extenso necesita $\Sigma F = 0$ para no trasladarse con aceleración y $\Sigma M = 0$ para no empezar a girar. En equilibrio actúan fuerzas, a veces muy grandes; lo que es nulo es su suma.

13. 14 m/s El rozamiento aporta la fuerza centrípeta: $\mu m g = m v^2 / r \rightarrow v = \sqrt{(\mu g r)} = \sqrt{(0,50 \times 9,81 \times 40,0)} \text{ m/s} = 14,0 \text{ m/s}$, unos 50 km/h. La masa del vehículo se simplifica.

14. c) La distracción apareció en el 30 % de los siniestros mortales, seguida del alcohol (28 %, en los siniestros con prueba a todos los conductores) y la velocidad inadecuada (22 %), con Cataluña y el País Vasco excluidos. En física, la distracción alarga el tiempo de reacción y, con él, la distancia que se recorre sin frenar.

15. Falso Aumenta la distancia de reacción, que es el tramo recorrido a velocidad constante antes de pisar el freno. La distancia de frenado depende de la velocidad y de la deceleración (neumáticos, calzada, frenos), no de la atención del conductor. Las dos se suman en la distancia de detención.