Física cuántica: fotoeléctrico, De Broglie, incertidumbre

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en **farmeandopau.com** ›

Última revisión: 1 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

La luz y la materia tienen **doble cara**. La luz llega en **fotones** de energía $E = hf$ (Planck, 1900; Einstein, 1905), y por eso el **efecto fotoeléctrico** es un balance: $hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$, con $E_{c,\text{máx}} = eV_0$. Las partículas tienen una onda asociada, $\lambda = h/p$ (**De Broglie**), y posición y momento no se conocen a la vez con precisión ilimitada (**Heisenberg**). Sale en **56 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades: el fotoeléctrico en 42, De Broglie en 27 y la incertidumbre en 2.

1 Por qué hizo falta la física cuántica: cuerpo negro e hipótesis de Planck

A finales del siglo XIX la física clásica (Newton y Maxwell) explicaba casi todo. Fallaba en tres fenómenos en los que la luz y la materia intercambian energía: la **radiación del cuerpo negro**, el **efecto fotoeléctrico** y los **espectros atómicos** de rayas. Los tres se arreglan con la misma idea: la energía se intercambia en paquetes, los **cuantos**.

- **Cuerpo negro:** un cuerpo ideal que absorbe toda la radiación que le llega. Cuando está caliente emite un espectro que **solo depende de su temperatura**, no del material. El agujero pequeño de un horno cerrado se comporta casi como uno: la radiación que entra por él ya no sale. Al calentarlo emite más y su color pasa del rojo oscuro al blanco azulado.
- **Ley de Wien** (del desplazamiento): el máximo de emisión se desplaza hacia longitudes de onda más cortas al subir la temperatura: $\lambda_{\text{máx}}\, T = b$, con $b = 2{,}898 \cdot 10^{-3}\ \text{m·K}$. El Sol (unos 5772 K en su superficie) tiene el máximo hacia $502\ \text{nm}$, en el visible; tu cuerpo (310 K), hacia $9{,}35\ \mu\text{m}$, en el infrarrojo: es lo que ven las cámaras térmicas.
- **Ley de Stefan-Boltzmann:** la potencia emitida por unidad de superficie crece con la cuarta potencia de la temperatura absoluta: $P/S = \sigma T^4$, con $\sigma = 5{,}670 \cdot 10^{-8}\ \text{W}/(\text{m}^2\text{·K}^4)$. Si T se duplica, emite $2^4 = 16$ veces más.
- **La catástrofe del ultravioleta:** la teoría clásica (Rayleigh y Jeans) predecía que la energía emitida crecía sin límite al bajar la longitud de onda, hacia el ultravioleta. El experimento dice otra cosa: la curva tiene un máximo y luego cae.
- **Hipótesis de Planck (1900):** la energía de los osciladores de las paredes solo puede valer múltiplos enteros de un **cuanto** hf, $E = n\,hf$ ($n = 1, 2, 3\ldots$), así que emiten o absorben energía en paquetes de hf. Con esa hipótesis su fórmula reproduce la curva experimental. h es la **constante de Planck**: $h = 6{,}626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\ \text{J·s}$, **exacta** desde la revisión del SI de 2019 (en los exámenes, $6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J·s}$).
- **El electronvoltio (eV):** la energía que gana un electrón al acelerarse con una diferencia de potencial de 1 V. $1\ \text{eV} = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$ (también exacto; en los exámenes, $1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$). De julios a eV, **divide entre** e; de eV a julios, multiplica.

Cuerpo negro: qué dice cada comunidad

Cataluña (Orientacions PAU 2027): «No es demanarà: […] La radiació del cos negre» [no se pedirá la radiación del cuerpo negro]. **Extremadura** (Aspectos curriculares orientativos, Bloque D, curso 2025-26; pendiente de confirmar para 2027) incluye «Radiación del cuerpo negro. Ley de Stefan-Boltzmann. Ley de desplazamiento de Wien», pero aclara: «No se incluyen problemas de estas dos leyes». Lo citan expresamente **Castilla y León** (Decreto 40/2022: «La catástrofe del ultravioleta en la radiación emitida por un cuerpo negro»), **Cantabria** (concreción 45), **Comunitat Valenciana** (orientación 2026-27), **Madrid** (Decreto 64/2022), **Andalucía** (orientaciones 2026-27) y **Aragón** (orientaciones del currículo); **Illes Balears** añade la «Hipòtesi de De Broglie i de Planck» (Decret 43/2025). No ha caído en ninguna comunidad en 2025–2026.

2 El fotón: energía, frecuencia y longitud de onda

Einstein (1905) fue más lejos que Planck: la luz no solo se emite en paquetes, también **viaja** en paquetes. Cada uno es un **fotón** (Einstein los llamó «cuantos de luz»; el nombre de fotón llegó después): no tiene masa, se mueve a c y lleva una energía fija que depende de su frecuencia.

- $$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

  Más frecuencia (menos longitud de onda) significa fotones **más energéticos**. Un fotón violeta (400 nm) lleva $4{,}97 \cdot 10^{-19}$ J, es decir, 3,10 eV; uno rojo (700 nm), 1,77 eV.
- **Truco para comprobar:** $hc = 1240\ \text{eV}\cdot\text{nm}$ (con más cifras, $1239{,}84$), así que $E(\text{eV}) \approx 1240/\lambda(\text{nm})$. En el examen trabaja con los datos que te dan (h, c, e) y escribe la ecuación; el truco es para detectar errores.
- **Intensidad y número de fotones:** la intensidad de un haz (potencia por unidad de superficie) es el número de fotones que llegan por segundo y por unidad de superficie multiplicado por la energía de cada uno, hf. Con la **misma frecuencia**, subir la intensidad es mandar **más** fotones, no fotones más energéticos. Con una potencia P llegan $N/t = P/(hf)$ fotones por segundo.
- **Momento del fotón:** aunque no tiene masa, el fotón tiene momento lineal, $p = h/\lambda = E/c$. Es la base del efecto Compton (rayos X que chocan con electrones y salen con más longitud de onda, como en un choque de partículas). **Cataluña** lo excluye («No es demanarà: […] L'efecte Compton») y **Aragón** lo cita en las orientaciones de su currículo; no ha caído en 2025–2026.
- La luz como onda está en el Tema 15 (espectro electromagnético y refracción) y en el Tema 13 (interferencia). Aquí importa su cara de partícula.

Radiación	λ típica	Energía de un fotón	Qué puede hacer
Microondas (horno)	12 cm	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$ eV	Agitar moléculas de agua
Infrarrojo	10 µm	0,124 eV	Calentar (vibraciones)
Rojo	700 nm	1,77 eV	Visión; no llega al umbral del cesio (1,94 eV)
Violeta	400 nm	3,10 eV	Arrancar electrones de los alcalinos
Ultravioleta C	250 nm	4,96 eV	Romper enlaces; fotoeléctrico en casi todos los metales
Rayos X	0,15 nm	8,27 keV	Ionizar; difractarse en cristales (sincrotrón)
Rayos gamma	1 pm	1,24 MeV	Ionizar en profundidad

Calculado con $hc = 1239{,}84$ eV·nm (CODATA 2018). Los fotones de unos pocos eV (ultravioleta) ya pueden romper enlaces químicos, y los de más de unos 10 eV (ultravioleta lejano, rayos X y gamma) ionizan átomos: por eso el ultravioleta quema la piel y las ondas de radio no, por intensas que sean.

ENERGÍA DE LOS FOTONES DE UN LED (GALICIA 2026)

Galicia 2026 (ordinaria), Pregunta 4.1 (1 punto). «Indique y justifique la respuesta correcta. La longitud de onda en el vacío de la luz emitida por un LED azul es 450 nm. ¿Cuál es la energía de sus fotones? a) 1,24 eV b) 2,76 eV c) 4,50 eV d) 450 eV». Datos de la pregunta: $c = 3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J.

Respuesta modelo

Es la **b)**. $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^{-9}} = 4{,}42 \cdot 10^{-19}$ J, y en eV: $\dfrac{4{,}42 \cdot 10^{-19}}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 2{,}76\ \text{eV}$. Comprobación rápida: todo el visible está entre 1,6 y 3,3 eV, así que solo b) es posible.

Por qué puntúa. En una pregunta de opciones lo que puntúa es la justificación: escribe la ecuación y el cálculo. La solución oficial da 2,76 eV.

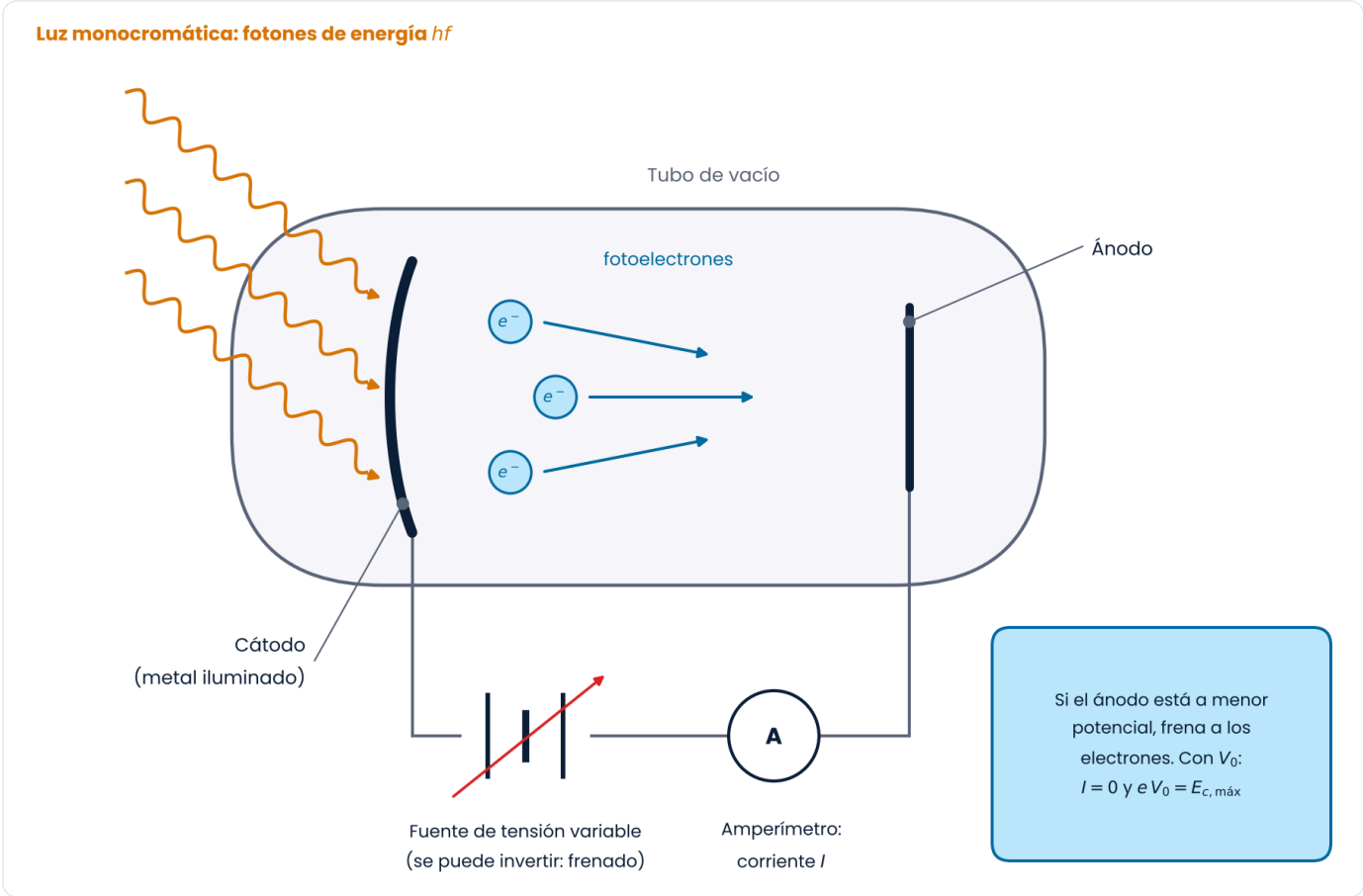
Antes de sustituir

λ en **metros** ($1\ \text{nm} = 10^{-9}$ m) y energías en **julios**. Si el enunciado pide eV, convierte al final dividiendo entre e.

3 El efecto fotoeléctrico: qué se observa

Si iluminas un metal con luz de frecuencia suficiente, **arranca electrones** de su superficie: son los **fotoelectrones**. Lo observó Heinrich Hertz en 1887 y Philipp Lenard lo estudió a fondo entre 1899 y 1902. Se mide con una **célula fotoeléctrica**: un tubo de vacío con un cátodo (el metal iluminado) y un ánodo que recoge los electrones.

- **El montaje:** una fuente crea una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, y un amperímetro mide la **corriente fotoeléctrica**. Si el ánodo está a más potencial, atrae a todos los electrones emitidos y la corriente llega a un tope: la **corriente de saturación**.
- **Potencial de frenado V_0** (o de corte): si inviertes la polaridad, el ánodo repele a los electrones. Al subir esa tensión inversa solo llegan los más rápidos, y con V_0 ya no llega ninguno: la corriente se anula. Por eso V_0 mide la energía cinética **máxima**: $E_{c,\text{máx}} = e\,V_0$.
- **Hecho 1. Hay una frecuencia umbral f_0**, propia de cada metal: por debajo no sale ningún electrón, por intensa que sea la luz.
- **Hecho 2. La $E_{c,\text{máx}}$ depende de la frecuencia, no de la intensidad:** con más intensidad sale **más corriente** (más electrones por segundo), pero V_0 no cambia. Con más frecuencia, V_0 crece.
- **Hecho 3. La emisión es instantánea:** empieza en menos de una milmillonésima de segundo, aunque la luz sea muy débil.
- **Por qué la física clásica no lo explica:** si la luz fuera solo una onda que reparte su energía de forma continua por todo el frente, una luz intensa de cualquier frecuencia acabaría arrancando electrones (no habría umbral), la energía de los electrones crecería con la intensidad y, con luz débil, cada electrón tardaría un tiempo en acumular la energía necesaria. Los tres hechos dicen lo contrario.



Célula fotoeléctrica. La luz arranca electrones del cátodo; el amperímetro mide la corriente. Si se invierte la fuente, el campo frena a los electrones y con el potencial de frenado V_0 la corriente se anula: $e\,V_0 = E_{c,\text{máx}}$.

4 La explicación de Einstein: un balance de energía

Einstein (1905) lo explicó con los cuantos de Planck: **cada fotón choca con un solo electrón y le entrega toda su energía, o nada**. El resto es conservación de la energía.

- **Trabajo de extracción** W_0 (función trabajo): energía mínima para sacar un electrón del metal. Es propia de cada metal y de su superficie (de unos 2 a 6 eV en los metales).
- **Ecuación de Einstein (balance de energía):**

  $$hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$$

  La energía del fotón se gasta en arrancar el electrón y lo que sobra se lo lleva como energía cinética. Los electrones más profundos necesitan algo más que W_0 y salen más lentos: por eso se habla de energía cinética **máxima**.
- **Umbral:** es el caso en que no sobra nada, $hf_0 = W_0$. Así que $f_0 = W_0/h$ y $\lambda_0 = c/f_0 = hc/W_0$. Hay efecto si $f > f_0$, es decir, si $\lambda < \lambda_0$.
- **Potencial de frenado:** el campo eléctrico frena al electrón más rápido hasta pararlo justo al llegar al ánodo. Por el teorema de la energía cinética, el trabajo eléctrico ($-eV_0$) anula su energía: $0 - E_{c,\text{máx}} = -eV_0$, luego $E_{c,\text{máx}} = eV_0$. Juntándolo con Einstein:

  $$eV_0 = hf - W_0 \;\Rightarrow\; V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{W_0}{e}$$

- **Por qué la intensidad no cambia la** $E_{c,\text{máx}}$**:** más intensidad son más fotones por segundo, así que salen **más electrones** (más corriente de saturación), pero cada fotón sigue llevando hf. Si $f < f_0$, ningún fotón

llega a W_0, y por mucho que subas la intensidad no sale nada: con las intensidades habituales un electrón no suma la energía de dos fotones.

- **Corriente de saturación:** si cada fotón absorbido arranca un electrón, $I = (N/t)\,e$. Con $2 \cdot 10^{15}$ fotones por segundo que arrancan electrones, $I = 2 \cdot 10^{15} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ A.
- Einstein recibió el **Premio Nobel de Física de 1921** (se le entregó en 1922, porque en 1921 el premio quedó reservado) «por sus servicios a la física teórica, y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico» (traducción de la motivación oficial): la motivación premia la ley, $hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$, y no nombra los cuantos de luz ni la relatividad. Robert Millikan la comprobó con medidas muy precisas, publicadas en 1916, y obtuvo de ellas el valor de h; recibió el Nobel de Física de 1923 «por su trabajo sobre la carga elemental de la electricidad y sobre el efecto fotoeléctrico».

Unidades

λ en metros, energías en julios (eV × e).

Energía del fotón

$E = hf = hc/\lambda$.

¿Hay efecto? Compara E con W_0 (o f con f_0, o λ con λ_0). Si no lo hay, dilo y no sigas.

Balance

$E_{c,\text{máx}} = hf - W_0$.

Lo que pidan

$v_{\text{máx}} = \sqrt{2E_{c,\text{máx}}/m_e}$; $V_0 = E_{c,\text{máx}}/e$; $f_0 = W_0/h$; $\lambda_0 = c/f_0$.

Sentido físico

$v \ll c$, V_0 de unos pocos voltios, W_0 de unos 2 a 6 eV.

LUZ ROJA E INTENSIDAD (ANDALUCÍA 2026)

Andalucía 2026 (ordinaria), Ejercicio D, a1) (1 punto). «Se produce emisión de fotoelectrones en una superficie metálica cuando la frecuencia mínima de la radiación monocromática incidente corresponde a luz amarilla. Razone: i) (0,5 puntos) ¿qué sucede si se irradia el metal con luz roja? ii) (0,5 puntos) ¿Y si se aumenta la intensidad de la radiación monocromática amarilla?»

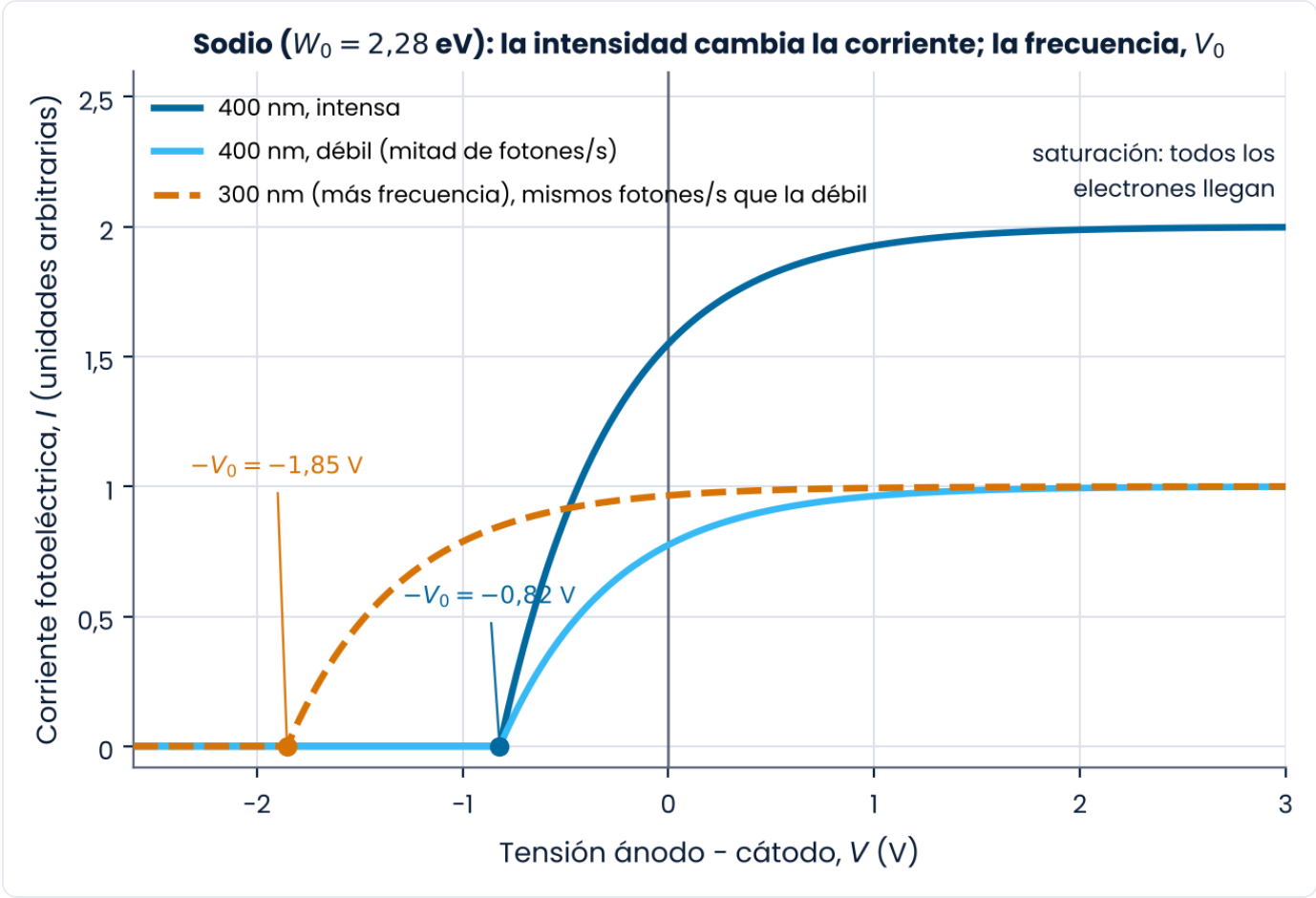
Respuesta modelo

Balance de Einstein: $hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$, con $hf_0 = W_0$. i) La luz roja tiene **menor frecuencia** que la amarilla, $f_{\text{rojo}} < f_0$: cada fotón tiene $hf < W_0$ y **no hay emisión**, sea cual sea la intensidad. ii) La amarilla es justo el umbral: $E_{c,\text{máx}} = hf_0 - W_0 = 0$, los electrones salen prácticamente sin velocidad. Al aumentar la intensidad llegan **más fotones por segundo** y se emiten **más electrones** (más corriente), pero cada uno sigue saliendo con $E_{c,\text{máx}} = 0$: la intensidad cambia cuántos salen, no con qué energía.

Por qué puntúa. Escribe el balance y aplícalo a cada caso: así queda razonado. Un «no pasa nada» sin justificar no se puntúa.

Andalucía: hay que deducir el potencial de frenado

Las Directrices y orientaciones 2026-27 incluyen entre las «Expresiones que siempre se deben deducir antes de su aplicación» la «velocidad de una carga cuando se acelera o frena mediante una diferencia de potencial (potencial de frenado)». Basta una línea: $W_{\text{eléc}} = \Delta E_c \Rightarrow -eV_0 = 0 - E_{c,\text{máx}}$. Y los problemas «consistirán en aplicaciones directas de las ecuaciones básicas (energía del fotón, balance energético en el efecto fotoeléctrico)».



Curvas corriente-tensión de una célula de sodio. Con la misma luz (400 nm), la intensa da el doble de corriente de saturación que la débil, pero las dos se anulan en el mismo $V_0 = 0{,}82$ V. Con luz de más frecuencia (300 nm), V_0 sube a 1,85 V.

5 Trabajo de extracción y umbral de cada metal; aplicaciones

El umbral depende del metal: los alcalinos (cesio, rubidio, sodio) sueltan electrones con luz visible; el cobre, la plata o el oro necesitan ultravioleta.

- **Lee el umbral en los dos sentidos:** hay efecto si $f > f_0$ o, lo que es lo mismo, si $\lambda < \lambda_0$. Con luz de 500 nm (2,48 eV) emiten el cesio, el rubidio y el sodio, y no el silicio ni el cobre.
- **Células fotoeléctricas:** convierten luz en corriente eléctrica. Se usan como sensores: puertas automáticas y barreras de seguridad (al cortar el haz se corta la corriente), detectores de llama o de ultravioleta y fotomultiplicadores que cuentan fotones uno a uno.
- **Placas solares:** funcionan por el **efecto fotovoltaico**, pariente del fotoeléctrico. El fotón también entrega su energía de golpe a un electrón (por eso hay una energía mínima, unos 1,1 eV en el silicio), pero el electrón no sale del material: se mueve dentro del semiconductor y crea una tensión.
- **Cámaras digitales:** cada píxel del sensor cuenta los electrones que liberan los fotones que le llegan (efecto fotoeléctrico interno).

Metal	W_0 (eV)	$\lambda_0 = hc/W_0$	Umbral en el…
Cesio	1,94	639 nm	visible (rojo)
Rubidio	2,13	582 nm	visible (amarillo)
Sodio	2,28	544 nm	visible (verde)
Silicio	3,59	345 nm	ultravioleta
Aluminio	4,08	304 nm	ultravioleta

Metal	W_0 (eV)	$\lambda_0 = hc/W_0$	Umbral en el…
Cobre	4,70	264 nm	ultravioleta
Plata	4,73	262 nm	ultravioleta
Oro	5,10	243 nm	ultravioleta

Trabajos de extracción de la tabla del formulario oficial de la PAU de las Illes Balears (convocatoria 2027); λ_0 calculada con $hc = 1239{,}84$ eV·nm. Los valores medidos cambian unas décimas de eV según la cara del cristal y la limpieza de la superficie (lo verás en el ejercicio del metal oxidado). En el examen, usa siempre el valor que te den el enunciado o el formulario.

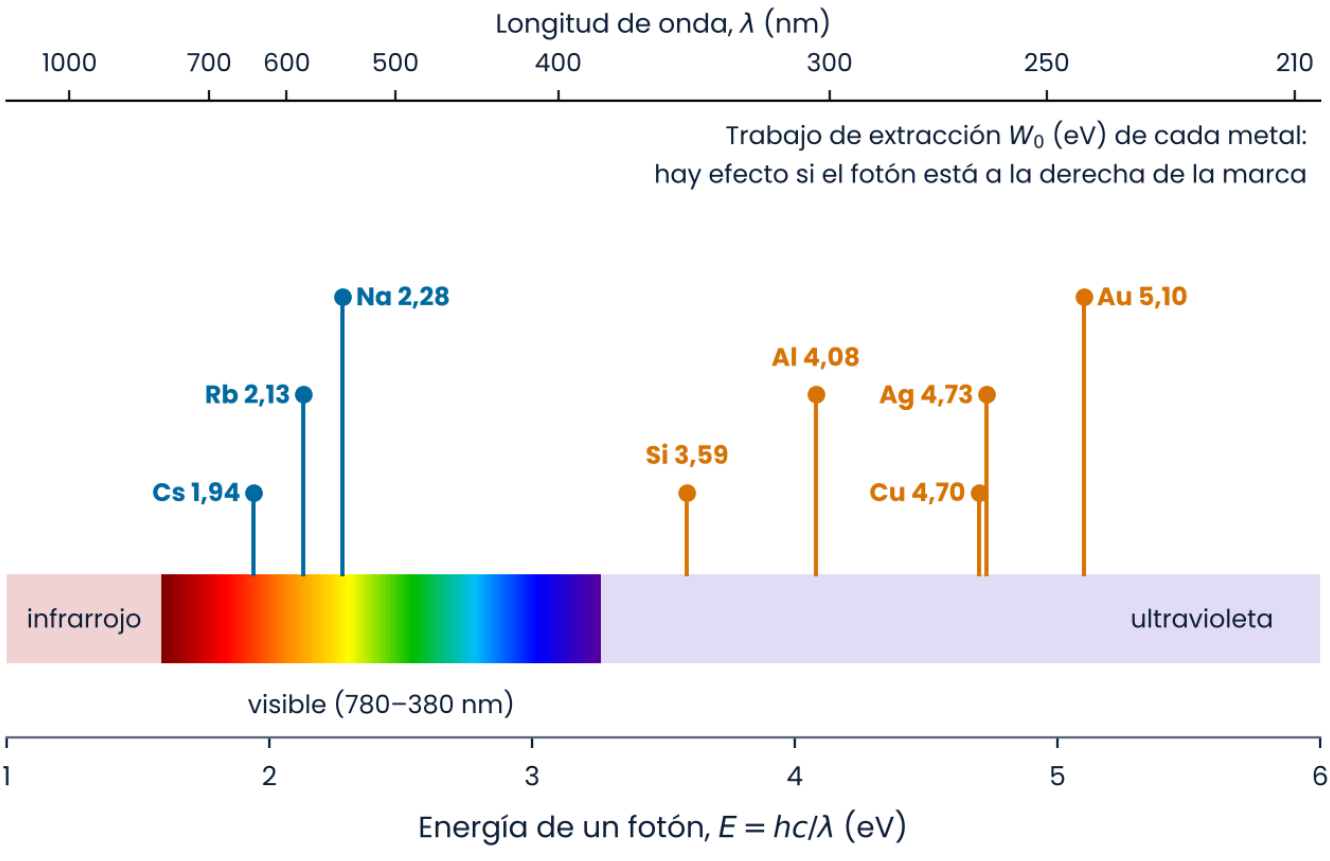
DOS RADIACIONES SOBRE COBRE (ANDALUCÍA 2026)

Andalucía 2026 (ordinaria), Ejercicio D, b1) (1,5 puntos). «El cátodo de una célula fotoeléctrica de cobre se ilumina simultáneamente con dos radiaciones monocromáticas de frecuencias f1 = 9,6·10¹⁴ Hz y f2 = 5,5·10¹⁵ Hz. Si el trabajo de extracción del cobre es 4,7 eV: i) (0,75 puntos) ¿cuál de las dos radiaciones produce efecto fotoeléctrico?; ii) (0,75 puntos) calcule la velocidad máxima de los fotoelectrones emitidos por la radiación que produce dicho efecto. Razone sus respuestas.» $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Respuesta modelo

i) $W_0 = 4{,}7 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 7{,}52 \cdot 10^{-19}$ J. Fotón 1: $hf_1 = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 9{,}6 \cdot 10^{14} = 6{,}36 \cdot 10^{-19}$ J (3,98 eV) $< W_0$: **no** hay efecto. Fotón 2: $hf_2 = 3{,}65 \cdot 10^{-18}$ J (22,8 eV) $> W_0$: **sí**. Que lleguen a la vez no cambia nada: cada electrón absorbe un solo fotón. ii) $E_{c,\text{máx}} = hf_2 - W_0 = 3{,}65 \cdot 10^{-18} - 7{,}52 \cdot 10^{-19} = 2{,}89 \cdot 10^{-18}$ J; $v_{\text{máx}} = \sqrt{2E_{c,\text{máx}}/m_e} = \sqrt{2 \cdot 2{,}89 \cdot 10^{-18}/9{,}1 \cdot 10^{-31}} = 2{,}52 \cdot 10^{6}$ m/s (menos del 1 % de c: no hace falta la relatividad).

Por qué puntúa. La frecuencia 2 corresponde a 55 nm, ultravioleta lejano. Andalucía no publica resultados numéricos, solo criterios generales.



Qué fotón arranca electrones de cada metal. Escala de energía de los fotones (abajo, en eV) y de su longitud de onda (arriba, en nm), con el trabajo de extracción de ocho metales. Solo el cesio, el rubidio y el sodio tienen el umbral en el visible.

6 Gráficas del efecto fotoeléctrico y cómo se mide h

Muchas comunidades dan una gráfica o dos medidas y piden sacar h, W_0 o f_0. Todo sale de una idea: la ecuación de Einstein es **una recta**.

- $E_{c,\text{máx}}$ **frente a** f**:** $E_{c,\text{máx}} = hf - W_0$ es una recta de **pendiente** h, la misma para todos los metales (rectas paralelas). Corta al eje de frecuencias en f_0 y, prolongada, al eje de energías en $-W_0$. Por debajo de f_0 no hay electrones: la prolongación se dibuja **discontinua**.
- V_0 **frente a** f**:** $V_0 = (h/e)\,f - W_0/e$. Pendiente $h/e = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ V·s; el corte con el eje vertical es $-W_0/e$, es decir, W_0 **en eV** con el signo cambiado.
- $E_{c,\text{máx}}$ **frente a** $1/\lambda$**:** $E_{c,\text{máx}} = hc\,(1/\lambda) - W_0$, de pendiente hc. Es la que han usado las Illes Balears (2026 extraordinaria y modelo).
- $E_{c,\text{máx}}$ **frente a la energía del fotón** $E = hf$**:** $E_{c,\text{máx}} = E - W_0$, una recta de **pendiente 1** que corta al eje horizontal en $E = W_0$ (Madrid la dio en el examen coincidente de 2026). Con varios metales, rectas paralelas desplazadas.
- **Con dos medidas** (f_1, V_1) y (f_2, V_2) del mismo metal basta restar las dos ecuaciones: W_0 se cancela y $h = \dfrac{e\,(V_1 - V_2)}{f_1 - f_2}$, que es justo la pendiente. Lo tienes resuelto con el ejercicio de Madrid 2026 al final del tema.
- **Con una tabla de medidas:** representa los puntos, traza la recta que mejor pase entre ellos y saca la pendiente con **dos puntos de la recta** bien separados (no tienen por qué ser medidas). El ajuste y las incertidumbres están en el Tema 1.

QUÉ SIGNIFICA CADA PARTE DE LA RECTA (COMUNITAT VALENCIANA 2026)

Comunitat Valenciana 2026 (ordinaria), opción 4B, apartado b) (1 punto). «La gráfica representa la energía cinética máxima de los electrones en función de la frecuencia de los fotones incidentes. Razona el significado de la pendiente de la recta y de los cortes con los ejes.» [Gráfica: recta $E_{c,\text{máx}}$–f que corta al eje f en un valor positivo; su prolongación, en trazo discontinuo, corta al eje vertical por debajo del origen.]

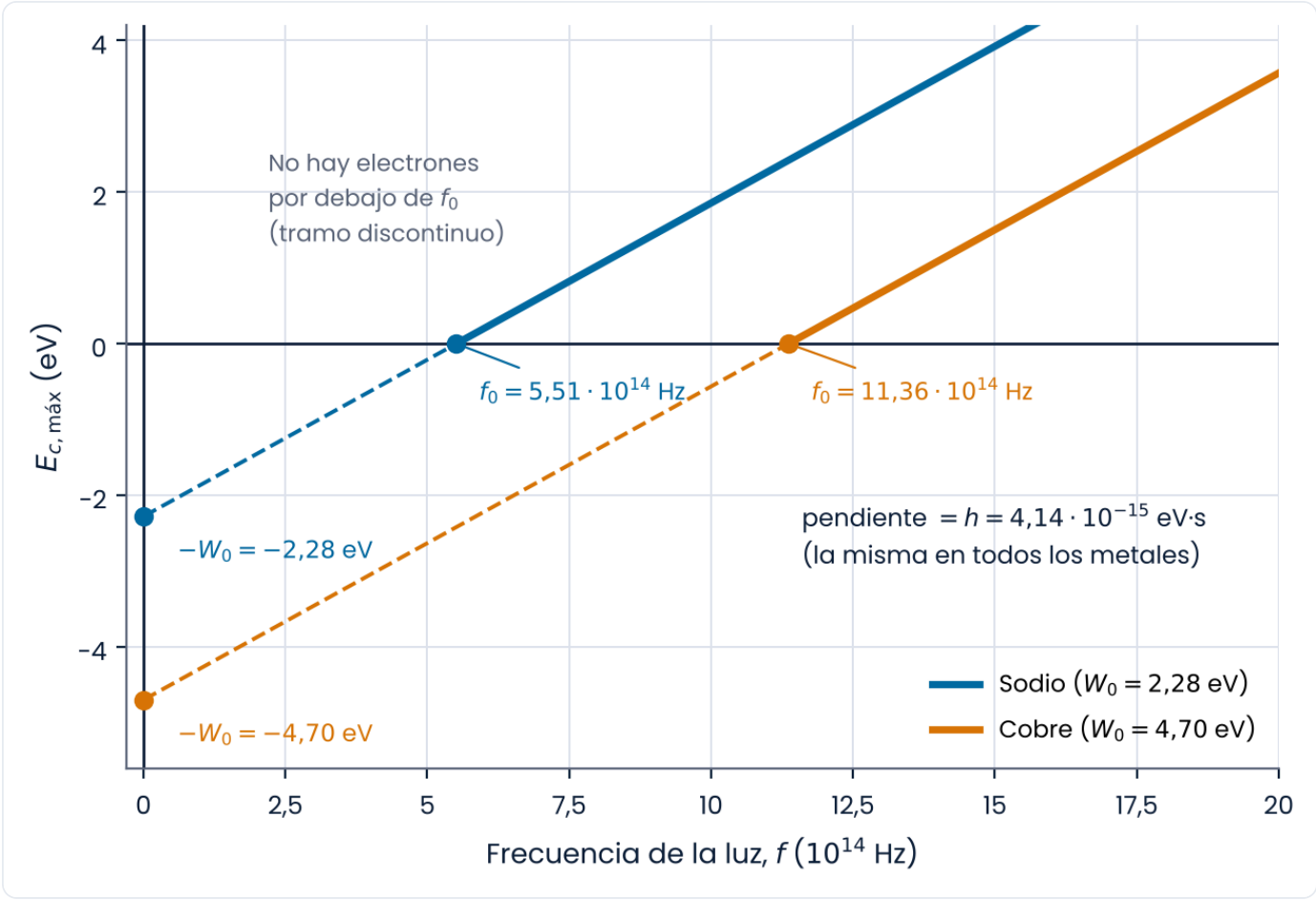
Respuesta modelo

Es la ecuación de Einstein, $E_{c,\text{máx}} = hf - W_0$: una recta $y = mx + n$ con $y = E_{c,\text{máx}}$ y $x = f$. **Pendiente:** h, la constante de Planck; no depende del metal. **Corte con el eje** f ($E_{c,\text{máx}} = 0$): $f = W_0/h = f_0$, la frecuencia umbral; a su izquierda no hay emisión. **Corte con el eje vertical** (prolongación, $f = 0$): $E = -W_0$, el trabajo de extracción cambiado de signo. Con el dato del apartado a) ($\lambda_0 = 790$ nm): $f_0 = c/\lambda_0 = 3{,}80 \cdot 10^{14}$ Hz y $W_0 = hc/\lambda_0 = 2{,}52 \cdot 10^{-19}$ J.

Por qué puntúa. El criterio oficial reparte «0,3 explicar el significado de cada corte con los ejes y 0,4 explicar el de la pendiente». El corte con el eje vertical no es una medida (no hay electrones con energía negativa): es la prolongación de la recta.

Gráficas y prácticas: dónde las piden

Asturias (indicador 65 de su ficha 2025-26): «Analizar e interpretar representaciones gráficas experimentales (energía cinética máxima de los electrones o su potencial de frenado respecto a la frecuencia de la radiación incidente) para obtener a partir de ellas, pares de valores de las variables representadas que permitan determinar el trabajo de extracción del metal utilizado en el experimento o el valor experimental de la constante de Planck». **Galicia** incluye el efecto fotoeléctrico entre las 12 prácticas de la PAU 2027 (CiUG, 20-oct-2026) y en ellas evalúa el resultado con sus cifras significativas, «un tratamento sinxelo das incertezas» [un tratamiento sencillo de las incertidumbres: el valor medio con su desviación típica] y sus unidades. **Illes Balears** (2026) y **Comunitat Valenciana** (2026) han dado gráficas $v_{\text{máx}}$–λ, E_c–$1/\lambda$ y E_c–f. En **Castilla-La Mancha** y **Murcia**, si hay que representar datos, son como mucho 5 parejas.



Energía cinética máxima frente a frecuencia para el sodio ($W_0 = 2{,}28$ eV) y el cobre ($W_0 = 4{,}70$ eV). Las rectas son paralelas (pendiente h), cortan al eje f en la frecuencia umbral y, prolongadas, al eje vertical en $-W_0$.

7 Espectros atómicos, modelo de Bohr y láser (si los piden)

Un gas caliente, o atravesado por una descarga eléctrica, no emite un arcoíris continuo: emite **rayas** de longitudes de onda concretas, distintas para cada elemento. Son su huella dactilar: así se identifican los elementos de las estrellas.

- **Por qué hay rayas:** los electrones de un átomo solo pueden tener ciertas energías (**niveles**). Al bajar de un nivel E_i a otro E_f emiten un fotón con exactamente la diferencia:

$$hf = E_i - E_f$$

  Al absorber pasa lo contrario: el átomo solo absorbe los fotones que encajan con un salto (espectro de absorción, rayas oscuras).

- **Modelo de Bohr (1913)** para el hidrógeno: el electrón gira en órbitas circulares en las que su momento angular está cuantizado, $L = n\,h/2\pi$, y en ellas no radia. Las energías permitidas son $E_n = -\dfrac{13{,}6\ \text{eV}}{n^2}$ ($n = 1, 2, 3\ldots$). El signo menos indica que el electrón está ligado; 13,6 eV es la energía de ionización desde el estado fundamental.
- **Series del hidrógeno:** Lyman (saltos que acaban en $n = 1$, ultravioleta), Balmer (en $n = 2$, visible), Paschen (en $n = 3$, infrarrojo). Fórmula de Rydberg: $\dfrac{1}{\lambda} = R_H\left(\dfrac{1}{n_f^2} - \dfrac{1}{n_i^2}\right)$, con $R_H \approx 1{,}097 \cdot 10^7\ \text{m}^{-1}$.
- **Bohr se queda corto:** solo funciona con el hidrógeno (y átomos con un electrón) y sus órbitas exactas chocan con el principio de incertidumbre. La mecánica cuántica las sustituye por **orbitales**: regiones donde es probable encontrar al electrón.
- **El láser** (siglas en inglés de «amplificación de luz por emisión estimulada de radiación»): un fotón que pasa junto a un átomo excitado le hace emitir otro fotón **idéntico** (misma frecuencia, fase y dirección). Si hay más átomos excitados que en el estado de menor energía (**inversión de población**), el proceso se repite en cadena entre dos espejos y sale una luz **monocromática, coherente y muy direccional**. Einstein propuso la emisión estimulada en 1917 y el primer láser (de rubí) funcionó en 1960. Usos: lectores de códigos, fibra óptica, cirugía ocular, corte de materiales, medida de distancias.

LA RAYA ROJA DEL HIDRÓGENO

Con el modelo de Bohr, calcula la longitud de onda del fotón que emite el átomo de hidrógeno cuando su electrón pasa del nivel $n = 3$ al $n = 2$. Datos: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

Respuesta modelo

$\Delta E = E_3 - E_2 = -13{,}6\left(\dfrac{1}{9} - \dfrac{1}{4}\right) = 1{,}89\ \text{eV} = 3{,}02 \cdot 10^{-19}$ J. $\lambda = \dfrac{hc}{\Delta E} = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3{,}02 \cdot 10^{-19}} = 6{,}58 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 658\ \text{nm}$, en el rojo: es la raya Hα de la serie de Balmer. La medida es 656 nm; la diferencia viene de redondear las constantes.

Por qué puntúa. La Rioja preguntó en su modelo 2025-26 la segunda raya de la serie de Lyman (salto de $n = 3$ a $n = 1$) con la fórmula de Rydberg: es el mismo cálculo.

FOTONES DE UN PUNTERO LÁSER (COMUNITAT VALENCIANA 2025)

Comunitat Valenciana 2025 (reserva de junio), Pregunta 6, opción B (1,5 puntos). «Un puntero láser emite luz monocromática de frecuencia $f = 5{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz con una potencia $P = 5$ mW. ¿Cuál es la energía de un fotón? Calcula cuántos fotones emite el puntero en un minuto ¿Qué longitud de onda tiene la radiación emitida?» Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s.

Respuesta modelo

Un fotón: $E = hf = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 5{,}6 \cdot 10^{14} = 3{,}71 \cdot 10^{-19}$ J. En un minuto el láser emite $P\,t = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0{,}30$ J, que son $N = 0{,}30/3{,}71 \cdot 10^{-19} = 8{,}08 \cdot 10^{17}$ fotones. $\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8/5{,}6 \cdot 10^{14} = 5{,}36 \cdot 10^{-7}$ m = 536 nm (verde).

Por qué puntúa. Criterio oficial: «0,5 la energía del fotón, 0,5 el número de fotones y 0,5 la longitud de onda». Pasa los 5 mW a vatios.

Espectros y Bohr: muy distinto según la comunidad

Extremadura los excluye: «No se incluye: Espectros atómicos. Átomo de Bohr» (Aspectos curriculares orientativos, Bloque D, 12-mar-2026: en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **La Rioja** los pide con números: «Relaciona la longitud de onda o la frecuencia de la radiación en las diferentes series espectrales de emisión de un átomo de Hidrógeno con la energía de los niveles atómicos involucrados» (matriz 2025-26). **Cataluña** puso el modelo de Bohr en 2025 (extraordinaria, ejercicio 2, opción B, dentro del bloque eléctrico). **Cantabria** (concreción 46), **Comunitat Valenciana** (orientación 2026-27, que añade el láser), **Aragón** (orientaciones del currículo), **Castilla y León** y **Madrid** (sus decretos) citan los espectros.

8 Dualidad onda-corpúsculo: la hipótesis de De Broglie

Si la luz, que parecía una onda, se comporta también como un chorro de partículas, ¿se comportarán las partículas como ondas? Louis de Broglie lo propuso en su tesis de 1924: **toda partícula en movimiento lleva asociada una onda**. Recibió el Nobel de Física de 1929 «por su descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de los electrones».

- **Hipótesis de De Broglie:**

  $$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

  Es la relación $p = h/\lambda$ del fotón, leída al revés. A más momento, menos longitud de onda.

- **En función de la energía cinética** (sin relatividad): como $E_c = \frac{p^2}{2m}$, $p = \sqrt{2mE_c}$ y $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}}$.
- **Partícula acelerada desde el reposo por una diferencia de potencial ΔV:** $|q|\,\Delta V = E_c$ (lo ves en el Tema 8), así que $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m|q|\Delta V}}$. Un electrón acelerado con 100 V tiene $\lambda = 1{,}23 \cdot 10^{-10}$ m, el tamaño de un átomo. **Ojo con la carga:** un protón tiene e, pero una partícula alfa o un núcleo de helio, $2e$.
- **La prueba:** Clinton Davisson y Lester Germer, y por separado George P. Thomson, observaron en 1927 la **difracción de electrones** en cristales: los electrones forman figuras de interferencia, como los rayos X. Davisson y Thomson recibieron el Nobel de Física de 1937 «por su descubrimiento experimental de la difracción de electrones en cristales». Solo hay difracción apreciable si la longitud de onda es parecida a la separación entre obstáculos, y en un cristal los átomos están a unas décimas de nanómetro.
- **Por qué no ves la onda de una pelota:** con $m = 0{,}057$ kg y $v = 50$ m/s, $\lambda = 2{,}3 \cdot 10^{-34}$ m, más de 10^{18} veces menor que un núcleo atómico. No hay rendija de ese tamaño: los efectos ondulatorios son indetectables y la física clásica funciona.
- **Microscopio electrónico:** el detalle más fino que distingue un microscopio está limitado por la longitud de onda que usa. Con luz visible (400–700 nm) no se ven detalles de menos de unos 200 nm; los electrones acelerados con decenas de kilovoltios tienen λ de unos picómetros y permiten ver estructuras de tamaño atómico. Ernst Ruska y Max Knoll construyeron el primero en 1931, y Ruska recibió por ello el Nobel de Física de 1986.
- **Versión relativista** (solo si v se acerca a c): $\lambda = h/(\gamma m v)$, con γ del Tema 17. Para un electrón acelerado con 50 kV, la clásica da 5,48 pm y la relativista 5,36 pm (un 2 % menos). **Asturias** pide «considerar correcciones relativistas para velocidades superiores a 10^7 m s^{-1}» (indicador 66); en **Murcia**, la resolución de junio de 2025 dio por buenas las dos versiones.

PROTÓN Y MESÓN K (ANDALUCÍA 2026)

Andalucía 2026 (ordinaria), Ejercicio D, a2) (1 punto). «Un protón tiene una masa 1,9 veces mayor que la de un mesón K. Razone: i) (0,5 puntos) si tuviesen la misma longitud de onda asociada de De Broglie, ¿cuál de ellos tendría menor velocidad?; ii) (0,5 puntos) si tuviesen la misma velocidad, ¿cuál de ellos tendría menor longitud de onda asociada?»

Respuesta modelo

De Broglie: $\lambda = h/(mv)$. i) Misma λ → mismo momento: $m_p v_p = m_K v_K$, así que $v_p = v_K \dfrac{m_K}{m_p} = \dfrac{v_K}{1{,}9}$. Va más lento el **protón**. ii) Misma v: $\dfrac{\lambda_p}{\lambda_K} = \dfrac{m_K}{m_p} = \dfrac{1}{1{,}9}$. Tiene menor longitud de onda el **protón**, 1,9 veces menor.

Por qué puntúa. Trabaja con cocientes: no hace falta ningún número más.

SI LA LONGITUD DE ONDA SE REDUCE A LA MITAD (ANDALUCÍA 2026)

Andalucía 2026 (extraordinaria), Ejercicio D, a2) (1 punto). «Discuta razonadamente si al reducir a la mitad la longitud de onda asociada de un electrón se duplica el valor de su energía cinética.»

Respuesta modelo

Falso: se cuadruplica. $E_c = \dfrac{p^2}{2m}$ y $p = \dfrac{h}{\lambda}$, así que $E_c = \dfrac{h^2}{2m\lambda^2}$. Con $\lambda' = \lambda/2$: $E_c' = \dfrac{h^2}{2m(\lambda/2)^2} = 4\,E_c$ (en el caso no relativista).

Por qué puntúa. La trampa es pensar que E_c es inversamente proporcional a λ: lo es el momento, no la energía.

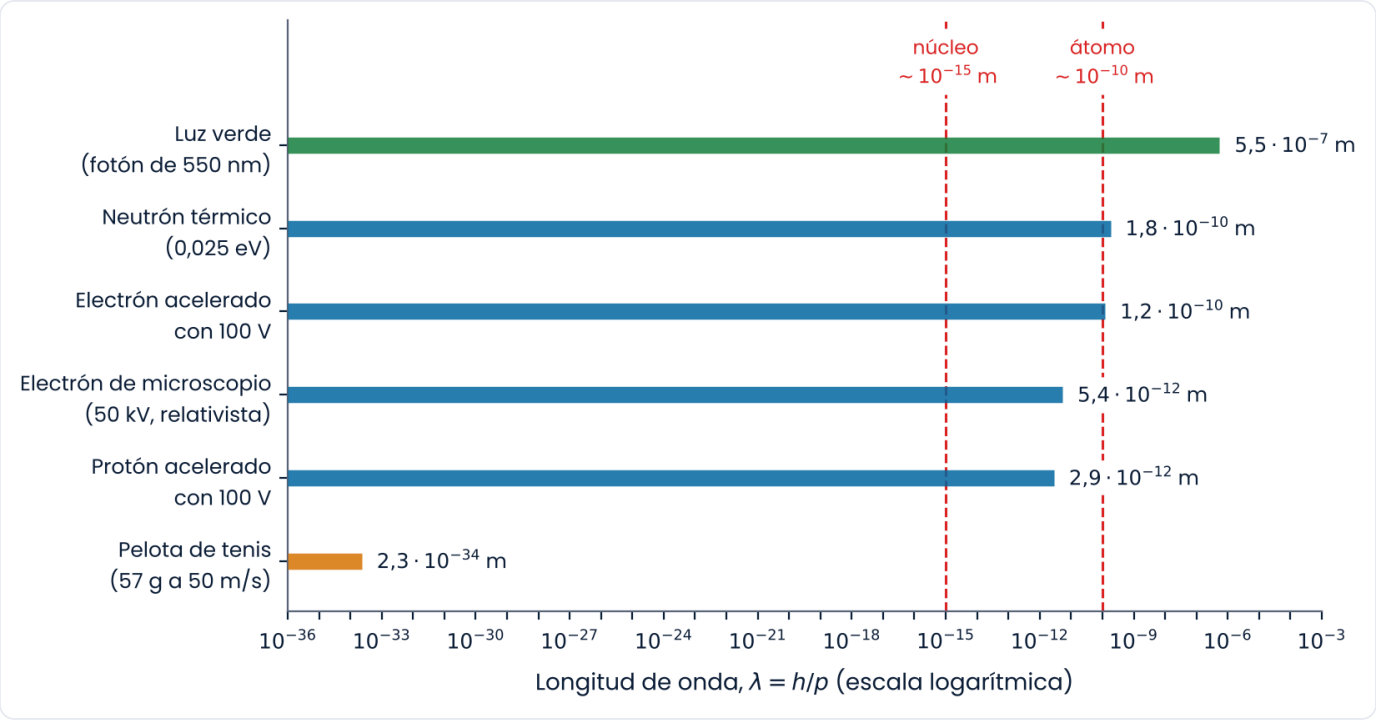
PARTÍCULA ALFA Y PROTÓN CON LA MISMA ENERGÍA (CASTILLA-LA MANCHA 2026)

Castilla-La Mancha 2026 (ordinaria), Pregunta D1 (2 puntos). «Las partículas *α* son núcleos de helio, de masa cuatro veces la del protón aproximadamente. Si una partícula *α* y un protón, que poseen la misma energía cinética, se mueven a velocidades mucho menores que la de la luz. Se pide: a) (1 punto) Hallar la relación entre sus velocidades. b) (1 punto) Hallar la relación existente entre las longitudes de onda de De Bloglie [sic] correspondientes a las dos partículas.»

Respuesta modelo

a) $\frac{1}{2}m_p v_p^2 = \frac{1}{2}m_\alpha v_\alpha^2 \Rightarrow \dfrac{v_p}{v_\alpha} = \sqrt{\dfrac{m_\alpha}{m_p}} = \sqrt{4} = 2$: el protón va el doble de rápido. b) $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2mE_c}} \Rightarrow \dfrac{\lambda_p}{\lambda_\alpha} = \sqrt{\dfrac{m_\alpha}{m_p}} = 2$: la del protón es el doble.

Por qué puntúa. Solución oficial: $v_p/v_\alpha = 2$ y $\lambda_p/\lambda_\alpha = 2$, con 0,5 puntos por plantear y 0,5 por llegar a la relación en cada apartado. «De Bloglie» es una errata del examen.



Longitudes de onda de De Broglie, en escala logarítmica, comparadas con el tamaño de un átomo y de un núcleo. Electrones y neutrones lentos tienen λ atómicas (se difractan en cristales); la de una pelota es absurdamente pequeña.

9 El principio de incertidumbre de Heisenberg

Werner Heisenberg (1927): en el mundo cuántico hay parejas de magnitudes que **no se pueden conocer a la vez con precisión ilimitada**. No es un defecto de los aparatos: es una propiedad de la naturaleza, consecuencia de la dualidad onda-corpúsculo.

- **Posición y momento:**

$$\Delta x \, \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

  Cuanto mejor localizas una partícula (menor Δx), peor conoces su momento (mayor Δp), y al revés. Con $\Delta p = m \, \Delta v$: $\Delta x \, \Delta v \geq \dfrac{h}{4\pi m}$.

- **Energía y tiempo** (la forma que cita el Real Decreto 243/2022):

$$\Delta E \, \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

  Un estado excitado que dura un tiempo Δt tiene su energía indeterminada en ΔE; por eso las rayas espectrales tienen una anchura natural. Con una vida media de 10^{-8} s, $\Delta E \geq 5{,}3 \cdot 10^{-27}$ J, unos $3{,}3 \cdot 10^{-8}$ eV.

- **Adiós a la trayectoria:** en un átomo no tiene sentido hablar de la órbita exacta de un electrón, como hacía Bohr; solo de la **probabilidad** de encontrarlo en una región (los orbitales). Con objetos grandes, h es tan pequeña que la indeterminación es despreciable.
- **Qué expresión usar:** la más extendida es $h/4\pi$ (es decir, $\hbar/2$, con $\hbar = h/2\pi$). Algunos libros y exámenes usan $h/2\pi$ o incluso h: dan el **mismo orden de magnitud**, que es lo que importa. Escribe cuál usas.
- **Cómo leer el resultado:** la desigualdad da un **mínimo**. «Precisión máxima» en la posición es la Δx mínima: $\Delta x = h/(4\pi \, \Delta p)$.

ELECTRÓN FRENTE A PELOTA DE TENIS (ANDALUCÍA, MODELO 2025)

Andalucía, modelo de las orientaciones 2025, Ejercicio D, a) (1 punto). «¿Puede conocerse exactamente y de forma simultánea la posición y la velocidad de un electrón? ¿Y en el caso de una pelota de tenis? Razone las respuestas.»

Respuesta modelo

En ninguno de los dos casos con precisión ilimitada: $\Delta x\,\Delta p \geq h/4\pi$ vale siempre. Pero la consecuencia es muy distinta. **Electrón** ($m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg) localizado dentro de un átomo, $\Delta x \approx 10^{-10}$ m: $\Delta v \geq \dfrac{h}{4\pi m\,\Delta x} = 5{,}8 \cdot 10^{5}$ m/s, del orden de su propia velocidad en el átomo: no tiene sentido hablar de su trayectoria. **Pelota** ($m \approx 0{,}057$ kg) localizada con $\Delta x = 10^{-6}$ m: $\Delta v \geq 9{,}3 \cdot 10^{-28}$ m/s, imposible de notar. En la práctica, posición y velocidad de la pelota se conocen a la vez.

Por qué puntúa. El reparto del modelo andaluz: «0,5 aplicación principio incertidumbre al electrón y razonamiento; 0,5 aplicación principio incertidumbre a la pelota de tenis y razonamiento». Los números los eliges tú: valores razonables y dicho en voz alta.

ENERGÍA MÍNIMA DE UN PROTÓN EN EL NÚCLEO (MURCIA 2026)

Murcia 2026 (ordinaria), Bloque 4, opción 4-B, a) (1 punto). «Aplique el principio de indeterminación de Heisenberg posición-momento para estimar (en eV) la energía cinética mínima de un protón confinado en una distancia $d \approx 10^{-14}$ m, (diámetro nuclear típico).» Datos: $1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J, masa del protón $= 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg, $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Respuesta modelo

Si el protón está dentro del núcleo, $\Delta x \approx d = 10^{-14}$ m. Entonces $\Delta p \geq \dfrac{h}{4\pi\,\Delta x} = \dfrac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 10^{-14}} = 5{,}25 \cdot 10^{-21}$ kg·m/s. Su momento no puede ser menor que esa indeterminación ($p \gtrsim \Delta p$), así que $E_{c,\text{mín}} \approx \dfrac{(\Delta p)^2}{2m} = \dfrac{(5{,}25 \cdot 10^{-21})^2}{2 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-27}} = 8{,}1 \cdot 10^{-15}$ J $= 5{,}1 \cdot 10^{4}$ eV, unos 50 keV.

Por qué puntúa. La resolución del coordinador de Física de la Universidad de Murcia da $E_c \approx 5 \cdot 10^4$ eV y avisa: «En esta pregunta no se penaliza por factores 2, π, etc., siempre que el orden de magnitud sea correcto». El apartado b) de esa opción (yodo-131) está en el Tema 19.

Incertidumbre: cada comunidad, su versión

El **Real Decreto 243/2022** dice «Principio de incertidumbre formulado en base al tiempo y la energía». **Extremadura** (Aspectos curriculares 2025-26; pendiente de confirmar para 2027) usa solo la otra: «Solo usaremos la expresión del principio de incertidumbre en términos de posición y cantidad de movimiento (o momento lineal)», y acepta «Δx Δp ≥ h/4π y también Δx Δp ≥ h/2π». Piden las dos formas **Galicia**, **Castilla y León** y **Madrid** (sus decretos) y **Murcia** (Especificaciones 2027, que añade relacionar «la vida media de un estado excitado con la incertidumbre en su energía»). **La Rioja** (guía 2025-26): «casos sencillos como electrones en movimiento y a fotones emitidos por átomos excitados». **Andalucía**: «aplicación directa de sus ecuaciones básicas y […] interpretación de los resultados». **Cataluña** lo excluye: «No es demanarà: […] El principi d'indeterminació». Ha caído en 2 de las 68 convocatorias (Castilla y León y Murcia, ordinarias de 2026).

10 Qué te piden en tu comunidad

Ha caído en **56 de las 68 convocatorias** ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades; de media ofrece 1,58 puntos por examen (contando las opciones a elegir): es el tema que más puntos ofrece de todo el temario (le sigue la física nuclear, con 1,53). Que algo no haya caído en tu comunidad no quiere decir que no entre: solo está fuera lo que un documento oficial excluye.

Comunidad	Qué ha caído (2025–2026)	Qué dicen sus documentos
Andalucía	4 de 4: De Broglie en todas (comparar partículas, partículas aceleradas); fotoeléctrico en las ordinarias	Problemas de «aplicaciones directas»; hay que deducir el potencial de frenado
Aragón	2 de 4 (las dos de 2025): fotoeléctrico, De Broglie, energía de un fotón de láser	Las orientaciones del currículo citan Planck, espectros, Compton e incertidumbre en «problemas sencillos»
Asturias	3 de 4: difracción de electrones, rayos X y De Broglie, fotoeléctrico	Gráficas E_c–f o V_0–f para W_0 o h; De Broglie relativista si $v > 10^7$ m/s; comparar por órdenes de magnitud
Canarias	3 de 4: medallas de París 2024, umbral con potencial de frenado, De Broglie	Fotoeléctrico, De Broglie e incertidumbre tiempo-energía; en 2027, tres cifras significativas
Cantabria	2 de 4, siempre fotoeléctrico	Fotoeléctrico entre los saberes prioritarios (en rojo); cuerpo negro y espectros en las concreciones; De Broglie e incertidumbre también entran
Castilla y León	3 de 4: fotoeléctrico y De Broglie; incertidumbre en 2026	Decreto 40/2022: catástrofe del ultravioleta, espectros, incertidumbre en sus dos formas
Castilla-La Mancha	3 de 4: fotoeléctrico del aluminio, alfa y protón, fotoeléctrico con De Broglie	Fotoeléctrico, potencial de frenado, De Broglie, difracción de electrones e incertidumbre (orientación Crue)
Cataluña	2 de 4: fotoeléctrico (2026), energía de un fotón, modelo de Bohr en el bloque eléctrico (2025)	No se pide el efecto Compton, el cuerpo negro ni el principio de indeterminación
Comunitat Valenciana	3 de 4: fotoeléctrico (con gráfica E_c–f), De Broglie de nanopartículas, fotones gamma	Cuerpo negro y espectros como preguntas explicativas; láser y resonancia magnética
Extremadura	4 de 4: siempre fotoeléctrico; De Broglie una vez	En 2025-26 (pendiente de confirmar para 2027): sin espectros ni Bohr; Stefan-Boltzmann y Wien sin problemas; incertidumbre solo posición-momento
Galicia	4 de 4: fotoeléctrico con De Broglie; energía de un fotón de un LED	Incertidumbre posición-momento y tiempo-energía; práctica del fotoeléctrico en la PAU 2027
Illes Balears	4 de 4: fotoeléctrico (gráficas $v_{\text{máx}}$–λ y E_c–$1/\lambda$); hipótesis de Einstein y De Broglie	Formulario con $E = hf$ y tabla de trabajos de extracción; hipótesis de Planck
La Rioja	4 de 4: De Broglie (microscopio electrónico), fotoeléctrico (h a partir de dos medidas)	Planck, series espectrales del hidrógeno con Rydberg, incertidumbre en casos sencillos
Madrid	4 de 4: fotoeléctrico (2026), De Broglie de neutrones, fotones absorbidos por el ozono	«Sí efecto fotoeléctrico. Sí longitud de onda de de Broglie» (Comisión, 2025-26); decreto con cuerpo negro, espectros e incertidumbre
Murcia	4 de 4: De Broglie, fotoeléctrico, incertidumbre (2026)	Incertidumbre posición-momento y tiempo-energía; vida media e incertidumbre en la energía
Navarra	3 de 4: fotoeléctrico (con gráfica), De Broglie	Sin exclusiones
País Vasco	4 de 4, siempre fotoeléctrico	Sin exclusiones; tabla común de constantes

Recuento sobre ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026; los documentos son los de cada comisión para 2026-27 (o 2025-26 si no hay otros). Detalle y citas en las cajas de cada sección.

11 Ejercicio resuelto: balance de Einstein, umbral y metal oxidado (País Vasco 2026)

PAU PAÍS VASCO 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PROBLEMA 4 (BLOQUE D), OPCIÓN D1 (A ELEGIR ENTRE D1 Y D2; 2,5 PUNTOS)

Al iluminar la superficie de un metal con luz de longitud de onda 280 nm, la emisión de fotoelectrones cesa para un potencial de frenado de 1.3 V. (Datos de la tabla común del examen: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s; $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ m·s⁻¹; $|q_e| = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg.)

a) 1. Escribe la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico y explica el significado físico de cada término. (0.25 puntos) 2. A partir del potencial de frenado, determina la energía cinética máxima de los fotoelectrones emitidos. (0.25 puntos) (0,5 puntos)

b) 1. Calcula la función trabajo W_0 del metal. (0.50 puntos) 2. Determina la frecuencia umbral ν_{um} y su longitud de onda correspondiente λ_{um} de emisión fotoeléctrica para ese metal. (0.50 puntos) (1 punto)

c) Cuando la superficie del metal se ha oxidado, el potencial de frenado para la misma luz incidente es de 0.7 V. 1. Determina la nueva energía cinética máxima de los fotoelectrones y compárala con la del metal sin oxidar. (0.25 puntos) 2. Calcula la nueva función trabajo del metal oxidado. (0.50 puntos) 3. Razona cómo cambia la frecuencia umbral de emisión y explica físicamente por qué la oxidación modifica W_0. (0.25 puntos) (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** todo el problema es el balance de energía de Einstein. El dato clave es el potencial de frenado, que mide directamente la energía cinética máxima.
2. **Ecuación de Einstein:**

$$h\nu = W_0 + E_{c,\text{máx}}$$

$h\nu = hc/\lambda$ es la energía de cada fotón (la luz llega en cuantos); W_0 es la **función trabajo** o trabajo de extracción, la energía mínima para arrancar un electrón del metal; $E_{c,\text{máx}}$ es la energía cinética de los electrones más rápidos, los que salen de la superficie sin perder energía.

3. **Energía cinética máxima:** el campo frena a los electrones más rápidos justo hasta pararlos, así que su energía cinética es igual al trabajo eléctrico:

$$E_{c,\text{máx}} = e\,V_{\text{fren}} = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 1{,}3\ \text{V} = 2{,}08 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

es decir, 1,3 eV.

SOLUCIÓN $h\nu = W_0 + E_{c,\text{máx}}$; $E_{c,\text{máx}} = 2{,}08 \cdot 10^{-19}$ J (1,3 eV).

Apartado b)

1. **Energía del fotón**, con $\lambda = 280 \cdot 10^{-9}$ m:

$$E_\gamma = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{280 \cdot 10^{-9}} = 7{,}10 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 4{,}44\ \text{eV}$$

(ultravioleta).

2. **Función trabajo**, despejando del balance:

$$W_0 = E_\gamma - E_{c,\text{máx}} = 7{,}10 \cdot 10^{-19} - 2{,}08 \cdot 10^{-19} = 5{,}02 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 3{,}14\ \text{eV}$$

3. **Umbral:** en el umbral el electrón sale sin energía cinética, $h\nu_{\text{um}} = W_0$:

$$\nu_{\text{um}} = \frac{W_0}{h} = \frac{5{,}02 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} = 7{,}58 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

   La solución oficial da $7{,}57 \cdot 10^{14}$ Hz porque divide el valor ya redondeado; sin redondear entre pasos sale 7,58. Es solo redondeo.

4. $$\lambda_{\text{um}} = \frac{c}{\nu_{\text{um}}} = \frac{3{,}00 \cdot 10^{8}}{7{,}58 \cdot 10^{14}} = 3{,}96 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 396\ \text{nm}$$

   en el límite entre el violeta y el ultravioleta.

5. **Comprobación:** $\lambda = 280$ nm $< \lambda_{\text{um}} = 396$ nm, así que hay efecto, como dice el enunciado.

SOLUCIÓN $W_0 = 5{,}02 \cdot 10^{-19}$ J $= 3{,}14$ eV; $\nu_{\text{um}} = 7{,}58 \cdot 10^{14}$ Hz; $\lambda_{\text{um}} = 396$ nm.

Apartado c)

1. **Nueva energía cinética máxima:** $E'_{c,\text{máx}} = e\,V' = 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}7 = 1{,}12 \cdot 10^{-19}$ J, es decir, 0,7 eV. Es **menor** que antes (0,7 eV frente a 1,3 eV, el 54 %): con la misma luz, los electrones salen más lentos.
2. **Nueva función trabajo:** la luz es la misma, así que $E_\gamma = 4{,}44$ eV no cambia:

$$W'_0 = E_\gamma - E'_{c,\text{máx}} = 4{,}44 - 0{,}7 = 3{,}74\ \text{eV} = 5{,}98 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

3. **Frecuencia umbral:** como $\nu_{\text{um}} = W_0/h$, si W_0 **aumenta**, la frecuencia umbral también **aumenta** y la longitud de onda umbral disminuye: $\nu'_{\text{um}} = 5{,}98 \cdot 10^{-19}/6{,}63 \cdot 10^{-34} = 9{,}03 \cdot 10^{14}$ Hz y $\lambda'_{\text{um}} = 332$ nm. Hace falta luz más energética para arrancar electrones.
4. **Por qué:** la capa de óxido cambia la superficie. Los electrones ya no están en el metal limpio sino ligados en un compuesto (o tienen que atravesar la capa), y cuesta más energía sacarlos. El trabajo de extracción depende del estado de la superficie, no solo del metal.

SOLUCIÓN $E'_{c,\text{máx}} = 1{,}12 \cdot 10^{-19}$ J (0,7 eV, menor); $W'_0 = 3{,}74$ eV; la frecuencia umbral aumenta (a $9{,}03 \cdot 10^{14}$ Hz).

Lo que puntúa. La comisión publica un solucionario con el reparto por pasos: «0.25 — Ecuación de Einstein» (con «Donde W_0 es la función trabajo y $K_{\text{máx}}$ la energía cinética máxima»), «0.25 — Energía cinética máxima», «0.50 — Energía del fotón y función trabajo», «0.50 — Umbrales», «0.25 — $K_{\text{máx}}$ disminuye», «0.50 — Nueva función trabajo» y «0.25 — ν_{um} aumenta (y λ_{um} disminuye), porque W_0 es mayor; la oxidación dificulta la extracción de electrones». Criterios generales: «Cálculo simbólico antes que numérico» y «Unidades ausentes o incorrectas: -0.1 puntos». Resultados oficiales: $E_\gamma \approx 4{,}44$ eV, $W_0 = 3{,}14$ eV, $\nu_{\text{um}} = 7{,}57 \cdot 10^{14}$ Hz, $\lambda_{\text{um}} = 396$ nm y $W'_0 = 3{,}74$ eV.

Error típico que te quita puntos. Mezclar julios y electronvoltios en la misma resta (por ejemplo, $7{,}10 \cdot 10^{-19} - 1{,}3$) o dejar λ en nanómetros. Y en c), decir que la oxidación **baja** el trabajo de extracción: si con la misma luz los electrones salen más lentos, cuesta **más** arrancarlos.

12 Ejercicio resuelto: la constante de Planck con dos medidas (Madrid 2026)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 4.A (BLOQUE FÍSICA RELATIVISTA, CUÁNTICA, NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS; A ELEGIR ENTRE 4.A Y 4.B; 2,5 PUNTOS)

Cuando una lámina de plata se ilumina con luz de 150 nm se necesita un potencial de 3,55 V para frenar los electrones emitidos. Sin embargo, si se usa una luz de 200 nm, el potencial para frenar los electrones es de 1,48 V. A partir de estos datos, determine: Datos: Velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \cdot 10^8$ m s^{-1}; Valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

a) El valor de la constante de Planck. (1,5 puntos)

b) El trabajo de extracción de los electrones de la lámina de plata en eV. (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** no te dan h: es la incógnita. Tienes dos medidas con el mismo metal, y en las dos el trabajo de extracción W es el mismo. Escribes la ecuación de Einstein dos veces y restas: W desaparece.
2. Ecuación de Einstein con el potencial de frenado ($E_{c,\text{máx}} = eV$):

$$\frac{hc}{\lambda_1} = W + eV_1 \qquad \frac{hc}{\lambda_2} = W + eV_2$$

3. Restando la segunda de la primera:

$$hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = e\,(V_1 - V_2) \;\Rightarrow\; h = \frac{e\,(V_1 - V_2)}{c\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)}$$

4. Con $\lambda_1 = 150 \cdot 10^{-9}$ m y $\lambda_2 = 200 \cdot 10^{-9}$ m: $\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} = 6{,}667 \cdot 10^6 - 5{,}000 \cdot 10^6 = 1{,}667 \cdot 10^6$ m^{-1}.

$$h = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot (3{,}55 - 1{,}48)}{3 \cdot 10^8 \cdot 1{,}667 \cdot 10^6} = \frac{3{,}312 \cdot 10^{-19}}{5{,}000 \cdot 10^{14}} = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ \text{J·s}$$

5. **Sentido físico:** es la pendiente de la recta eV_0 frente a f, y dos puntos bastan para una recta. Sale a menos de un 0,1 % del valor exacto ($6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s).

SOLUCIÓN $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Apartado b)

1. **La idea:** con h ya conocida, cualquiera de las dos medidas da W. Usa el valor de a) sin redondear ($6{,}624 \cdot 10^{-34}$ J·s).

2. $W = \frac{hc}{\lambda_1} - eV_1 = \frac{6{,}624 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{150 \cdot 10^{-9}} - 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 3{,}55 = 1{,}325 \cdot 10^{-18} - 5{,}68 \cdot 10^{-19} = 7{,}57 \cdot 10^{-19}$ J

3. En eV, dividiendo entre e: $W = \frac{7{,}57 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 4{,}73$ eV. Más rápido: $\frac{hc}{e\lambda_1} = 8{,}28$ eV, y $8{,}28 - 3{,}55 = 4{,}73$ eV.

4. **Comprobación** con la otra medida: $\frac{hc}{e\lambda_2} = 6{,}21$ eV y $6{,}21 - 1{,}48 = 4{,}73$ eV. Coincide, como debe. Es el valor de la plata en la tabla de trabajos de extracción del formulario de las Illes Balears (4,73 eV).

SOLUCIÓN $W = 4{,}73$ eV ($7{,}57 \cdot 10^{-19}$ J); su umbral es $\lambda_0 = hc/W = 263$ nm, en el ultravioleta.

Lo que puntúa. Madrid publica la solución («Documento de trabajo orientativo»): $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J s y un trabajo de extracción de 4,73 eV, por el mismo método (restar las dos ecuaciones). Sus criterios específicos dicen: «En la corrección de las preguntas se tendrá en cuenta el proceso seguido en la resolución de las mismas, valorándose positivamente la identificación de los principios y leyes físicas involucradas» y «Se valorará la destreza en la obtención de resultados numéricos y el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional». No publica un reparto más fino que el de cada apartado.

Error típico que te quita puntos. Usar $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ «de memoria» y calcular W con una sola medida: el enunciado pide obtener h de los datos. También restar las longitudes de onda en vez de sus inversos, o restar en distinto orden arriba y abajo: h sale negativa o absurda.

13 Ejercicio resuelto: De Broglie e incertidumbre de un electrón acelerado (Castilla y León 2026)

PAU CASTILLA Y LEÓN 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · BLOQUE 4, OPCIÓN B, PREGUNTA 10 (A ELEGIR ENTRE LAS OPCIONES A Y B; 2 PUNTOS)

Un electrón se introduce en un acelerador lineal de partículas donde adquiere una velocidad de 2,65·10⁶ m·s⁻¹ debido a la acción de un campo eléctrico uniforme. (Datos de la tabla de constantes del examen: $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s; $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C; $c_0 = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s⁻¹.)

a) Calcule la longitud de onda asociada al electrón. (1 punto)

b) Indique la precisión máxima con la que se puede calcular la posición del electrón sabiendo que el valor de su velocidad tiene asociada una incertidumbre del 10%. (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** la «longitud de onda asociada» a una partícula es la de **De Broglie**, $\lambda = h/p$. Antes, mira si hace falta la relatividad: $v/c = 2{,}65 \cdot 10^{6}/3{,}00 \cdot 10^{8} = 0{,}0088$, menos del 1 %. Basta $p = mv$.
2. Momento lineal: $p = m_e v = 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}65 \cdot 10^{6} = 2{,}41 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{kg{\cdot}m/s}$.
3. $$\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{2{,}41 \cdot 10^{-24}} = 2{,}75 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}$$
4. **Sentido físico:** 0,275 nm es del orden de la distancia entre átomos de un cristal, así que un haz de estos electrones se difracta en un cristal, como en el experimento de Davisson y Germer. Para darle esa velocidad desde el reposo basta una diferencia de potencial pequeña: $E_c = \frac{1}{2} m_e v^2 = 3{,}20 \cdot 10^{-18}$ J $= 20{,}0$ eV, es decir, unos 20 V.

SOLUCIÓN $\lambda = 2{,}75 \cdot 10^{-10}$ m (0,275 nm).

Apartado b)

1. **La idea:** principio de incertidumbre posición-momento, $\Delta x\, \Delta p \geq h/4\pi$. La «precisión máxima» en la posición es la **mínima** indeterminación posible, la que cumple la igualdad.
2. **Indeterminación del momento:** la velocidad tiene una incertidumbre del 10 %, $\Delta v = 0{,}10 \cdot 2{,}65 \cdot 10^{6} = 2{,}65 \cdot 10^{5}$ m/s, y la masa se conoce: $\Delta p = m_e\, \Delta v = 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}65 \cdot 10^{5} = 2{,}41 \cdot 10^{-25}\ \mathrm{kg{\cdot}m/s}$.

3. $$\Delta x_{\text{mín}} = \frac{h}{4\pi\,\Delta p} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 2{,}41 \cdot 10^{-25}} = 2{,}19 \cdot 10^{-10}\ \text{m}$$

4. **Sentido físico:** no se puede localizar el electrón mejor que en unas dos décimas de nanómetro, el tamaño de un átomo y del orden de su propia longitud de onda. Con la forma $\Delta x\,\Delta p \geq h/2\pi$ sale el doble, $4{,}37 \cdot 10^{-10}$ m: el mismo orden de magnitud. Escribe cuál usas.

SOLUCIÓN $\Delta x \geq 2{,}19 \cdot 10^{-10}$ m (con $h/4\pi$).

Lo que puntúa. El baremo oficial da «a) Cálculo correcto de la longitud de onda: 1 punto» y «b) Determinación correcta de la precisión máxima para calcular la posición del electrón: 1 punto». No hay solución numérica publicada. Los criterios específicos avisan de que «la utilización de la "fórmula adecuada" no garantiza por sí sola que el ejercicio haya sido correctamente resuelto», de que «No se concederá ningún valor a las "respuestas con monosílabos"» y de que se resta 0,1 por errores leves como la «ausencia o incorrección en las unidades» o la «presentación de resultados con un número de cifras significativas desproporcionado respecto a los datos».

Error típico que te quita puntos. Usar en la incertidumbre el momento entero ($m_e v$) en vez de su indeterminación ($m_e\,\Delta v$, el 10 %): sale un Δx diez veces menor. Y escribir $\Delta x\,\Delta p = h/4\pi$ sin explicar que es el valor mínimo.

Conceptos clave

Cuanto
Paquete mínimo de energía que se puede emitir o absorber. Para radiación de frecuencia f, $E = hf$ (Planck, 1900).

Constante de Planck
$h = 6{,}626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ J·s, exacta desde 2019. Relaciona la energía de un fotón con su frecuencia y el momento de una partícula con su longitud de onda.

Cuerpo negro
Cuerpo ideal que absorbe toda la radiación que recibe; su espectro de emisión solo depende de la temperatura (leyes de Wien y de Stefan-Boltzmann).

Fotón
Cuanto de luz: sin masa, viaja a c, con energía $E = hf = hc/\lambda$ y momento $p = h/\lambda$.

Electronvoltio
Energía que gana un electrón al acelerarse con 1 V: $1\ \text{eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J.

Efecto fotoeléctrico
Emisión de electrones por un metal iluminado con luz de frecuencia mayor que la umbral. Einstein lo explicó en 1905 con los fotones.

Trabajo de extracción
Energía mínima W_0 para arrancar un electrón de la superficie de un metal (función trabajo). De unos 2 a 6 eV en los metales.

Frecuencia umbral
Frecuencia mínima $f_0 = W_0/h$ para que haya efecto fotoeléctrico. Su longitud de onda umbral, $\lambda_0 = hc/W_0$, es la máxima.

Energía cinética máxima
La de los electrones más rápidos: $E_{c,\text{máx}} = hf - W_0$. No depende de la intensidad.

Potencial de frenado
Diferencia de potencial V_0 que detiene a los fotoelectrones más rápidos y anula la corriente: $eV_0 = E_{c,\text{máx}}$.

Corriente de saturación
Corriente máxima de una célula fotoeléctrica, cuando el ánodo recoge todos los electrones emitidos. Con la misma frecuencia, es proporcional a la intensidad de la luz.

Espectro de rayas
Conjunto de longitudes de onda discretas que emite o absorbe un elemento; cada raya corresponde a un salto entre niveles, $hf = E_i - E_f$.

Láser

Fuente de luz monocromática, coherente y direccional basada en la emisión estimulada de radiación.

Dualidad onda-corpúsculo

La luz y la materia se comportan como ondas (interferencia, difracción) o como partículas (fotoeléctrico, choques) según el experimento.

Longitud de onda de De Broglie

Longitud de onda asociada a una partícula de momento p: $\lambda = h/p = h/(mv)$.

Principio de incertidumbre

No se pueden conocer a la vez con precisión ilimitada la posición y el momento ($\Delta x\,\Delta p \geq h/4\pi$), ni la energía y el tiempo ($\Delta E\,\Delta t \geq h/4\pi$).

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Unidades primero

λ en **metros** (nm × 10^{-9}), energías en **julios** (eV × e). Da el resultado en la unidad que te pidan (eV si lo piden).

Balance de Einstein

Escribe $hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$ y nombra cada término: el País Vasco le da 0,25 a eso solo.

¿Hay efecto?

Compara hf con W_0 (o λ con λ_0) **antes** de calcular velocidades. Si no hay efecto, dilo y justifícalo.

Intensidad

Cambia el **número** de electrones (la corriente), nunca la $E_{c,\text{máx}}$ ni el umbral.

Potencial de frenado

$eV_0 = E_{c,\text{máx}}$: en voltios, V_0 vale lo mismo que $E_{c,\text{máx}}$ en eV. En **Andalucía** hay que deducirlo.

De Broglie

$\lambda = h/(mv) = h/\sqrt{2mE_c} = h/\sqrt{2m|q|\Delta V}$, con la masa y la carga de **esa** partícula (alfa: $2e$).

Incertidumbre

$\Delta x\,\Delta p \geq h/4\pi$. «Precisión máxima» = indeterminación **mínima**. Di qué forma usas ($h/4\pi$ o $h/2\pi$).

Cómo te lo pueden preguntar

- Problema de efecto fotoeléctrico: energía del fotón, trabajo de extracción, frecuencia o longitud de onda umbral, energía cinética y velocidad máximas, potencial de frenado; a veces con una gráfica o con dos medidas para obtener h: sale en 42 de las 68 convocatorias, en las 17 comunidades.
- Longitud de onda de De Broglie de electrones, protones, partículas alfa o núcleos (acelerados por una diferencia de potencial, o los fotoelectrones del apartado anterior) y cuestiones de comparar dos partículas: sale en 27 de las 68 convocatorias, en 14 comunidades.
- Energía de fotones sueltos (LED, láser, rayos X, rayos gamma, absorción del ozono) y modelo de Bohr: sale en 8 de las 68 convocatorias, en 6 comunidades.
- Principio de incertidumbre posición-momento: sale en 2 de las 68 convocatorias, en 2 comunidades (Castilla y León y Murcia, 2026).
- Cuestiones razonadas sin apenas números (qué pasa si sube la intensidad o la frecuencia, qué es la dualidad, cómo es posible la difracción de electrones): van dentro de los recuentos anteriores y son habituales en Andalucía, Castilla y León, Aragón, Comunitat Valenciana e Illes Balears.

No lo confundas

- **Intensidad con frecuencia:** la intensidad decide cuántos electrones salen; la frecuencia, si salen y con qué energía.

- **Trabajo de extracción con energía cinética máxima:** W_0 es del metal (fijo); $E_{c,\text{máx}}$ depende de la luz que llega.
- **Frecuencia umbral con longitud de onda umbral:** hay efecto si $f > f_0$, pero si $\lambda < \lambda_0$: van al revés.
- **Potencial de frenado con energía:** V_0 va en voltios y eV_0 en julios. En número, V_0 en voltios es igual a $E_{c,\text{máx}}$ en eV.
- **Fotón con electrón de la misma energía:** el fotón tiene $\lambda = hc/E$; el electrón, $\lambda = h/\sqrt{2mE}$. No salen iguales (Asturias lo preguntó en 2025 con un protón de 120 eV).
- **$h/4\pi$ con $h/2\pi$:** dos formas del principio de incertidumbre que dan el mismo orden de magnitud. Usa una y dilo.
- **Efecto fotoeléctrico con efecto fotovoltaico:** en el primero el electrón sale del metal; en el segundo (placas solares) se queda dentro del semiconductor.
- **Electrón con partícula alfa:** con la misma ΔV, la alfa gana el doble de energía porque su carga es $2e$.

Ponte a prueba

PAU Cataluña 2026 (ordinaria), Ejercicio 4, opción B (a elegir entre A y B; 2,5 puntos; versión en castellano publicada por la comisión). En un experimento sobre el efecto fotoeléctrico, se proyecta luz monocromática sobre el cátodo de una célula fotoeléctrica. Cuando el cátodo se ilumina con luz azul de longitud de onda 460 nm, se observa una corriente fotoeléctrica. Al aplicar una diferencia de potencial de como mínimo 0,50 V entre el cátodo y el ánodo, la corriente desaparece por completo. **4.1.** Calcule la energía mínima necesaria para arrancar un electrón del cátodo (función de trabajo) y la velocidad máxima a la que salen los electrones emitidos cuando no se aplica ninguna diferencia de potencial. [1,25 puntos] **4.2.** Determine qué diferencia de potencial habría que aplicar para anular la corriente fotoeléctrica si primero el cátodo se ilumina con luz verde de longitud de onda 520 nm, y luego con luz roja de longitud de onda 650 nm. Justifique los resultados obtenidos. [1,25 puntos] Datos: $|e| = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg; $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s.

Solución: 4.1. Fotón azul: $E = hc/\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8} / 460 \cdot 10^{-9} = 4{,}32 \cdot 10^{-19}$ J (2,70 eV). $E_{c,\text{máx}} = eV_0 = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}50 = 8{,}01 \cdot 10^{-20}$ J. Función de trabajo: $W = E - eV_0 = 3{,}52 \cdot 10^{-19}$ J $= 2{,}20$ eV. Velocidad máxima: $v = \sqrt{2E_{c,\text{máx}}/m_e} = \sqrt{2 \cdot 8{,}01 \cdot 10^{-20} / 9{,}11 \cdot 10^{-31}} = 4{,}19 \cdot 10^{5}$ m/s. **4.2.** Verde (520 nm): $E = 3{,}82 \cdot 10^{-19}$ J (2,39 eV), mayor que W: hay efecto y $V_0 = (E - W)/e = 0{,}19$ V. Roja (650 nm): $E = 3{,}06 \cdot 10^{-19}$ J (1,91 eV), menor que $W = 2{,}20$ eV: **no hay efecto fotoeléctrico** y no hace falta ningún potencial (la longitud de onda umbral es $\lambda_0 = hc/W = 565$ nm, y 650 nm es mayor). Coincide con la pauta oficial (2,20 eV; $4{,}19 \cdot 10^{5}$ m/s; 0,19 V; con la roja, sin efecto). Cataluña resta 0,25 por problema si hay errores de unidades o faltan: «Un o més errors d'unitats o no posar-les (resultats intermedis i finals) en un problema es penalitzaran amb 0,25 punts en aquest problema» [uno o más errores de unidades, o no ponerlas, se penalizan con 0,25 puntos en ese problema].

PAU Asturias 2026 (ordinaria), Pregunta 7 (se eligen 5 preguntas de 8; 2 puntos). Nos encontramos en un laboratorio con la intención de realizar un experimento de difracción de electrones para caracterizar un material que estamos investigando. En dicho experimento los electrones que inciden sobre el material objeto de estudio poseen una longitud de onda, $\lambda_e = 2 \cdot 10^{-10}$ m. a. ¿Cuál es la velocidad de los electrones que inciden sobre el material? (1 punto) b. Supongamos que una partícula de masa $m = 5 \cdot 10^{-15}$ kg se desplaza con la misma velocidad que el haz de electrones del apartado anterior. ¿Cuál será la longitud de onda de De Broglie asociada a dicha partícula? (1 punto) Datos del examen: $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg; $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Solución: a. $v = \dfrac{h}{m_e \lambda} = \dfrac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 10^{-10}} = 3{,}64 \cdot 10^{6}$ m/s, el 1,2 % de c: no hace falta la relatividad (Asturias la pide por encima de 10^{7} m/s). Esa longitud de onda es del orden de la separación entre átomos del material: por eso hay difracción. b. $\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-15} \cdot 3{,}64 \cdot 10^{6}} = 3{,}64 \cdot 10^{-26}$ m. Comparada por órdenes de magnitud, como pide Asturias (indicador 66): es unas $5 \cdot 10^{15}$ veces menor que la del electrón y unas $3 \cdot 10^{10}$ veces menor que un núcleo, así que su comportamiento ondulatorio es indetectable. Coincide con la solución oficial ($3{,}64 \cdot 10^{6}$ m/s y $3{,}64 \cdot 10^{-26}$ m).

PAU Andalucía 2026 (extraordinaria), Ejercicio D, b2) (a elegir entre b1 y b2; 1,5 puntos). Un núcleo de helio se acelera aplicando una diferencia de potencial, siendo su longitud de onda de De Broglie $3{\cdot}10^{-11}$ m. Calcule razonadamente: i) (1 punto) la velocidad y la energía cinética del núcleo de helio; ii) (0,5 puntos) la diferencia de potencial aplicada. $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_{\mathrm{He}} = 6{,}64 \cdot 10^{-27}$ kg

Solución: i) $v = \dfrac{h}{m\lambda} = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{6{,}64 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{-11}} = 3{,}33 \cdot 10^{3}$ m/s. $E_c = \tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 6{,}64 \cdot 10^{-27} \cdot (3{,}33 \cdot 10^{3})^2 = 3{,}68 \cdot 10^{-20}$ J (0,23 eV). ii) Deducción, que Andalucía exige: partiendo del reposo, el trabajo del campo eléctrico se convierte en energía cinética, $q\,\Delta V = E_c$. El núcleo de helio tiene **dos protones**, así que $q = 2e = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C y $\Delta V = \dfrac{E_c}{2e} = \dfrac{3{,}68 \cdot 10^{-20}}{3{,}2 \cdot 10^{-19}} = 0{,}115$ V. Si usas e en vez de $2e$ obtienes el doble, 0,23 V: es el error típico. Andalucía no publica resultados numéricos.

Fuentes

1. Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato (Física, bloque D: «Dualidad onda-corpúsculo y cuantización: hipótesis de De Broglie y efecto fotoeléctrico. Principio de incertidumbre formulado en base al tiempo y la energía»)
2. NIST: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants (h, e, c, m_e, constantes de Wien y de Stefan-Boltzmann)
3. BIPM: The International System of Units (SI Brochure), con h y e exactas desde 2019
4. Premio Nobel de Física 1921 (Albert Einstein, ley del efecto fotoeléctrico; entregado en 1922)
5. Premio Nobel de Física 1923 (Robert A. Millikan, carga elemental y efecto fotoeléctrico)
6. Premio Nobel de Física 1929 (Louis de Broglie, naturaleza ondulatoria de los electrones)
7. Premio Nobel de Física 1937 (Davisson y Thomson, difracción de electrones en cristales)
8. Premio Nobel de Física 1986 (Ernst Ruska, primer microscopio electrónico)
9. Andalucía: Directrices y orientaciones generales PAU 2026-27, Física
10. Cataluña: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
11. Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque D (Comisión de Física de la PAU, 12-mar-2026)
12. Asturias: Información sobre la PAU 2025/2026, Física (Universidad de Oviedo)
13. Illes Balears: Formulari de Física, convocatòria 2027 (UIB)
14. Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027 (Universidad de Murcia)
15. Murcia: Resolución PAU 2026, junio (coordinador de Física, Universidad de Murcia)
16. Galicia: PAU 2027, Prácticas de Física de 2.º de Bachillerato (CiUG, 20-oct-2026)

17. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física PAU 2026-27
18. Examen PAU Física País Vasco 2026 (ordinaria)
19. Solucionario y criterios PAU Física País Vasco 2026 (ordinaria)
20. Examen, criterios y soluciones PAU Física Madrid 2026 (ordinaria)
21. Examen PAU Física Castilla y León 2026 (ordinaria)
22. Criterios de corrección PAU Física Castilla y León 2026 (ordinaria)
23. Examen PAU Física Cataluña 2026 (ordinaria, castellano)
24. Criteris d'avaluació PAU Física Cataluña 2026 (ordinaria)
25. Examen PAU Física Asturias 2026 (ordinaria)
26. Examen resuelto PAU Física Asturias 2026 (ordinaria)
27. Examen PAU Física Andalucía 2026 (ordinaria)
28. Examen PAU Física Andalucía 2026 (extraordinaria)
29. Modelo y criterios PAU Física Andalucía 2025
30. Examen PAU Física Galicia 2026 (ordinaria)
31. Solución PAU Física Galicia 2026 (ordinaria, en gallego)
32. Examen PAU Física Comunitat Valenciana 2026 (ordinaria)
33. Criterios PAU Física Comunitat Valenciana 2026 (ordinaria)
34. Examen PAU Física Comunitat Valenciana 2025 (reserva de junio)
35. Criterios PAU Física Comunitat Valenciana 2025 (reserva de junio)
36. Examen PAU Física Castilla-La Mancha 2026 (ordinaria)
37. Criterios PAU Física Castilla-La Mancha 2026 (ordinaria)
38. Examen y criterios generales PAU Física Murcia 2026 (ordinaria)

Imágenes: Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib).

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 1 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.