Potencial y energía eléctrica; cargas en campos eléctricos

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 fuerza eléctrica es **conservativa**: tiene energía potencial, $E_p = Kq_1q_2/r$, y **potencial**, $V = Kq/r$, un **escalar con signo** que se suma sin vectores. Con él sale el **trabajo** para mover una carga, $W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B)$, y su **signo** (espontáneo o forzado). En campo uniforme, $E = \Delta V/d$, y una carga acelerada por una diferencia de potencial gana $|q|\Delta V$ de energía cinética (en **eV**). El tema sale en **58 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades: potencial y trabajo en 57, cargas aceleradas o desviadas en 17.

1 Energía potencial eléctrica de dos cargas

La fuerza de Coulomb (Tema 7) es **central** y depende solo de la distancia, así que es **conservativa**: el trabajo que hace al llevar una carga de un punto a otro no depende del camino. Por eso se le puede asociar una **energía potencial**, como a la gravedad (Tema 4). Para dos cargas puntuales q_1 y q_2 separadas una distancia r:

$$E_p = K\,\frac{q_1\,q_2}{r}$$

con $K = 1/(4\pi\varepsilon_0) = 8{,}988 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ (en los exámenes, casi siempre $9 \cdot 10^9$) y el origen ($E_p = 0$) en el infinito.

- **Las cargas van con su signo.** Si se repelen (mismo signo), $E_p > 0$; si se atraen (signos opuestos), $E_p < 0$. Es la gran diferencia con la gravedad, donde $E_p = -GMm/r$ es siempre negativa porque las masas solo se atraen.
- **Qué significa el valor.** E_p es el trabajo que hace el campo al llevar la carga desde ese punto hasta el infinito. Con $E_p < 0$ las cargas están «ligadas»: para separarlas hasta el infinito alguien tiene que aportar, como mínimo, $|E_p|$.
- **Trabajo del campo y energía potencial:** $W_{\text{campo}}(A \to B) = -\Delta E_p = E_{p,A} - E_{p,B}$. Si la energía potencial baja, el campo hace trabajo positivo y el movimiento es **espontáneo**.
- **Conservación de la energía:** si solo actúa la fuerza eléctrica, $E_c + E_p = \text{constante}$. Es la ecuación que resuelve los problemas de «se suelta», «se lanza hacia» o «hasta qué distancia se acerca».
- **Sistema aislado de dos cargas:** las fuerzas son iguales y opuestas, pero si una está **fija** toda la energía cinética se la lleva la otra. Los enunciados lo dicen siempre («se mantiene fija una de las partículas»).

	Gravitatorio (Tema 4)	Eléctrico (este tema)
Energía potencial	$E_p = -G\dfrac{Mm}{r}$, siempre < 0	$E_p = K\dfrac{q_1 q_2}{r}$, con el signo de $q_1 q_2$
Potencial	$V = -G\dfrac{M}{r}$ (J/kg), siempre < 0	$V = K\dfrac{q}{r}$ (V), con el signo de q
Constante	$G = 6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$	$K = 8{,}988 \cdot 10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$
Movimiento espontáneo	Hacia menor V (las masas siempre caen)	Cargas positivas, hacia menor V; negativas, hacia mayor V

En los dos campos el origen de energía potencial está en el infinito y el trabajo del campo es $W = -\Delta E_p$.

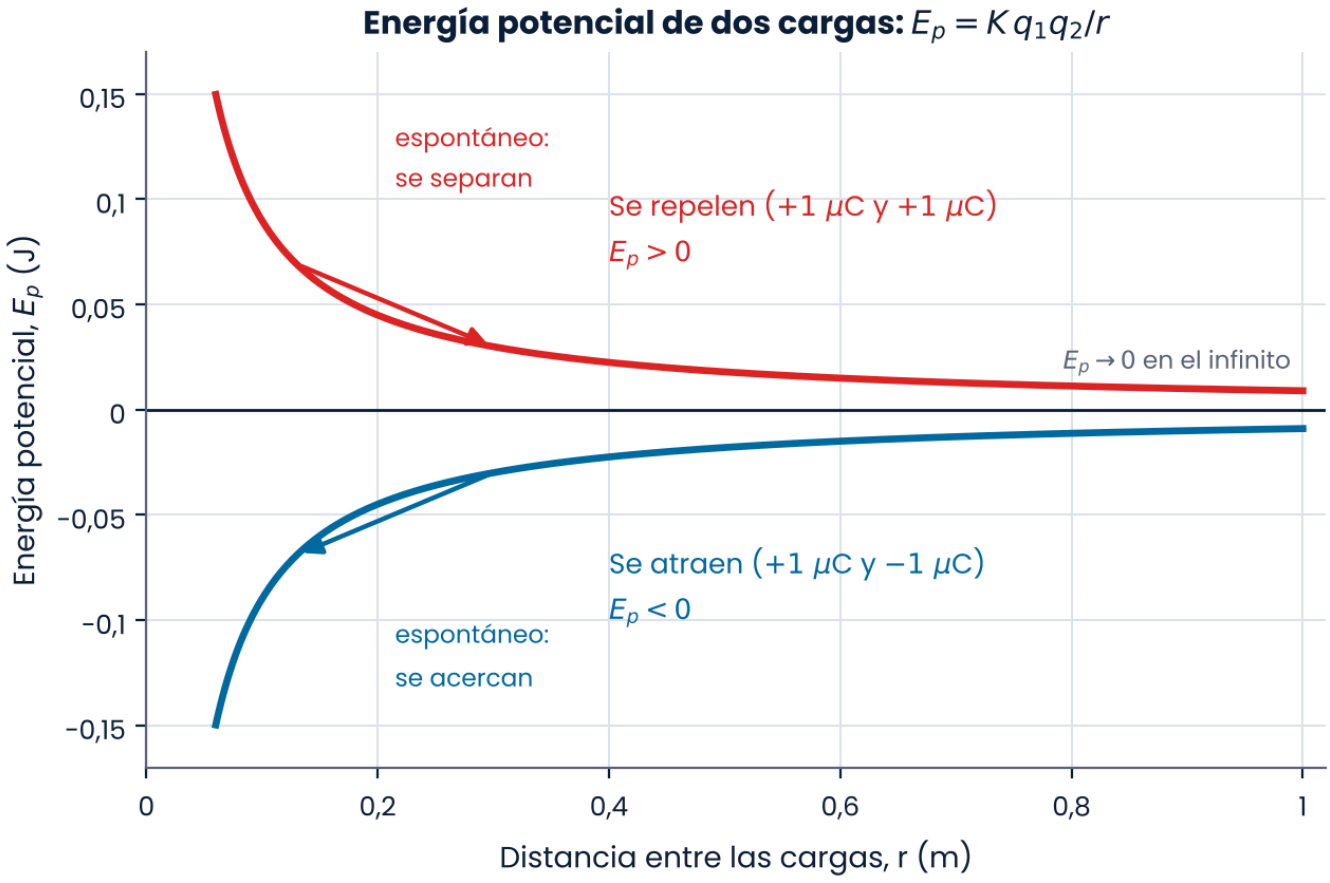
ENERGÍA DE UN PAR Y TRABAJO PARA SEPARARLO

Dos cargas de $+2\ \mu\mathrm{C}$ y $-3\ \mu\mathrm{C}$ están a 30 cm. ¿Cuánto vale su energía potencial? ¿Qué trabajo mínimo hay que hacer para separarlas hasta el infinito? ($K = 9 \cdot 10^9\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$)

Respuesta modelo

$E_p = K\,q_1 q_2/r = 9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6}) \cdot (-3 \cdot 10^{-6})/0{,}30 = -0{,}18$ J. Al separarlas hasta el infinito, E_p pasa de $-0{,}18$ J a 0: $\Delta E_p = +0{,}18$ J. El campo hace $W_{\text{campo}} = -\Delta E_p = -0{,}18$ J (se opone, porque se atraen) y el agente externo, como mínimo, $W_{\text{ext}} = +0{,}18$ J (sin ganar energía cinética).

Por qué puntúa. El signo negativo de la energía no es un error: dice que el sistema está ligado.



Energía potencial de dos cargas de 1 µC. Si se repelen, $E_p > 0$ y baja al separarse; si se atraen, $E_p < 0$ y baja al acercarse. El sistema evoluciona solo hacia donde E_p disminuye.

2 Energía de un sistema de varias cargas

La **energía potencial electrostática de un sistema** de cargas puntuales es el trabajo que hay que hacer para **formar** esa configuración trayendo las cargas una a una desde el infinito (sin darles velocidad). Se calcula sumando la energía de **cada pareja una sola vez**:

$$U = \sum_{\text{parejas}} K \frac{q_i\, q_j}{r_{ij}}$$

Con tres cargas, $U = K\left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right)$.

- **Cada pareja, una vez.** Con tres cargas hay 3 parejas; con cuatro, 6. Si sumas $q_1 q_2$ y $q_2 q_1$ cuentas el doble. La forma equivalente $U = \frac{1}{2}\sum_i q_i V_i$ lleva el $\frac{1}{2}$ justamente por eso.
- **Signo:** $U > 0$ quiere decir que has tenido que hacer trabajo para juntarlas (el sistema tiende a separarse); $U < 0$, que el campo ha hecho el trabajo por ti (el sistema está ligado y para deshacerlo hay que aportar $|U|$).
- **Trabajo para traer una carga más:** $W_{\text{ext}} = q\,V_P$, siendo V_P el potencial que crean en su sitio final las cargas que ya estaban. Es lo que pide, por ejemplo, Aragón 2025 (ordinaria, 2b): traer 1 nC desde el infinito hasta un punto cercano a dos cargas de 2 nC.
- **Trabajo para mover una carga del sistema:** solo cambian las parejas en las que está esa carga; las demás no se mueven y su energía no cambia.

TRES CARGAS EN UN TRIÁNGULO

En los vértices de un triángulo equilátero de 10 cm de lado hay $+1\ \mu\text{C}$, $+1\ \mu\text{C}$ y $-2\ \mu\text{C}$. Calcula la energía del sistema e interpreta el signo. ($K = 9 \cdot 10^9$ N·m²/C²)

Respuesta modelo

Las tres distancias valen $a = 0{,}10$ m: $U = \frac{K}{a}(q_1q_2 + q_1q_3 + q_2q_3) = \frac{9\cdot 10^9}{0{,}10}(1 - 2 - 2)\cdot 10^{-12} = -0{,}27$ J. Es negativa: al formar el sistema, el campo hizo 0,27 J de trabajo (domina la atracción de la carga negativa) y para separar las tres cargas hasta el infinito hay que aportar, como mínimo, 0,27 J.

Por qué puntúa. Escribe las tres parejas antes de sustituir: el corrector ve que no te dejas ninguna.

Dónde lo piden por su nombre

Cataluña lo pone en la lista de lo que se puede pedir: «L'energia electrostàtica d'un sistema de càrregues puntuals» [la energía electrostática de un sistema de cargas puntuales] (Orientacions PAU 2027). Ha caído en **Cantabria** (2025 ordinaria: energía de tres cargas de ±5 mC), **Castilla y León** (2025 ordinaria: trabajo para formar tres cargas en un triángulo equilátero e interpretación del signo) y **La Rioja** (2025 extraordinaria: energía de la distribución).

3 Potencial eléctrico de cargas puntuales

El **potencial eléctrico** en un punto es la energía potencial por unidad de carga positiva colocada en él: $V = E_p/q'$. No depende de la carga de prueba: es una propiedad del punto, creada por las cargas que producen el campo. Para una carga puntual q a distancia r:

$$V = K\frac{q}{r}$$

Se mide en **voltios**: $1\ \mathrm{V} = 1\ \mathrm{J/C}$. También es el trabajo que hace el campo al llevar la unidad de carga positiva desde el punto hasta el infinito.

- **Es un escalar con signo.** Una carga positiva crea potencial positivo y una negativa, negativo. Nada de vectores ni de componentes.
- **Principio de superposición:** el potencial de varias cargas es la **suma algebraica** de los potenciales de cada una, $V = K\sum_i q_i/r_i$. Solo necesitas las distancias r_i al punto, no los ángulos. Por eso es más corto que sumar campos (Tema 7).
- **Energía de una carga en un punto:** $E_p = q\,V$. Ojo con el signo de q: un electrón en un punto de potencial positivo tiene energía potencial **negativa**.
- **Potencial y campo de una sola carga en el mismo punto:** $|V| = K|q|/r$ y $E = K|q|/r^2$, así que $r = |V|/E$. Con eso se sacan r y q cuando te dan los dos valores (Extremadura y Madrid, extraordinarias de 2026).
- **Deducción que piden algunas comunidades** (Murcia: «Definir el potencial eléctrico a partir del trabajo»; Aragón, modelo 2026: definir el potencial y dar su expresión): el trabajo del campo de q al llevar q' de r_A a r_B es $W = \int_{r_A}^{r_B} K\frac{qq'}{r^2}\,dr = Kqq'\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$. Con $r_B \to \infty$: $W_{A\to\infty} = Kqq'/r_A = E_{p,A}$, y dividiendo entre q', $V_A = Kq/r_A$.

CARGA Y DISTANCIA A PARTIR DE E Y V

En un punto, el potencial creado por una carga puntual es 3600 V y el módulo del campo, $1{,}2\cdot10^4$ N/C. ¿A qué distancia está la carga y cuánto vale? ($K = 9\cdot10^9$ N·m²/C²)

Respuesta modelo

Dividiendo: $\frac{V}{E} = \frac{Kq/r}{Kq/r^2} = r = \frac{3600}{1{,}2\cdot10^4} = 0{,}30\ \mathrm{m}$. Entonces $q = \frac{V\,r}{K} = \frac{3600\cdot0{,}30}{9\cdot10^9} = 1{,}2\cdot10^{-7}\ \mathrm{C} = 120\ \mathrm{nC}$, positiva porque $V > 0$.

Por qué puntúa. Del campo solo te dan el módulo: el signo de la carga lo da el potencial.

Escalar, y con su signo

El error que más cuesta en este tema: escribir el potencial como un vector o quitarle el signo a la carga. **Castilla y León** avisa en sus criterios de que dar carácter vectorial a una magnitud escalar «de ninguna manera, podrá ser considerado como un error leve».

4 Dónde se anula el potencial (y por qué no es donde se anula el campo)

Es un apartado clásico: «determina el punto del segmento entre las cargas en el que el potencial es nulo». Como V es una suma de escalares, solo se puede anular si hay cargas de **los dos signos**.

- **Cargas del mismo signo:** el potencial no se anula en ningún punto a distancia finita (todas las contribuciones tienen el mismo signo). Es la respuesta razonada de Extremadura 2025 (extraordinaria): dos cargas positivas, ningún punto con $V = 0$.
- **Cargas de signo contrario y distinto valor absoluto, q_1 y q_2, separadas d:** en el eje hay dos puntos con $V = 0$, los dos **más cerca de la carga de menor valor absoluto**: uno entre las cargas y otro fuera,

al otro lado de la pequeña. Se plantea $\frac{|q_1|}{r_1} = \frac{|q_2|}{r_2}$ con las distancias de cada zona. Si las dos cargas tienen el mismo valor absoluto, solo se anula en el punto medio (y en todo el plano mediador).

- **Fuera del eje** también hay puntos con $V = 0$: forman una superficie equipotencial (con cargas iguales y opuestas, el plano mediador entero).
- **Campo nulo:** con cargas de signo contrario y distinto valor absoluto, el punto de $E = 0$ está **fuera** del segmento, al lado de la pequeña, y ahí $V \neq 0$ (si son iguales y opuestas, no hay punto de campo nulo a distancia finita). Con cargas del mismo signo, $E = 0$ está entre ellas y ahí $V \neq 0$. Son preguntas distintas y salen en sitios distintos.

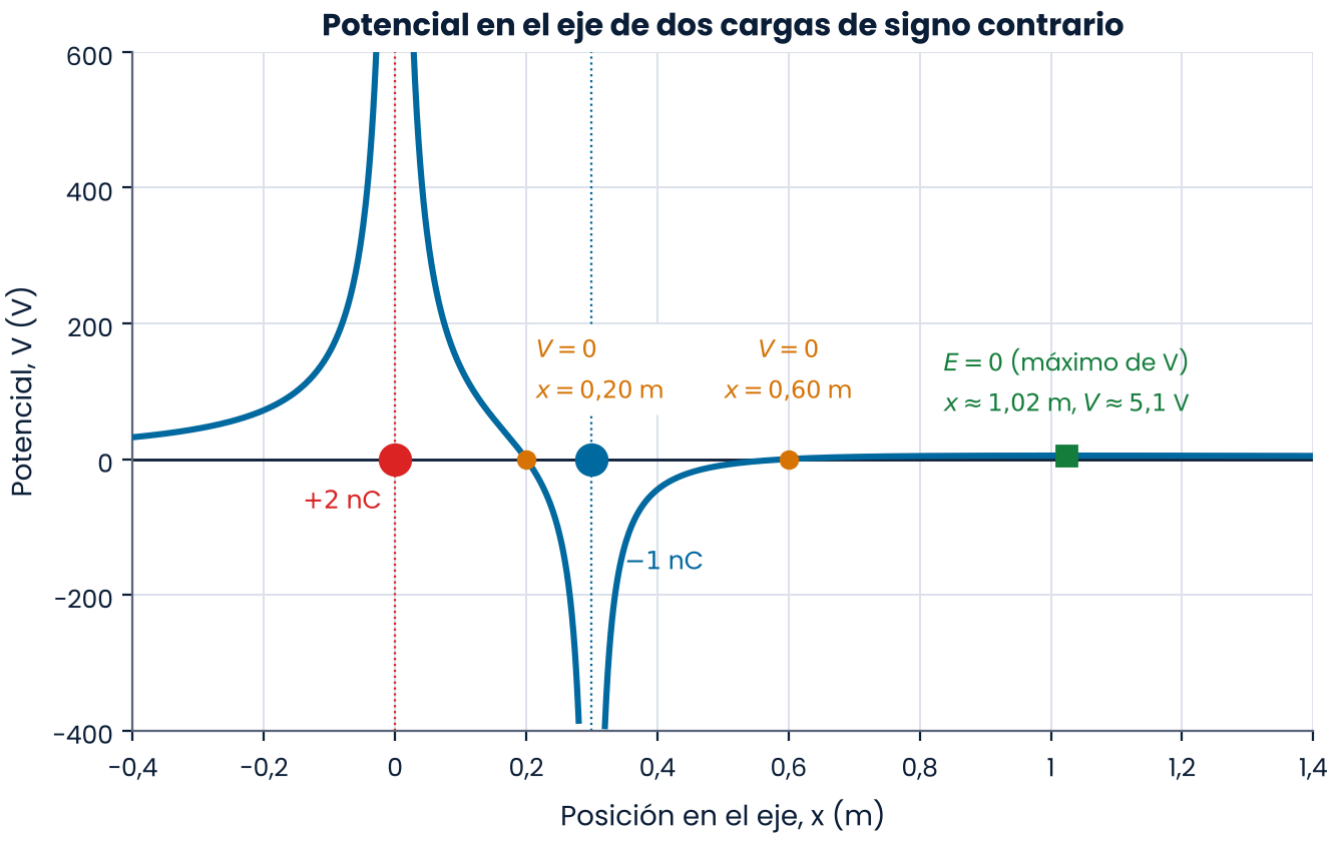
PUNTOS DE POTENCIAL NULO EN EL EJE

Una carga de $+2$ nC está en $x = 0$ y otra de -1 nC en $x = 0{,}30$ m. ¿En qué puntos del eje se anula el potencial?

Respuesta modelo

Entre las cargas $(0 < x < 0{,}30)$: $\frac{2}{x} = \frac{1}{0{,}30 - x} \Rightarrow 0{,}60 - 2x = x \Rightarrow x = 0{,}20$ m. A la derecha de la negativa ($x > 0{,}30$): $\frac{2}{x} = \frac{1}{x - 0{,}30} \Rightarrow 2x - 0{,}60 = x \Rightarrow x = 0{,}60$ m. A la izquierda de la positiva: $\frac{2}{|x|} = \frac{1}{|x| + 0{,}30}$ daría $2|x| + 0{,}60 = |x|$, es decir, $|x| = -0{,}60$ m: imposible. Solución: $x = 0{,}20$ m y $x = 0{,}60$ m.

Por qué puntúa. Si te piden solo el punto «del segmento», da el de 0,20 m, pero dibujar la zona ayuda a no equivocarse de ecuación.



Potencial en el eje de $+2$ nC (en $x = 0$) y -1 nC (en $x = 30$ cm). $V = 0$ en $x = 0{,}20$ m y en $x = 0{,}60$ m. El campo se anula en $x \approx 1{,}02$ m, donde V tiene un máximo (la pendiente es cero) y vale unos 5,1 V, no cero.

5 Diferencia de potencial y trabajo: cómo acertar el signo

Casi todos los problemas del tema terminan en «calcula el trabajo para llevar la carga q de A a B e interpreta el signo». Todo sale de una sola relación:

$$W_{\text{campo}}(A \to B) = -\Delta E_p = q\,(V_A - V_B) = -q\,\Delta V$$

con $\Delta V = V_B - V_A$ (final menos inicial).

- **Trabajo del campo frente a trabajo externo.** Si la carga sale y llega en reposo (o el enunciado dice «trabajo necesario», «trabajo que hay que realizar»), el agente externo hace $W_{\text{ext}} = -W_{\text{campo}} = q\,\Delta V$. Lee bien cuál te piden y **di cuál das**.
- **Interpretación del signo** (lo piden expresamente, entre otras, Andalucía, Cantabria, Castilla y León, Castilla-La Mancha y Cataluña en 2026; en Cantabria, Castilla y León y Castilla-La Mancha tiene puntos propios): $W_{\text{campo}} > 0$ → el campo lleva la carga solo, el movimiento es **espontáneo** y la energía potencial disminuye. $W_{\text{campo}} < 0$ → el movimiento es **forzado**: un agente externo tiene que hacer trabajo contra el campo y la energía potencial aumenta.
- **Regla rápida:** las cargas **positivas** se mueven solas hacia potenciales **menores**; las **negativas**, hacia potenciales **mayores**. Las dos cosas son «bajar» de energía potencial, porque $E_p = qV$.
- **No depende del camino.** Como la fuerza es conservativa, el trabajo entre A y B es el mismo por cualquier trayectoria, y en un camino cerrado es cero (Asturias, modelo 2025: trabajo por dos caminos distintos).
- **Entre dos puntos con el mismo potencial**, el trabajo es nulo, aunque la carga recorra mucho camino (Comunitat Valenciana 2026 ordinaria: ¿es equipotencial la diagonal?).

Calcula V_A y V_B con superposición, cada carga con su signo.

↓

Escribe la fórmula con símbolos: $W_{\text{campo}} = q\,(V_A - V_B)$.

↓

Sustituye q **con su signo** y los potenciales con el suyo, entre paréntesis.

↓

Da el resultado con unidades (J) y di si es el trabajo del campo o el externo.

↓

Interpreta: espontáneo o forzado, y si la energía potencial sube o baja.

Carga	Va hacia…	W_{campo}	¿Qué pasa?
Positiva	Menor potencial	> 0	Espontáneo; E_p baja
Positiva	Mayor potencial	< 0	Forzado; E_p sube
Negativa	Mayor potencial	> 0	Espontáneo; E_p baja
Negativa	Menor potencial	< 0	Forzado; E_p sube

Con $W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B)$ y la carga con su signo, la tabla sale sola: no la memorices, compruébala.

EL SIGNO, CON NÚMEROS

Una carga de $+3$ nC pasa de un punto A con $V_A = 200$ V a otro B con $V_B = -100$ V. ¿Qué trabajo hace el campo? ¿Y si la carga fuese un electrón?

Respuesta modelo

$W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B) = 3 \cdot 10^{-9} \cdot (200 - (-100)) = 9 \cdot 10^{-7}\ \text{J} > 0$: el movimiento es espontáneo (una carga positiva va hacia menor potencial) y su energía potencial baja $9 \cdot 10^{-7}$ J. Con un electrón, $W_{\text{campo}} = -1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 300 = -4{,}8 \cdot 10^{-17}\ \text{J} < 0$: habría que forzarlo; él solo iría de B a A.

Por qué puntúa. Fíjate en que «$200 - (-100)$» lleva paréntesis: es donde se pierden los signos.

Cantabria: el signo mal es un cero

En sus criterios de 2026: «Si el signo del trabajo está mal, habiendo calculado correctamente los potenciales inicial y final, se considera error conceptual, y se calificará esa parte con un cero». Y en **Castilla y León** la interpretación del signo tiene su propia nota (0,2–0,25 puntos).

6 Superficies equipotenciales y relación entre campo y potencial

Una **superficie equipotencial** es el conjunto de puntos con el mismo potencial. Para una carga puntual son esferas centradas en ella; entre dos placas paralelas, planos paralelos a las placas.

- **Las líneas de campo cortan perpendicularmente a las equipotenciales** y apuntan hacia donde el potencial **disminuye**. Si no fuese así, el campo tendría una componente a lo largo de la superficie y habría trabajo al moverse por ella.
- **Mover una carga por una equipotencial no cuesta trabajo**: $W = q \cdot 0 = 0$.
- **Dos equipotenciales no se cortan** (un punto no puede tener dos potenciales) y donde están más juntas el campo es más intenso.
- **Campo uniforme** (entre dos placas paralelas, lejos de los bordes):

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

  con ΔV la diferencia de potencial entre las placas y d su separación. Por eso el campo se mide también en **V/m** ($1\ \text{V/m} = 1\ \text{N/C}$). Su sentido: de la placa positiva (mayor potencial) a la negativa.
- **En una dimensión,** $E_x = -\dfrac{dV}{dx}$: el campo es la pendiente de $V(x)$ cambiada de signo. Si V baja al avanzar en x, el campo apunta hacia $+x$. Con una gráfica $V(x)$ recta, el campo es uniforme.
- **Una equipotencial no es una línea de campo.** Al dibujar, las líneas llevan flecha; las equipotenciales, no (suelen ir discontinuas).

CAMPO ENTRE PLACAS Y TRABAJO

Dos placas paralelas separadas 5,0 mm tienen una diferencia de potencial de 150 V. Calcula el campo y el trabajo del campo al llevar un protón de la placa positiva a la negativa. ($e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C)

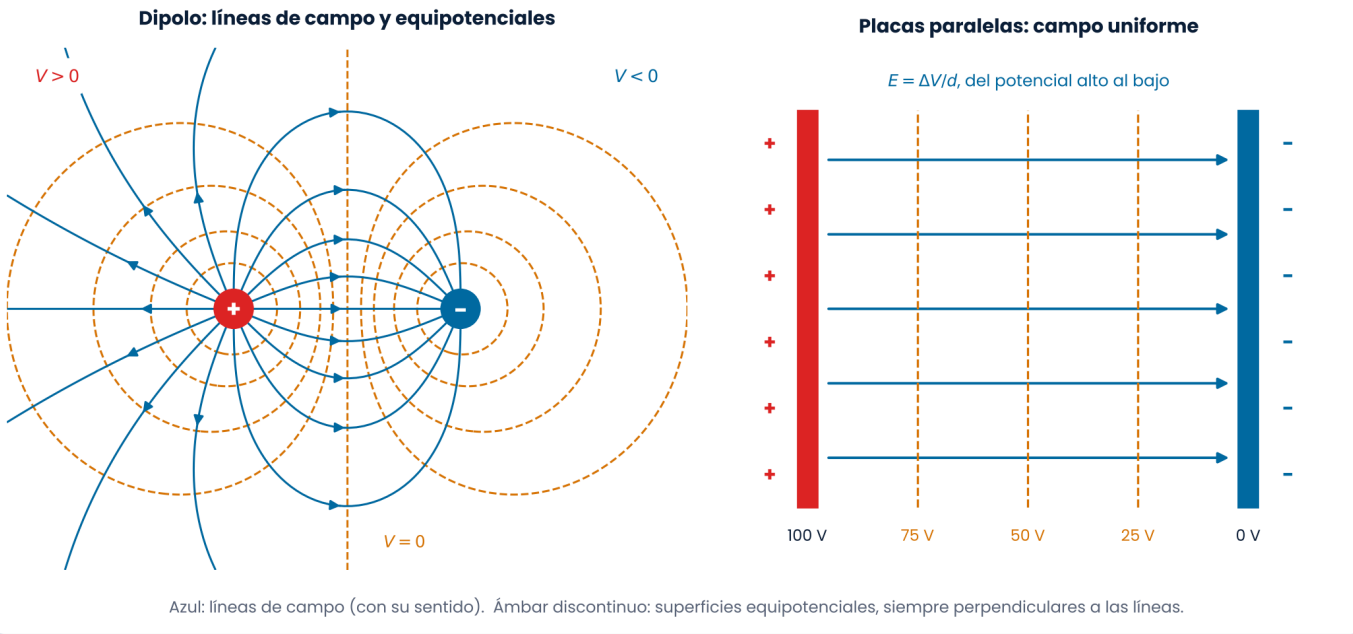
Respuesta modelo

$E = \Delta V/d = 150/5{,}0 \cdot 10^{-3} = 3{,}0 \cdot 10^{4}$ V/m, de la placa positiva a la negativa. $W_{\text{campo}} = q(V_{+} - V_{-}) = 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 150 = 2{,}4 \cdot 10^{-17}$ J > 0: espontáneo; el protón gana esa energía cinética. Lo mismo sale con $W = F\,d = eE\,d$.

Por qué puntúa. $E = \Delta V/d$ solo vale en campo uniforme; con cargas puntuales usa $V = Kq/r$.

El gradiente, según tu comunidad

Andalucía lo dice para el campo electrostático: «no se requerirá, en ningún caso, la utilización del concepto de gradiente» (Orientaciones 2026-27); basta $E = \Delta V/d$ en campo uniforme. **Extremadura** pone la misma frase en su bloque del campo gravitatorio (Aspectos curriculares 2026-27, Bloque A); el bloque del campo electromagnético (2025-26; aún sin versión 2026-27) no habla del gradiente. **Madrid** lo excluye en las directrices del campo gravitatorio («No problemas de gradiente», 2025-26; pendiente de confirmar para 2027), pero en la ordinaria de 2026 **dio en el enunciado** $E(x) = -dV/dx$ para un caso eléctrico: si te dan la relación, se aplica. **Cataluña** pide reconocer «línies de camp elèctric i superfícies equipotencials» en sus prácticas de referencia y puntúa los dibujos.



Líneas de campo y superficies equipotenciales. A la izquierda, un dipolo: las líneas salen de la carga positiva y entran en la negativa, y el plano mediador es la equipotencial $V = 0$. A la derecha, dos placas con 100 V: campo uniforme y equipotenciales planas igual de separadas.

7 Conductores en equilibrio: esfera cargada y esferas unidas por un hilo

En un conductor en equilibrio las cargas libres no se mueven: el campo dentro es nulo (lo ves con Gauss en el Tema 7) y, por tanto, **todo el conductor está al mismo potencial**; su superficie es una equipotencial.

- **Esfera conductora de radio R con carga Q:** fuera, campo y potencial como si toda la carga estuviese en el centro, $V = KQ/r$ para $r \geq R$. En la superficie y en todo el interior, $V = KQ/R$ (constante) y $E = 0$ dentro.

- **Dos esferas unidas por un hilo conductor** (y lejos una de otra): la carga pasa de una a otra hasta que tienen **el mismo potencial**. Se plantean dos ecuaciones: conservación de la carga, $Q'_1 + Q'_2 = Q_1 + Q_2$, e igualdad de potenciales, $Q'_1/R_1 = Q'_2/R_2$.
- **La esfera grande se queda con más carga**, pero el campo en la superficie, $E = V/R$, es **mayor en la pequeña**. Es el **poder de las puntas**: en las zonas con menor radio de curvatura el campo es más intenso y puede ionizar el aire. En eso se basa el **pararrayos**.
- **Condensadores: Madrid** los excluye expresamente («No condensadores y capacidad», directrices de 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). Las placas de este tema son solo un modo de tener un campo uniforme.

REPARTO DE CARGA AL UNIR DOS ESFERAS

Una esfera conductora de 2,0 cm de radio con 8,0 nC se une con un hilo fino a otra de 6,0 cm, descargada y muy alejada. ¿Qué carga y qué potencial tiene cada una al final? ¿En cuál es mayor el campo en la superficie? ($K = 9 \cdot 10^9$ N·m²/C²)

Respuesta modelo

Conservación: $Q'_1 + Q'_2 = 8{,}0$ nC. Igual potencial: $Q'_1/0{,}020 = Q'_2/0{,}060 \Rightarrow Q'_2 = 3Q'_1$. Así, $Q'_1 = 2{,}0$ nC y $Q'_2 = 6{,}0$ nC. Potencial común: $V = KQ'_1/R_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-9}/0{,}020 = 900$ V (con la otra esfera sale lo mismo). Campo en la superficie: $E_1 = V/R_1 = 4{,}5 \cdot 10^4$ V/m y $E_2 = V/R_2 = 1{,}5 \cdot 10^4$ V/m: tres veces mayor en la pequeña.

Por qué puntúa. Comprueba siempre que los dos potenciales finales coinciden: es la condición del problema.

Quién lo pregunta

Castilla-La Mancha ha puesto esferas conductoras unidas por un hilo en la ordinaria de 2025 y en la de 2026, y otra vez en el modelo 2027. **Galicia** añade en sus orientaciones el cálculo del campo y del potencial creados por una esfera conductora cargada, y **Extremadura** incorpora en 2026-27 «el análisis de los conductores esféricos como aplicación del teorema de Gauss».

8 Cargas aceleradas por una diferencia de potencial; el electronvoltio

Cuando una carga se mueve libremente en un campo eléctrico, la única fuerza que hace trabajo es la eléctrica, que es conservativa: lo que pierde de energía potencial lo gana de cinética. Si parte del reposo y atraviesa una diferencia de potencial $|\Delta V|$:

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = |q|\,|\Delta V| \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2\,|q|\,|\Delta V|}{m}}$$

- **Quién se acelera hacia dónde:** las cargas positivas, de mayor a menor potencial; las negativas (electrones), de menor a mayor potencial. Si el enunciado pone a la carga a moverse al revés, se **frena**.
- **No depende de la distancia ni de la forma del campo**: solo de la diferencia de potencial. Por eso un electrón acelerado por 1000 V sale con la misma velocidad si las placas están a 1 cm o a 10 cm.
- **El electronvoltio (eV)** es la energía cinética que gana un electrón al atravesar una diferencia de potencial de 1 V en el vacío (es la definición del Real Decreto 2032/2009 de unidades legales). Desde la redefinición del SI de 2019, la carga elemental es exacta, $e = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C, así que 1 eV $= 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J exactamente. En los exámenes, $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

- **Atajo con eV:** una carga $|q| = n\,e$ que atraviesa ΔV voltios gana $n \cdot \Delta V$ eV. Un protón acelerado por 500 V gana 500 eV; una partícula alfa ($2e$), 1000 eV.
- **Frenado (potencial de frenado):** para parar una carga que lleva E_c hace falta una diferencia de potencial en contra $|\Delta V| = E_c/|q|$. Es la misma idea que el potencial de frenado del efecto fotoeléctrico (Tema 18) y la que se usa para acelerar electrones antes de calcular su longitud de onda de De Broglie.
- **¿Cuándo hay que usar la relatividad?** Mientras la energía cinética sea pequeña frente a la energía en reposo ($m_e c^2 \approx 511$ keV para el electrón), la fórmula clásica vale. Con decenas de kilovoltios la diferencia ya se nota: con 70 kV la fórmula clásica da el 52 % de c y la relativista, el 48 % (el electrón llega a la mitad de c con unos 79 kV). Los enunciados lo avisan (Cataluña 2026: «Desprecie […] los efectos relativistas»). Lo ves en el Tema 17.

Di qué fuerza actúa y que es conservativa: $E_c + E_p = \text{constante}$.

↓

Escribe el balance: $E_{c,A} + qV_A = E_{c,B} + qV_B$.

↓

Despeja: $\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + q(V_A - V_B)$.

↓

Sustituye q con su signo y comprueba que la energía cinética sale positiva (si sale negativa, la carga no llega).

↓

Da v con unidades y comprueba que es menor que c.

ELECTRÓN Y PROTÓN ACELERADOS POR 500 V

Un electrón y un protón parten del reposo y atraviesan una diferencia de potencial de 500 V. Calcula la energía cinética que ganan (en eV y en J) y su velocidad final. ($e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg; $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg)

Respuesta modelo

Los dos ganan lo mismo: $E_c = e\,\Delta V = 500\ \text{eV} = 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 500 = 8{,}00 \cdot 10^{-17}$ J. Electrón: $v = \sqrt{2 \cdot 8{,}00 \cdot 10^{-17}/9{,}11 \cdot 10^{-31}} = 1{,}33 \cdot 10^{7}\ \text{m/s}$ (un 4,4 % de c: la fórmula clásica vale). Protón: $v = \sqrt{2 \cdot 8{,}00 \cdot 10^{-17}/1{,}67 \cdot 10^{-27}} = 3{,}10 \cdot 10^{5}\ \text{m/s}$.

Por qué puntúa. Misma carga, misma energía; la masa decide la velocidad. El protón, unas 1836 veces más pesado, va unas 43 veces más despacio ($\sqrt{1836} \approx 43$).

Andalucía: hay que deducirla

Las Orientaciones 2026-27 de Andalucía incluyen en sus «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)». No escribas $v = \sqrt{2qV/m}$ sin más: parte del balance de energía.

9 Carga que entra en un campo uniforme: frenado y desviación

En un campo uniforme la fuerza $\vec{F} = q\vec{E}$ es constante, así que la aceleración $\vec{a} = q\vec{E}/m$ también lo es: el movimiento es como el de un proyectil en la gravedad (cinemática de 1.º). El peso de electrones y protones es despreciable frente a la fuerza eléctrica (para un electrón con $E = 10^4$ V/m, $eE \approx 1{,}6 \cdot 10^{-15}$ N frente a $mg \approx 8{,}9 \cdot 10^{-30}$ N).

- **Velocidad paralela al campo:** movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (o frenado). Un electrón que entra en el mismo sentido que $\vec{E}$ se frena, porque la fuerza sobre él va en sentido contrario al campo; se para en una distancia $d = \dfrac{mv_0^2}{2|q|E}$ y vuelve.
- **Velocidad perpendicular al campo** (osciloscopio, tubo de rayos catódicos, impresora de chorro de tinta): en la dirección de $\vec{v}_0$ es uniforme, $x = v_0 t$; en la del campo, uniformemente acelerado, $y = \frac{1}{2}at^2$. La trayectoria entre las placas es una **parábola**. Tras salir, sigue en línea recta.
- **Tiempo entre placas de longitud L:** $t = L/v_0$. Desviación a la salida: $y = \dfrac{|q|E}{2m}\left(\dfrac{L}{v_0}\right)^2$; ángulo: $\tan\theta = v_y/v_0 = \dfrac{|q|EL}{mv_0^2}$.
- **Hacia qué placa se desvía:** las cargas positivas, hacia la placa negativa (en el sentido de $\vec{E}$); los electrones, hacia la positiva. Un neutrón no se desvía (Asturias 2025 extraordinaria: electrón, protón y neutrón en el mismo detector).
- **Equilibrio de una carga entre placas:** si el campo es vertical y la fuerza eléctrica compensa el peso, $|q|E = mg$. Es el experimento de **Millikan** (Cataluña 2025 ordinaria) y lo recoge la matriz de **Canarias** («Estudia el equilibrio de una partícula cargada entre dos placas plano paralelas o de una sola placa (infinitas)»).

DESVIACIÓN DE UN ELECTRÓN ENTRE PLACAS

Un electrón entra con $v_0 = 2{,}0 \cdot 10^7$ m/s por el centro de dos placas de 4,0 cm de largo, separadas 1,0 cm, con 100 V entre ellas. ¿Cuánto se desvía al salir y con qué ángulo? ($e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg)

Respuesta modelo

$E = 100/0{,}010 = 1{,}0 \cdot 10^4$ V/m; $a = eE/m = 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}0 \cdot 10^4 / 9{,}11 \cdot 10^{-31} = 1{,}76 \cdot 10^{15}\ \text{m/s}^2$, hacia la placa positiva. Tiempo: $t = L/v_0 = 0{,}040/2{,}0 \cdot 10^7 = 2{,}0 \cdot 10^{-9}$ s. Desviación: $y = \frac{1}{2}at^2 = 3{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{m} = 3{,}5$ mm (menos de los 5 mm que hay hasta la placa: sale). $v_y = at = 3{,}5 \cdot 10^6$ m/s y $\tan\theta = v_y/v_0 = 0{,}176$, $\theta \approx 10{,}0^\circ$.

Por qué puntúa. Comprueba siempre que la desviación es menor que la mitad de la separación; si no, la carga choca con la placa.

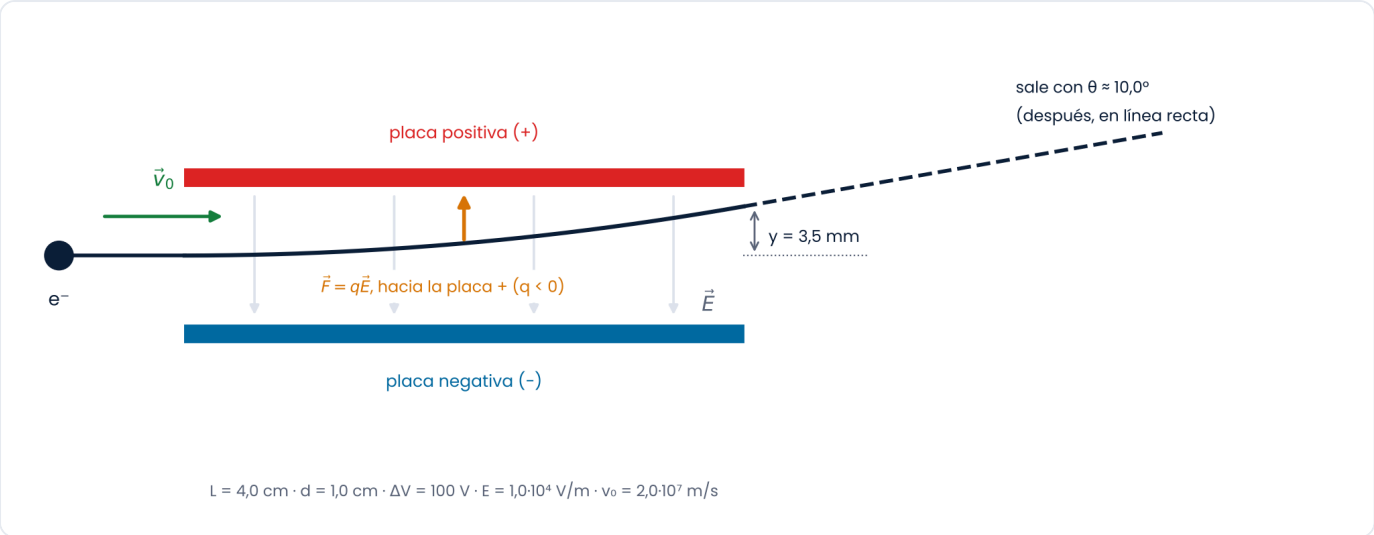
ELECTRÓN QUE ENTRA A FAVOR DEL CAMPO Y SE PARA

Un electrón entra con $3{,}0 \cdot 10^6$ m/s en un campo uniforme de 500 N/C, con la velocidad en el mismo sentido que el campo. ¿Qué distancia recorre hasta pararse? ¿Qué diferencia de potencial ha atravesado? ($e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg)

Respuesta modelo

La fuerza sobre el electrón va contra el campo, así que lo frena. Por energía: $\frac{1}{2}mv_0^2 = eE\,d \Rightarrow d = \dfrac{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot (3{,}0 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 500} = 5{,}1 \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 5{,}1$ cm. Diferencia de potencial: $|\Delta V| = E\,d = \dfrac{mv_0^2}{2e} = 25{,}6$ V; el electrón ha ido hacia potenciales menores (a favor del campo), justo lo contrario de lo que haría solo.

Por qué puntúa. Después de pararse vuelve hacia atrás acelerado: el movimiento es como el de una piedra lanzada hacia arriba.



Electrón desviado entre dos placas ($L = 4{,}0$ cm, $d = 1{,}0$ cm, 100 V, $v_0 = 2{,}0 \cdot 10^7$ m/s). La fuerza va hacia la placa positiva, contra el campo; la trayectoria es una parábola, sale desviado 3,5 mm y luego sigue recto con unos 10°.

10 Aplicaciones: de los rayos X a los aceleradores

Los enunciados competenciales de este tema casi siempre empiezan con una máquina real. Lo que hay detrás es siempre lo mismo: una diferencia de potencial que acelera cargas o un campo que las desvía.

- **Tubo de rayos X:** los electrones que salen del cátodo se aceleran con decenas de kilovoltios hasta el ánodo; al frenarse bruscamente emiten fotones de rayos X (Cataluña 2026, en el ejercicio resuelto de este tema).
- **Osciloscopio y tubo de rayos catódicos:** un cañón de electrones (cátodo caliente y ánodo acelerador) y dos pares de placas que desvían el haz en horizontal y en vertical; la desviación es proporcional a la tensión aplicada a las placas.
- **Impresoras:** en la de chorro de tinta, las gotas cargadas se desvían entre placas para caer donde toca (Murcia 2026: gota acelerada entre placas); en la láser y en la fotocopiadora, el tóner cargado se queda donde el tambor tiene la carga contraria (Aragón 2026).
- **Aceleradores lineales:** encadenan muchas diferencias de potencial (en los reales, campos de radiofrecuencia sincronizados con el paso de las partículas) para dar a la partícula más energía de la que daría una sola. El **Linac4 del CERN** acelera iones negativos de hidrógeno (H^-) hasta 160 MeV y tiene 86 m de largo; los aceleradores lineales de los hospitales aceleran electrones para la radioterapia. En la **protonterapia** se usan protones acelerados (Andalucía 2026 extraordinaria; Comunitat Valenciana, julio de 2025).
- **Pararrayos:** una punta metálica unida a tierra. Por el poder de las puntas, el campo en la punta es muy intenso y la descarga se canaliza por ella hasta el suelo.
- **Tormentas:** entre una nube y el suelo hay campos de miles de voltios por metro que aceleran electrones y partículas de polvo cargadas (Navarra, ordinaria y extraordinaria de 2026).

11 Qué te piden en tu comunidad

Potencial, energía y cargas en campos eléctricos han salido en **58 de las 68 convocatorias** ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades: es el segundo tema que más cae de toda la Física. Ningún documento oficial excluye el tema; lo que cambia son los límites (cuántas cargas, si hay gradiente) y cómo se corrige.

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que dicen sus documentos
Andalucía	Potencial y trabajo con dos cargas (2025), carga que se aleja de otra y acercamiento máximo (2026 ord.), protón en campo uniforme (2026 extr.); en el bloque D, ddp que acelera o frena.	Trabajo de «una carga en presencia de otra (u otras dos)»; sin gradiente; deducir la velocidad tras una ddp (Orientaciones 2026-27).
Aragón	Energía potencial de dos cargas (2025 ord., obligatoria), trabajo desde el infinito y potencial (2025 ord.), placas de una impresora láser (2026 ord.).	Sin exclusiones; dan todos los datos y constantes.
Asturias	Punto de potencial nulo y trabajo (2025 ord.), partículas en un detector con placas (2025 extr.), potencial de dos cargas (2026 ord.), ddp para acelerar un electrón (2026 extr.).	Cargas «en línea o en otras geometrías sencillas contenidas en un plano» (ficha 2025-26).
Illes Balears	Diferencia de potencial y trabajo en el Problema 2 (2025), punto de potencial nulo (2026 ord.), $V_B - V_A$ (2026 extr.).	Formulario con $V = Kq/r$. Errata del modelo 0 2027: «K ≃ 9 × 10⁻⁹»; es $9 \cdot 10^9$.
Canarias	Trabajo con dos o tres cargas (2025), partículas α aceleradas por 1 kV (2025 ord.), electrón acelerado por 2 kV (2026 extr.).	Hasta tres cargas puntuales; trabajo «a partir de la diferencia de potencial»; equilibrio entre placas (matriz 2027).
Cantabria	En las cuatro, en el Apartado 2: potencial en dos puntos y trabajo con signo; energía de tres cargas (2025 ord.).	Signo del trabajo mal = «error conceptual» (0 en esa parte); 80 % planteamiento.
Castilla-La Mancha	Esferas conductoras unidas por un hilo (2025 y 2026 ord.), $W = -q\Delta V$ (2026 ord.), potencial de tres cargas (2026 extr.).	Gauss «con simetría esférica» (orientación Crue 2025-26); el modelo 2027 repite las esferas conductoras unidas por un hilo.
Castilla y León	Trabajo para formar tres cargas (2025 ord.), trabajo con signo (2025 extr., 2026 extr.), deuterones acelerados por 1500 V (2026 extr.).	Signo y esquemas con puntos propios; vector en un escalar no es error leve.
Cataluña	Millikan (2025 ord.), energías del electrón en el átomo (2025 extr.), tubo de rayos X (2026 ord.), trabajo al punto medio (2026 extr.).	Energía de un sistema de cargas y movimiento en campo uniforme (Orientacions 2027); práctica de equipotenciales; -0,25 por unidades, -0,1 por cifras.
Comunitat Valenciana	¿Es equipotencial la diagonal? (2026 ord.), trabajo y punto de potencial nulo (2026 extr.), protones acelerados para protonterapia (julio de 2025).	«Realiza primero el cálculo simbólico y después obtén el resultado numérico» (instrucciones del examen).
Extremadura	Electrón acelerado por 150 V (2025 ord.), ¿hay V = 0? (2025 extr.), trabajo desde el infinito (2026 ord.), q y r con E y V (2026 extr.).	Energía potencial de una distribución de cargas puntuales y movimiento de cargas «en el seno de un campo eléctrico uniforme» (Aspectos curriculares 2025-26, Bloque B).
Galicia	Trabajo y potencial en la P2 a elegir, electrones acelerados por 1000 V (2025 extr., 2026 ord.), electrón en E y B paralelos (2025 ord.).	Añade el potencial de una esfera conductora cargada (orientaciones).
La Rioja	Trabajo mínimo hasta el infinito (2025 ord.), energía de la distribución (2025 extr.), carga a partir de un potencial (2026 ord.), velocidad mínima para llegar al origen (2026 extr.).	«En los problemas de la prueba no se pedirán demostraciones» (guía 2025-26; pendiente de confirmar para 2027).
Madrid	Placas con sonda y gráfica $V(x)$ (2026 ord., obligatoria), q y r con E y V (2026 extr.), positrón que se aleja (2025 ord.).	«No condensadores y capacidad» (directrices 2025-26; pendiente de confirmar para 2027).
Región de Murcia	Gota de tinta entre placas y trabajo externo hasta el infinito (2026 ord.), dos protones y un electrón en un triángulo (2026 extr.).	Deducir el trabajo y «Definir el potencial eléctrico a partir del trabajo» (Especificaciones 2027).

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que dicen sus documentos
Navarra	En las cuatro: potencial y trabajo con cargas puntuales (2025 ord., 2026 ord. y extr.); campo uniforme y electrón acelerado (2025 extr.; tormentas y polvo cargado, 2026).	El Apartado 2 mezcla electrostática con magnetismo; ley mal aplicada = 0 en la pregunta.
País Vasco	Potencial de un dipolo (2025 ord.), si se anula el potencial (2025 extr.); en 2026 no ha caído.	Solo los datos de la tabla y del enunciado.

«No ha caído» no quiere decir «no entra»: en todas las comunidades el tema está en el currículo y ningún documento oficial lo excluye.

12 Ejercicio resuelto: campo, potencial y trabajo con tres cargas (Cantabria 2026)

PAU CANTABRIA 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 4 (APARTADO 2; A ELEGIR ENTRE LAS PREGUNTAS 3 Y 4; 2,5 PUNTOS)

La figura muestra una configuración de tres cargas eléctricas de valores $q_1 = 5\ \mu\text{C}$, $q_2 = -20\ \mu\text{C}$ y $q_3 = 10\ \mu\text{C}$, situadas en las posiciones $(-1, 0)$ cm, $(0, 3)$ cm y $(2, 0)$ cm respectivamente. Calcular: [Figura: ejes X e Y en centímetros con q_1 en $(-1, 0)$, q_2 en $(0, 3)$ y q_3 en $(2, 0)$.] (Dato de la tabla de constantes del examen, que se facilita «a título informativo»: constante de Coulomb $k = 9 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$.)

a) El vector campo eléctrico en el punto $(0, 0)$ cm debido a las cargas q_1, q_2 y q_3. (1 punto)

b) El potencial eléctrico en los puntos $(0, 0)$ cm y $(3, 3)$ cm. (1 punto)

c) El trabajo realizado por el campo eléctrico creado por q_1, q_2 y q_3 para trasladar una carga de $1\ \mu\text{C}$ desde el punto $(0, 0)$ cm hasta el punto $(3, 3)$ cm, interpretando el signo del trabajo obtenido. (0,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** campo de cada carga con $E_i = k|q_i|/r_i^2$, dirección y sentido con un dibujo (sale de las positivas, entra en las negativas) y suma vectorial. Es la parte del Tema 7; pasa todo a metros.
2. q_1 (positiva) está a $r_1 = 0{,}01$ m, a la izquierda del origen: su campo en el origen se aleja de ella, hacia $+x$. $E_1 = \dfrac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{(0{,}01)^2} = 4{,}5 \cdot 10^8$ N/C, así que $\vec{E}_1 = 4{,}5 \cdot 10^8\,\vec{\imath}$ N/C.
3. q_2 (negativa) está a $r_2 = 0{,}03$ m, encima del origen: su campo apunta hacia ella, hacia $+y$. $E_2 = \dfrac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{(0{,}03)^2} = 2{,}0 \cdot 10^8$ N/C, así que $\vec{E}_2 = 2{,}0 \cdot 10^8\,\vec{\jmath}$ N/C.
4. q_3 (positiva) está a $r_3 = 0{,}02$ m, a la derecha: su campo se aleja de ella, hacia $-x$. $E_3 = \dfrac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{(0{,}02)^2} = 2{,}25 \cdot 10^8$ N/C, así que $\vec{E}_3 = -2{,}25 \cdot 10^8\,\vec{\imath}$ N/C.
5. Superposición: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = (4{,}5 - 2{,}25) \cdot 10^8\,\vec{\imath} + 2{,}0 \cdot 10^8\,\vec{\jmath} = (2{,}25\,\vec{\imath} + 2{,}00\,\vec{\jmath}) \cdot 10^8$ N/C.
6. Módulo: $|\vec{E}| = \sqrt{2{,}25^2 + 2{,}00^2} \cdot 10^8 = 3{,}01 \cdot 10^8$ N/C, formando $\arctan(2{,}00/2{,}25) = 41{,}6^\circ$ con el eje $+x$.

SOLUCIÓN $\vec{E}(0, 0) = (2{,}25\,\vec{\imath} + 2{,}00\,\vec{\jmath}) \cdot 10^8$ N/C, de módulo $3{,}01 \cdot 10^8$ N/C, hacia arriba y a la derecha. Un campo enorme porque las cargas son de microculombios a centímetros.

Apartado b)

1. **La idea:** el potencial es un escalar; se suman los potenciales de las tres cargas, **cada una con su signo**: $V = k\sum q_i/r_i$. Solo hacen falta distancias.
2. En $(0,0)$: $r_1 = 0{,}01$ m, $r_2 = 0{,}03$ m, $r_3 = 0{,}02$ m. $V_A = 9\cdot 10^9\left(\dfrac{5\cdot 10^{-6}}{0{,}01} - \dfrac{20\cdot 10^{-6}}{0{,}03} + \dfrac{10\cdot 10^{-6}}{0{,}02}\right) = 9\cdot 10^9\,(5{,}000 - 6{,}667 + 5{,}000)\cdot 10^{-4} = 3{,}00\cdot 10^6$ V.
3. En $(3,3)$ cm, distancias a cada carga: a q_1, $\sqrt{4^2+3^2} = 5$ cm; a q_2, $\sqrt{3^2+0^2} = 3$ cm; a q_3, $\sqrt{1^2+3^2} = \sqrt{10} = 3{,}162$ cm.
4. $V_B = 9\cdot 10^9\left(\dfrac{5\cdot 10^{-6}}{0{,}05} - \dfrac{20\cdot 10^{-6}}{0{,}03} + \dfrac{10\cdot 10^{-6}}{0{,}03162}\right) = 9\cdot 10^9\,(1{,}000 - 6{,}667 + 3{,}162)\cdot 10^{-4} = -2{,}25\cdot 10^6$ V.

SOLUCIÓN $V(0,0) = 3{,}00\cdot 10^6$ V y $V(3,3) = -2{,}25\cdot 10^6$ V. En $(3,3)$ domina la carga negativa, que está más cerca.

Apartado c)

1. **La idea:** el campo es conservativo, así que su trabajo es menos la variación de energía potencial: $W_{\text{campo}} = -q\,\Delta V = q\,(V_A - V_B)$, con $A = (0,0)$ y $B = (3,3)$.
2. $W_{\text{campo}} = 1\cdot 10^{-6}\cdot\left(3{,}00\cdot 10^6 - (-2{,}254\cdot 10^6)\right) = 5{,}25$ J.
3. **Interpretación:** el trabajo del campo es **positivo**, así que el traslado es **espontáneo**: lo hace el propio campo, sin agente externo, y la energía potencial de la carga disminuye 5,25 J. Encaja con la regla: una carga positiva va sola de mayor a menor potencial.

SOLUCIÓN $W_{\text{campo}} = +5{,}25$ J: movimiento espontáneo; la energía potencial baja 5,25 J (si sale del reposo y solo actúa el campo, gana esa energía cinética).

Lo que puntúa. Criterios oficiales de Cantabria 2026: en a), «Si no se da carácter vectorial al campo, pero se calcula bien el módulo, se puntuará solo la mitad (0.5 puntos)»; el planteamiento vale 0,8 («la aplicación de la fórmula $E_i = kq_i/d_i^2$ (0.4 puntos) más el principio de superposición $\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$ (0.4 puntos)»). En b), el planteamiento es «la aplicación de la fórmula $V_i = kq_i/d_i$ (0.4 puntos) más el principio de superposición $V = \sum_i V_i$ (0.4 puntos)». En c), 0,25 por el trabajo («Como planteamiento se considerará la fórmula $W = -q\Delta V$») y 0,25 por interpretar el signo: «Si el signo del trabajo está mal, habiendo calculado correctamente los potenciales inicial y final, se considera error conceptual, y se calificará esa parte con un cero». Sin unidades o con unidades erróneas en el resultado, -10 % del subapartado.

Error típico que te quita puntos. Restar los potenciales al revés ($V_B - V_A$) y dar $-5{,}25$ J como trabajo del campo: en Cantabria eso es un cero en la interpretación. El otro error típico es quitarle el signo a q_2 en el potencial o tratar el potencial como un vector.

13 Ejercicio resuelto: campo y velocidad a partir de una gráfica V(x) (Madrid 2026)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 1 (BLOQUE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO; OBLIGATORIA Y COMPETENCIAL; 2,5 PUNTOS)

Se han colocado dos placas paralelas perpendiculares a la dirección x. Una de ellas se ha cargado con carga positiva y la otra con igual carga, pero de signo negativo. Mediante una sonda se ha medido el potencial electrostático en la región entre las placas $0 \leq x \leq 10$ m. Los valores del potencial se representan en la figura. A partir de ella se ha determinado que el potencial electrostático en el intervalo, $0 \leq x \leq 10$ m, viene dado por la expresión: $V(x) = -3x$, donde x está expresado en metros y V en voltios. La intensidad del campo eléctrico está relacionada con el potencial, para el caso unidimensional, mediante la expresión: $E(x) = -\dfrac{dV}{dx}$. [Figura: gráfica del potencial (V) frente a x (m) de 0 a 10 m; los puntos medidos están sobre una recta que baja de 0 V en $x = 0$ a -30 V en $x = 10$ m.]

a) Calcule el campo eléctrico en el intervalo $0 \leq x \leq 10$ m. (1 punto)

b) Determine la aceleración que tendría una carga de 10 nC y masa $6 \cdot 10^{-10}$ kg que se situara en el punto $x = 5$ m. (0,5 puntos)

c) Si la carga de 10 nC y masa $6 \cdot 10^{-10}$ kg se deja en reposo en el origen de coordenadas determine su velocidad en el punto $x = 5$ m. (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** el enunciado da la relación entre campo y potencial; el campo es la pendiente de $V(x)$ cambiada de signo. Como V es una recta, la pendiente es la misma en todo el intervalo: **campo uniforme**, como el de unas placas.
2. $E(x) = -\dfrac{d(-3x)}{dx} = 3\ \mathrm{V/m}$, igual en todo el intervalo.
3. El signo positivo indica que el campo apunta hacia $+x$, es decir, hacia donde el potencial baja: $\vec{E} = 3\,\vec{\imath}$ V/m ($= 3\,\vec{\imath}$ N/C). La placa positiva es la de $x = 0$ (mayor potencial) y la negativa la de $x = 10$ m.
4. Comprobación con la gráfica: $E = \dfrac{|\Delta V|}{d} = \dfrac{30\ \mathrm{V}}{10\ \mathrm{m}} = 3$ V/m, la fórmula del campo uniforme.

SOLUCIÓN $\vec{E} = 3\,\vec{\imath}\ \mathrm{V/m}$ (3 N/C), uniforme entre las placas y dirigido hacia x creciente.

Apartado b)

1. **La idea:** segunda ley de Newton con la fuerza eléctrica, $F = qE = ma$. El peso no se tiene en cuenta (el enunciado no da g ni lo pide).
2. $a = \dfrac{qE}{m} = \dfrac{10 \cdot 10^{-9} \cdot 3}{6 \cdot 10^{-10}} = 50\ \mathrm{m/s^2}$.
3. La carga es positiva, así que la aceleración tiene el sentido del campo, $+x$. Como el campo es uniforme, vale lo mismo en $x = 5$ m que en cualquier otro punto.

SOLUCIÓN $\vec{a} = 50\,\vec{\imath}\ \mathrm{m/s^2}$ en $x = 5$ m (y en todo el intervalo).

Apartado c)

1. **La idea:** la fuerza eléctrica es conservativa: la energía mecánica se conserva, $\frac{1}{2}mv_0^2 + qV(0) = \frac{1}{2}mv^2 + qV(5)$.
2. Datos: $v_0 = 0$, $V(0) = 0$ y $V(5) = -3 \cdot 5 = -15$ V. Entonces $\frac{1}{2}mv^2 = q\,(V(0) - V(5)) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 15 = 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ J. La carga positiva ha ido a menor potencial: gana energía cinética, como debe ser.
3. $v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-7}}{6 \cdot 10^{-10}}} = \sqrt{500} = 22{,}4\ \text{m/s}$.
4. Comprobación por cinemática (aceleración constante): $v^2 = 2a\,x = 2 \cdot 50 \cdot 5 = 500$, la misma velocidad. La solución oficial da $v = 22{,}36$ m/s.

SOLUCIÓN $v = 22{,}4$ m/s en $x = 5$ m, hacia $+x$.

Lo que puntúa. Los criterios de Madrid no reparten la nota por pasos: solo dicen que «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», que «Se valorará la destreza en la obtención de resultados numéricos y el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional» y que la nota se desglosa «en múltiplos de 0,1 puntos». La solución oficial resuelve c) con la conservación de la energía (nombrándola: «Como la fuerza eléctrica es conservativa, la energía total se conserva»), y obtiene $E = 3$ V m⁻¹, $a = 50$ m s⁻² y $v = 22{,}36$ m s⁻¹: lo mismo que aquí.

Error típico que te quita puntos. Quedarse con $E = -3$ V/m por olvidar el signo menos de $E = -dV/dx$, o calcular ΔV como $V(5) - V(0)$ y meterlo sin cambiar el signo en la energía: sale una energía cinética negativa, que es imposible. Si te sale $\frac{1}{2}mv^2 < 0$, has cambiado un signo.

14 Ejercicio resuelto: electrones acelerados en un tubo de rayos X (Cataluña 2026)

PAU CATALUÑA 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · EJERCICIO 2 (OBLIGATORIO; 2,5 PUNTOS; VERSIÓN EN CASTELLANO PUBLICADA POR LA COMISIÓN)

Los rayos X se generan mediante un tubo de vacío que contiene dos placas de tungsteno. La placa negativa (cátodo) se calienta y emite electrones, que se aceleran hacia la placa positiva (ánodo). Cuando chocan con esta otra placa, los electrones se detienen bruscamente y se producen los rayos X. [Figura: tubo con el cátodo a la izquierda y el ánodo a la derecha, dos placas verticales; un electrón entre ellas con su velocidad $\vec{v}$ hacia el ánodo y, en el ánodo, un fotón que sale.] Datos: $|e| = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C. $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg. $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m s⁻¹. $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J s. Nota: Desprecie los efectos del campo magnético terrestre y los efectos relativistas.

2.1) La diferencia de potencial entre dos placas de un tubo de rayos X es de 70,0 kV y la separación entre ellas es de 2,00 cm. Calcule el módulo del campo eléctrico (suponiendo que es constante y uniforme entre las placas) y, a continuación, el módulo de la fuerza eléctrica que experimenta un electrón dentro del tubo. En la figura adjunta, represente el campo eléctrico entre placas y la fuerza eléctrica que actúa sobre el electrón. (1,25 puntos)

2.2) Determine la energía cinética y la velocidad de un electrón cuando llega al ánodo, suponiendo que parte del reposo desde el cátodo. A continuación, sabiendo que en la colisión con el ánodo el electrón pierde parte de su energía, que se convierte en un fotón de rayos X con una longitud de

onda de 1,00 nm, calcule la energía de este fotón y la nueva velocidad del electrón tras la emisión. (1,25 puntos)

Apartado 2.1)

1. **La idea:** placas paralelas → campo uniforme, $E = \Delta V/d$; la fuerza sobre el electrón es $F = |e|E$, en sentido contrario al campo porque su carga es negativa.
2. $E = \dfrac{\Delta V}{d} = \dfrac{70{,}0 \cdot 10^{3}}{2{,}00 \cdot 10^{-2}} = 3{,}50 \cdot 10^{6}\ \mathrm{V/m}$ (N/C).
3. $F = |e|\,E = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 3{,}50 \cdot 10^{6} = 5{,}61 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{N}$.
4. **Dibujo:** líneas de campo rectas, perpendiculares a las placas, **igual de separadas** (campo uniforme) y con flechas que van del ánodo (+) al cátodo (−), de derecha a izquierda. Sobre el electrón, un vector $\vec{F}$ hacia el ánodo, opuesto a $\vec{E}$, en el mismo sentido que su velocidad: por eso se acelera.

SOLUCIÓN $E = 3{,}50 \cdot 10^{6}$ V/m, del ánodo al cátodo; $F = 5{,}61 \cdot 10^{-13}$ N sobre el electrón, hacia el ánodo.

Apartado 2.2)

1. **La idea:** teorema de las fuerzas vivas (o conservación de la energía): la energía cinética que gana el electrón es el trabajo del campo, $\Delta E_c = W = -q\Delta V = |e|\,\Delta V$. Luego, conservación de la energía en el choque: $E_{c,\text{antes}} = E_{\text{fotón}} + E_{c,\text{después}}$.
2. $E_c = |e|\,\Delta V = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 7{,}00 \cdot 10^{4} = 1{,}12 \cdot 10^{-14}$ J (son 70,0 keV).
3. $v = \sqrt{\dfrac{2E_c}{m_e}} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 1{,}1214 \cdot 10^{-14}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}57 \cdot 10^{8}$ m/s. También sale por fuerzas: $a = F/m = 6{,}15 \cdot 10^{17}$ m/s² y $v = \sqrt{2ad}$.
4. Fotón: $E_f = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{1{,}00 \cdot 10^{-9}} = 1{,}99 \cdot 10^{-16}$ J (unos 1,24 keV). La relación $E = hf$ es del Tema 18.
5. Energía que le queda al electrón: $E_c' = 1{,}1214 \cdot 10^{-14} - 1{,}989 \cdot 10^{-16} = 1{,}10 \cdot 10^{-14}$ J, y $v' = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 1{,}1015 \cdot 10^{-14}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}56 \cdot 10^{8}$ m/s.
6. **Matiz físico:** $1{,}57 \cdot 10^{8}$ m/s es el 52 % de la velocidad de la luz. El enunciado manda despreciar la relatividad y así se corrige; con la energía relativista (Tema 17) saldría unos $1{,}43 \cdot 10^{8}$ m/s.

SOLUCIÓN $E_c = 1{,}12 \cdot 10^{-14}$ J y $v = 1{,}57 \cdot 10^{8}$ m/s al llegar al ánodo; el fotón lleva $1{,}99 \cdot 10^{-16}$ J y el electrón sigue con $1{,}56 \cdot 10^{8}$ m/s (pierde muy poca energía en ese fotón).

Lo que puntúa. Pauta oficial de Cataluña (traducida del catalán): en 2.1, 0,5 por el campo, 0,25 por la fuerza y 0,5 por el dibujo: «Hay que dibujar correctamente las líneas de campo, perpendiculares a las placas, dirigidas hacia el cátodo y equidistantes, ya que el campo es uniforme. Si el sentido es incorrecto, hay que restar 0,2 puntos; si no se dibujan equidistantes o simplemente se representa el campo con un único vector en lugar de líneas de campo, hay que restar 0,2 puntos». «Si no se representa correctamente F, hay que restar 0,1 puntos.» En 2.2, 0,75 por la energía cinética y la velocidad (vale el camino de las energías o el de las fuerzas), 0,25 por la energía del fotón y 0,25 por la nueva velocidad. Criterios generales: −0,25 por problema si faltan unidades o están mal, y −0,1

por resultados «amb un nombre molt elevat de xifres significatives (6 xifres significatives) o amb només una xifra significativa» [con un número muy elevado de cifras significativas (6) o con solo una].

Error típico que te quita puntos. Dibujar el campo del cátodo al ánodo, en el sentido en que se mueve el electrón (-0,2): el campo va de la placa positiva a la negativa y la fuerza sobre el electrón, al revés. También cuesta puntos dibujar un único vector en vez de líneas paralelas igual de separadas, y olvidar pasar los 70,0 kV a voltios.

Conceptos clave

Fuerza conservativa

Fuerza cuyo trabajo entre dos puntos no depende del camino (y es nulo en un camino cerrado). La eléctrica entre cargas en reposo lo es, por eso tiene energía potencial.

Energía potencial eléctrica

Energía de una carga por su posición en un campo eléctrico. Para dos cargas, $E_p = Kq_1q_2/r$, con origen en el infinito: positiva si se repelen y negativa si se atraen.

Energía de un sistema de cargas

Trabajo necesario para formar la configuración trayendo las cargas desde el infinito: suma de Kq_iq_j/r_{ij} de cada pareja, contada una sola vez.

Potencial eléctrico

Energía potencial por unidad de carga positiva en un punto, $V = E_p/q$. Para una carga puntual, $V = Kq/r$. Es un escalar con signo y se mide en voltios.

Voltio

Unidad SI de potencial y de diferencia de potencial: 1 V = 1 J/C (= 1 W/A).

Diferencia de potencial

$\Delta V = V_B - V_A$. Multiplicada por la carga y cambiada de signo da el trabajo del campo: $W_{\text{campo}} = -q\,\Delta V$.

Trabajo del campo

$W = q(V_A - V_B) = -\Delta E_p$. Si es positivo, el movimiento es espontáneo; si es negativo, hace falta un agente externo.

Trabajo externo

El que hace un agente contra el campo para mover la carga sin cambiar su energía cinética: $W_{\text{ext}} = -W_{\text{campo}} = q\,\Delta V$.

Superficie equipotencial

Lugar de los puntos con el mismo potencial. Es perpendicular a las líneas de campo y moverse por ella no cuesta trabajo.

Campo eléctrico uniforme

Campo igual en módulo, dirección y sentido en toda una región, como entre dos placas paralelas: $E = \Delta V/d$, de la placa positiva a la negativa.

Electronvoltio

Energía que gana un electrón al atravesar una diferencia de potencial de 1 V en el vacío: $1\ \text{eV} = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J (exacto desde 2019).

Potencial de frenado

Diferencia de potencial en contra que para una carga con energía cinética E_c: $|\Delta V| = E_c/|q|$.

Conductor en equilibrio

Conductor cuyas cargas ya no se mueven: campo nulo dentro y el mismo potencial en todos sus puntos. Una esfera de radio R con carga Q tiene V = KQ/R.

Poder de las puntas

En un conductor, el campo en la superficie es mayor donde el radio de curvatura es menor. Es el fundamento del pararrayos.

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Escalar con signo

El potencial **no es un vector**: $V = K\sum q_i/r_i$, cada carga con su signo. Solo necesitas distancias.

Signo del trabajo

$W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B)$. **Positivo = espontáneo** (baja la energía potencial). En **Cantabria**, el signo mal es un cero.

¿Campo o externo?

Di siempre de quién es el trabajo: $W_{\text{ext}} = -W_{\text{campo}}$ si la carga no gana energía cinética.

Energía conservada

Para velocidades, acercamientos máximos y frenados: $E_{c,A} + qV_A = E_{c,B} + qV_B$. **Andalucía** exige deducir así la velocidad tras una ddp.

Campo uniforme

$E = \Delta V/d$, de la placa **+** a la **−**. Positivas, a favor del campo; electrones, en contra.

Pares de cargas

Energía de un sistema: **cada pareja una vez**. Con tres cargas, tres términos.

Unidades

Distancias en **metros**, cargas en **culombios** (µC = 10^{-6}, nC = 10^{-9}), kV a voltios; **1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J**. Cataluña resta 0,25 por unidades.

Cómo te lo pueden preguntar

- Potencial, energía potencial y trabajo con cargas puntuales (potencial en uno o dos puntos, trabajo para llevar una carga entre ellos o desde o hasta el infinito, interpretación del signo, energía de un sistema): sale en **57 de las 68** convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las **17 comunidades**.
- Cargas aceleradas, frenadas o desviadas por un campo eléctrico (placas, campo uniforme, velocidad tras una diferencia de potencial): sale en **25 de las 68** convocatorias, en **12 comunidades** (Andalucía, Aragón, Asturias, Canarias, Castilla y León, Cataluña, Extremadura, Galicia, La Rioja, Madrid, Murcia y Navarra).
- Punto donde se anula el potencial, o carga que lo anula: Asturias (2025 ordinaria), Navarra (2025 ordinaria), Illes Balears (2026 ordinaria) y Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria); razonar si existe, Extremadura y País Vasco (2025 extraordinaria).
- Energía de un sistema de cargas o trabajo para formarlo: Cantabria y Castilla y León (2025 ordinaria), La Rioja (2025 extraordinaria); definirla y dar su expresión, Aragón (2025 ordinaria, pregunta obligatoria).
- Conservación de la energía con cargas puntuales (hasta dónde se acerca, con qué velocidad se aleja, velocidad mínima para llegar): Andalucía (2026 ordinaria), Madrid (2025 ordinaria) y La Rioja (2026 extraordinaria).
- Sacar la carga y la distancia a partir de E y V en un punto: Extremadura y Madrid (2026 extraordinaria). Esferas conductoras unidas por un hilo: Castilla-La Mancha (2025 y 2026 ordinaria).
- Dentro de física moderna, la diferencia de potencial que acelera o frena un electrón o un protón (De Broglie, energía cinética): Andalucía (2025 y 2026) y Castilla y León (2025 ordinaria). Lo ves en el Tema 18.

No lo confundas

- **Potencial con energía potencial:** V se mide en voltios (J/C) y es del punto; $E_p = qV$ se mide en julios y es de la carga que pones allí.
- **Trabajo del campo con trabajo externo:** son iguales y de signo contrario cuando la energía cinética no cambia. «Trabajo necesario» o «que hay que realizar» suele ser el externo.

- **Punto de potencial nulo con punto de campo nulo:** con cargas de signo contrario, $V = 0$ entre ellas (y en otro punto fuera, junto a la pequeña) y $E = 0$ solo fuera, junto a la pequeña; con cargas del mismo signo, V no se anula y $E = 0$ está entre ellas.
- **Potencial (escalar) con campo (vector):** el potencial se suma con signos; el campo, con componentes. En Castilla y León, darle carácter vectorial a un escalar no es un error leve.
- **$E = \Delta V/d$ con $E = V/r$:** la primera es para un campo uniforme entre placas; la segunda solo para el potencial y el campo de **una** carga puntual en el mismo punto.
- **eV con V:** el electronvoltio es una unidad de **energía** ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J); el voltio, de **potencial**. Un electrón acelerado por 500 V tiene 500 eV.
- **$\Delta V = V_B - V_A$ con $V_A - V_B$:** el trabajo del campo es $q(V_A - V_B)$, inicial menos final. Escribe la fórmula antes de sustituir.
- **Sentido del campo con sentido del movimiento:** un electrón entre placas se mueve hacia la placa positiva, en contra del campo. No dibujes $\vec{E}$ siguiendo al electrón.

Ponte a prueba

PAU Andalucía 2026 (ordinaria), Bloque B, apartado b2 (a elegir entre b1 y b2; 1,5 puntos). Un electrón se lanza desde el infinito con una velocidad inicial de 10^7 m s⁻¹ hacia una carga puntual de -5 µC que permanece fija. i) (1 punto) Determine la distancia a la carga puntual en la que se anula la velocidad del electrón. ii) (0,5 puntos) Calcule el módulo y carácter (atractiva o repulsiva) de la fuerza a esa distancia. $k = 9 \cdot 10^9$ N m² C⁻²; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

Solución: i) Dos cargas negativas: se repelen y el electrón se frena. Solo actúa la fuerza eléctrica (conservativa): $E_{c,\infty} + E_{p,\infty} = E_{c,r} + E_{p,r}$, con $E_{p,\infty} = 0$ y $E_{c,r} = 0$ en el punto de máximo acercamiento: $\frac{1}{2} m_e v_0^2 = k\dfrac{Q\,q_e}{r}$ (el producto de dos cargas negativas es positivo). $r = \dfrac{2kQ|q_e|}{m_e v_0^2} = \dfrac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^7)^2} = 158\ \text{m}$ (Andalucía pide deducir la expresión: parte del balance de energía). ii) $F = k\dfrac{|Q||q_e|}{r^2} = \dfrac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{158{,}2^2} = 2{,}9 \cdot 10^{-19}\ \text{N}$, **repulsiva** (cargas del mismo signo), dirigida desde la carga fija hacia el electrón.

PAU Aragón 2026 (ordinaria), Bloque 2, pregunta 2b (a elegir entre 2b y 2c; 1 punto). En una fotocopiadora o impresora láser, el funcionamiento se basa en la acción del campo eléctrico sobre cargas. Para simplificar el estudio, se modela una parte del sistema como dos placas metálicas paralelas separadas 2 cm, entre las que se aplica una diferencia de potencial de 1000 V. ¿Cuál es el campo electrostático entre las dos placas? (0,5 puntos). Si una partícula de masa $2 \cdot 10^{-23}$ kg cuya carga es 3 veces la carga del electrón parte del reposo de la placa negativa, ¿con qué velocidad llegará a la placa positiva? (0,5 puntos). Datos del bloque 2: Constante de Coulomb (K): $9 \cdot 10^{9}$ N m²/C². 1 nC = 10^{-9} C, Carga del electrón (q_e): $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Permeabilidad magnética del vacío (μ_0): $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ T m/A.

Solución: Campo uniforme entre placas: $E = \Delta V / d = 1000 / 0{,}02 = 5 \cdot 10^{4}$ V/m (N/C), de la placa positiva a la negativa. La partícula es negativa ($q = -3e$): sale de la negativa y la fuerza la lleva hacia la positiva. Conservación de la energía: $\frac{1}{2} m v^2 = |q|\,\Delta V$, así que $v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1000}{2 \cdot 10^{-23}}} = 6{,}93 \cdot 10^{3}\ \mathrm{m/s}$. La solución oficial da $E = 50\,000$ V/m y $v = 6928{,}2$ m/s, y admite también la vía cinemática ($a = |q|E/m$, $v^2 = 2ad$).

PAU Comunitat Valenciana 2026 (extraordinaria), Apartado 2, opción 2A (a elegir entre 2A y 2B; 3 puntos). Una carga $q_1 = 4{,}0$ mC está situada a una distancia $d = 3{,}0$ m de otra carga $q_2 = -1{,}0$ mC. a) Obtén el valor del campo eléctrico en el punto A. Indica razonadamente cuál de los vectores dibujados en el punto A representa la fuerza eléctrica sobre una carga $q = 2{,}0\ \mu$C situada en dicho punto A. (1 punto) b) Calcula el trabajo para mover la carga q desde A hasta B. (1 punto) c) Determina razonadamente la posición de un punto P perteneciente al segmento entre las cargas q_1 y q_2, para el cual el potencial eléctrico es nulo. (1 punto) Dato: constante de Coulomb, $k_e = 9{,}0 \cdot 10^{9}$ N m²/C². [Figura: q_1 en el origen y q_2 a 3 m sobre el eje x; A está $\sqrt{3}$ m por encima de q_2 y B, $\sqrt{3}$ m por encima de q_1; en A hay dibujados cuatro vectores: I (hacia abajo y a la derecha), II (hacia arriba y a la derecha), III (hacia la izquierda, algo hacia arriba) y IV (hacia abajo y a la izquierda).]

Solución: a) A está a $\sqrt{3^2 + 3} = \sqrt{12} = 3{,}46$ m de q_1 y a $\sqrt{3}$ m de q_2. $E_1 = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3} / 12 = 3{,}0 \cdot 10^{6}$ N/C, alejándose de q_1 (a 30° sobre el eje x): $\vec{E}_1 = (2{,}60\,\vec{\imath} + 1{,}50\,\vec{\jmath}) \cdot 10^{6}$ N/C. $E_2 = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-3} / 3 = 3{,}0 \cdot 10^{6}$ N/C, hacia q_2 (hacia abajo): $\vec{E}_2 = -3{,}0 \cdot 10^{6}\,\vec{\jmath}$ N/C. Total: $\vec{E}_A = (2{,}60\,\vec{\imath} - 1{,}50\,\vec{\jmath}) \cdot 10^{6}$ N/C, de módulo $3{,}0 \cdot 10^{6}$ N/C, 30° por debajo de la horizontal. Como $q > 0$, la fuerza tiene el sentido del campo: es el **vector I**. b) $V_A = 9{,}0 \cdot 10^{9} \left(\dfrac{4{,}0 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{12}} - \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} \right) = 5{,}20 \cdot 10^{6}$ V; $V_B = 9{,}0 \cdot 10^{9} \left(\dfrac{4{,}0 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} - \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{12}} \right) = 1{,}82 \cdot 10^{7}$ V. Trabajo del campo: $W = q(V_A - V_B) = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot (5{,}20 \cdot 10^{6} - 1{,}82 \cdot 10^{7}) = -26$ J: negativo, la carga positiva va hacia mayor potencial y un agente externo tiene que hacer $+26$ J. c) En el segmento, a x de q_1: $\dfrac{4{,}0}{x} = \dfrac{1{,}0}{3{,}0 - x} \Rightarrow x = 2{,}4$ m de q_1 (0,6 m de q_2, más cerca de la carga pequeña). Los criterios dan 0,6 por obtener razonadamente los potenciales y 0,4 por el trabajo en b), y 0,6 por el planteamiento y 0,4 por la posición en c).

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 B «Campo electromagnético»: energía de una distribución de cargas estáticas y movimiento de cargas libres)

2. Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida (texto consolidado: definición del electronvoltio en la nota b de la tabla 7; carga elemental exacta tras el Real Decreto 493/2020)
3. BIPM: El Sistema Internacional de Unidades (folleto del SI, 9.ª edición, 2019): electronvoltio, 1 eV = 1,602 176 634·10⁻¹⁹ J
4. NIST: valores CODATA 2018 de las constantes físicas fundamentales (e, m_e, m_p, ε_0)
5. CERN: Linear accelerator 4 (Linac4), iones H^- hasta 160 MeV
6. Examen PAU Física Cantabria 2026 (ordinaria)
7. Criterios de corrección PAU Física Cantabria 2026 (ordinaria)
8. Examen, criterios y soluciones PAU Física Madrid 2026 (ordinaria)
9. Examen PAU Física Cataluña 2026 (ordinaria, versión en castellano)
10. Pauta de corrección PAU Física Cataluña 2026 (ordinaria, en catalán)
11. Examen PAU Física Andalucía 2026 (ordinaria)
12. Examen y soluciones PAU Física Aragón 2026 (ordinaria)
13. Examen PAU Física Comunitat Valenciana 2026 (extraordinaria)
14. Criterios PAU Física Comunitat Valenciana 2026 (extraordinaria)
15. Andalucía: Directrices y orientaciones generales PAU 2026-27, Física
16. Cataluña: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
17. Cataluña: Relació de conceptes que seran objecte d'avaluació a les proves PAU de Física (prácticas)
18. Madrid: presentación de la Comisión de Materia de Física, PAU 2025-26 (directrices)
19. Canarias: Matriz de especificaciones de Física, PAU 2027
20. Región de Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027
21. Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque B (Comisión Permanente de Física, 2025-26)
22. Castilla-La Mancha: Propuesta de orientación de la materia Física 2025-26 (Crue, publicada por la UCLM)
23. Galicia: Decreto 157/2022, currículo de Bachillerato (Física)
24. Galicia: Orientacións do grupo de traballo de Física (CiUG), curso 2025-26 (esfera conductora cargada)
25. Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque A (Comisión Permanente de Física, PAU 2026-27; frase sobre el gradiente)

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).

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.