# Campo eléctrico: Coulomb, superposición, líneas, flujo y Gauss

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**

Las cargas crean un **campo eléctrico**: $\vec{E} = k\frac{Q}{r^2}\vec{u}_r$, saliente si $Q > 0$ y entrante si $Q < 0$, y sobre una carga $q$ actúa $\vec{F} = q\vec{E}$ (**ley de Coulomb**). Con varias cargas, **superposición**: se suman los vectores, no los módulos. Las **líneas de campo** salen de las positivas y no se cortan, y el **teorema de Gauss** da el campo de esferas, planos e hilos. Sale en **53 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades: casi siempre el **vector campo de dos o tres cargas**, el **punto de campo nulo** o una carga en **equilibrio**.

## 1 La carga eléctrica: conservación y cuantización

La **carga eléctrica** es la propiedad de la materia responsable de la interacción electromagnética. Hay dos tipos, que por convenio llamamos **positiva** y **negativa**: cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen. Su unidad en el SI es el **culombio (C)**; en los problemas casi siempre verás submúltiplos: mC ($10^{-3}$), µC ($10^{-6}$), nC ($10^{-9}$) y pC ($10^{-12}$).

- **Conservación**: en un sistema aislado la carga total no cambia. Al frotar o al poner en contacto dos cuerpos no se crea carga: se **transfieren electrones** de uno a otro.
- **Cuantización**: toda carga libre es un múltiplo entero de la **carga elemental** $e$: $q = n\,e$. El electrón tiene $-e$ y el protón $+e$. Desde la revisión del SI de 2019, $e = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C es un valor **exacto** (BIPM).
- Una carga de $1\ \mu\text{C}$ supone un exceso o un defecto de $\dfrac{10^{-6}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 6{,}24 \cdot 10^{12}$ electrones; un culombio entero son $6{,}24 \cdot 10^{18}$ electrones.
- **Millikan** midió la carga del electrón con gotitas de aceite cargadas en equilibrio entre dos placas (experimentos de 1909 a 1913): todas las cargas medidas eran múltiplos de un mismo valor. Es el ejercicio resuelto de Cataluña de este tema.
- **Conductores** (metales, disoluciones iónicas): tienen cargas que se mueven libremente. **Aislantes** o dieléctricos (vidrio, plástico, aire seco): las cargas no se desplazan.
- Formas de electrizar un cuerpo: por **frotamiento** (pasan electrones de un material a otro), por **contacto** (la carga se reparte) y por **inducción** (al acercar un cuerpo cargado, las cargas de un conductor se separan sin tocarlo; si se conecta a tierra y se corta esa conexión antes de alejar el cuerpo cargado, queda con carga de signo contrario a la de este).

### Extremadura y Galicia lo nombran

**Extremadura** incluye expresamente el «Principio de conservación y cuantización de la carga eléctrica» y las «Analogías y diferencias entre campo gravitatorio y campo electrostático» (Aspectos curriculares orientativos, Bloque B, 2025-26). **Galicia** pide, en sus prácticas, la carga por inducción y la jaula de Faraday de forma cualitativa (Orientacións 2025-26 y «PAU 2027. Prácticas de Física»).

## 2 Ley de Coulomb

Charles-Augustin de **Coulomb** midió en 1785, con una balanza de torsión, la fuerza entre dos esferas cargadas. La fuerza entre dos **cargas puntuales** en reposo es proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, y va en la recta que las une.

- **Forma vectorial** (fuerza que $q_1$ ejerce sobre $q_2$):

$$\vec{F}_{12} = k\,\frac{q_1\,q_2}{r^2}\,\vec{u}_r$$

  donde $\vec{u}_r$ es el **vector unitario** que va **de** $q_1$ **hacia** $q_2$. Si $q_1 q_2 > 0$, la fuerza tiene el sentido de $\vec{u}_r$ (repulsión); si $q_1 q_2 < 0$, el contrario (atracción).
- **Constante de Coulomb** en el vacío: $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}988 \cdot 10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$, con la **permitividad del vacío** $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N{\cdot}m^2)}$ (CODATA 2018). En los exámenes casi siempre te dan $k = 9 \cdot 10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$: usa la del enunciado. Desde 2019, $\varepsilon_0$ (como $\mu_0$) **no es exacta**: se mide.
- En un medio material la fuerza es menor: $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon}$, con $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$. En el agua, $\varepsilon_r$ vale unos 80: la fuerza entre dos iones disueltos es unas 80 veces menor que en el vacío (por eso el agua disuelve las sales).
- Cumple la **tercera ley de Newton**: $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$, aunque las cargas sean distintas.
- Si sobre una carga actúan varias, la fuerza total es la **suma vectorial** de cada una (principio de superposición): cada par interacciona como si las demás no existieran.

| | Campo gravitatorio | Campo eléctrico |
|---|---|---|
| Lo crea | La masa (siempre positiva) | La carga (positiva o negativa) |
| Fuerza | Siempre **atractiva** | Atractiva o **repulsiva** |
| Constante | $G = 6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$, no depende del medio | $k = 8{,}988 \cdot 10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$ en el vacío; **depende del medio** |
| Intensidad | $\vec{g} = -G\dfrac{M}{r^2}\vec{u}_r$ (N/kg) | $\vec{E} = k\dfrac{Q}{r^2}\vec{u}_r$ (N/C = V/m) |
| Líneas | Siempre entran en la masa | Salen de las positivas y entran en las negativas |
| Apantallar | No se puede | Sí (jaula de Faraday) |
| Intensidad relativa | Muy débil | Entre un protón y un electrón, $2{,}27 \cdot 10^{39}$ veces mayor que la gravitatoria |

Los dos son campos centrales y **conservativos** (el electrostático, el de cargas en reposo), con fuerza proporcional a $1/r^2$. El cociente $F_e/F_g = \dfrac{ke^2}{G\,m_e m_p}$ no depende de la distancia. Asturias pide las analogías y diferencias entre los dos campos (indicador 18 de su ficha) y Canarias, comparar cuantitativamente las dos interacciones (matriz 2027, saber IV.3).

**FUERZA ENTRE DOS CARGAS, COMO VECTOR**

Una carga $q_1 = +3\ \mu\text{C}$ está en el origen y otra $q_2 = -2\ \mu\text{C}$ en el punto $(0,\ 30)$ cm. Calcula la fuerza que $q_1$ ejerce sobre $q_2$ ($k = 9 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$).

**Respuesta modelo**

El unitario de $q_1$ hacia $q_2$ es $\vec{u}_r = \vec{\jmath}$ y $r = 0{,}30$ m:

$$\vec{F}_{12} = 9 \cdot 10^9\ \frac{(3 \cdot 10^{-6})(-2 \cdot 10^{-6})}{0{,}30^2}\ \vec{\jmath} = -0{,}60\,\vec{\jmath}\ \text{N}$$

Módulo 0,60 N, dirigida hacia $q_1$: es **atractiva**. Sobre $q_1$ actúa $+0{,}60\,\vec{\jmath}$ N.

**Por qué puntúa.** El signo menos sale solo si metes las cargas con su signo y el unitario bien orientado. Si prefieres trabajar con módulos, pon |q| y decide el sentido con el dibujo, pero no mezcles los dos métodos.

## 3 Intensidad del campo eléctrico

Una carga modifica el espacio que la rodea: crea un **campo eléctrico**. La **intensidad del campo** en un punto es la fuerza que actuaría sobre la **unidad de carga positiva** colocada allí. No depende de la carga que pongas para medirlo, solo de la que lo crea y de la posición.

- **Definición**: $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$. Unidades: **N/C**, que es lo mismo que **V/m** (lo verás en el Tema 8).
- **Campo de una carga puntual** $Q$ a una distancia $r$:

$$\vec{E} = k\,\frac{Q}{r^2}\,\vec{u}_r$$

  con $\vec{u}_r$ **desde la carga hacia el punto**. Si $Q > 0$ el campo es **saliente** (se aleja de la carga); si $Q < 0$, **entrante** (apunta hacia la carga). Módulo: $E = k\,\dfrac{|Q|}{r^2}$.
- **Fuerza sobre una carga** $q$ colocada en un campo: $\vec{F} = q\,\vec{E}$. Si $q > 0$, la fuerza tiene el sentido del campo; si $q < 0$ (un electrón), el **contrario**.
- **Campo uniforme**: mismo módulo, dirección y sentido en todos los puntos; es el que hay entre dos placas planas paralelas con cargas opuestas (lo justifica el teorema de Gauss, más abajo). Allí la fuerza sobre una carga es constante: $\vec{F} = q\vec{E}$.
- El campo **electrostático** (el que crean cargas en reposo) es **conservativo**: el trabajo que hace al mover una carga entre dos puntos no depende del camino. Por eso se le asocia una energía potencial y un potencial, que son el **Tema 8**.

**CAMPO DE UNA CARGA NEGATIVA Y FUERZA SOBRE UN ELECTRÓN**

Calcula el campo que crea $Q = -4$ nC a 20 cm y la fuerza sobre un electrón situado allí ($k = 9 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C).

**Respuesta modelo**

$E = k\dfrac{|Q|}{r^2} = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{4 \cdot 10^{-9}}{0{,}20^2} = 900$ N/C, **dirigido hacia la carga** (es negativa). Sobre el electrón: $F = |q|E = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 900 = 1{,}44 \cdot 10^{-16}$ N, en sentido **contrario al campo**: se aleja de $Q$, como corresponde a dos cargas negativas que se repelen.

**Por qué puntúa.** Comprueba siempre que el sentido de la fuerza encaja con «iguales se repelen, distintas se atraen».

## 4 Principio de superposición: varias cargas

El campo (o la fuerza) que crean varias cargas en un punto es la **suma vectorial** de los que crearía cada una por separado: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$ Es **el problema que más cae** del tema: dos o tres cargas en los vértices de un triángulo, un cuadrado o un rectángulo, o en unos ejes.

**Dibujo** con ejes, las cargas, el punto y las **distancias** (Pitágoras si hace falta). Sin dibujo pierdes puntos en casi todas las comunidades.

↓

**Dirección y sentido** de cada $\vec{E}_i$: sobre la recta carga-punto, alejándose si la carga es positiva y acercándose si es negativa. Dibújalo en el punto.

↓

**Módulo** de cada uno: $E_i = k|q_i|/r_i^2$.

↓

**Componentes**

proyecta con el ángulo o con el vector unitario $\vec{u} = (x_P - x_q,\ y_P - y_q)/r$. Atención al signo de cada componente según el dibujo.

↓

**Suma componente a componente** y da el resultado como vector ($E_x\vec{\imath} + E_y\vec{\jmath}$), con su módulo si te lo piden. Para la fuerza sobre una carga $q$: $\vec{F} = q\vec{E}$.

**DOS CARGAS Y UN PUNTO**

$q_1 = +2\ \mu\text{C}$ en $A(0,\ 0)$ y $q_2 = -1\ \mu\text{C}$ en $B(3,\ 0)$, en metros. Calcula el campo en $P(0,\ 4)$ y la fuerza sobre una carga de $-5$ nC colocada en $P$ ($k = 9 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$).

**Respuesta modelo**

$r_1 = 4$ m y $r_2 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$ m. $E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}/16 = 1125$ N/C, saliente de $q_1$: $\vec{E}_1 = 1125\,\vec{\jmath}$ N/C. $E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6}/25 = 360$ N/C, hacia $q_2$, es decir, en la dirección de $\overrightarrow{PB} = (3,\ -4)$: $\vec{E}_2 = 360\left(\frac{3}{5}\vec{\imath} - \frac{4}{5}\vec{\jmath}\right) = 216\,\vec{\imath} - 288\,\vec{\jmath}$ N/C. Total:

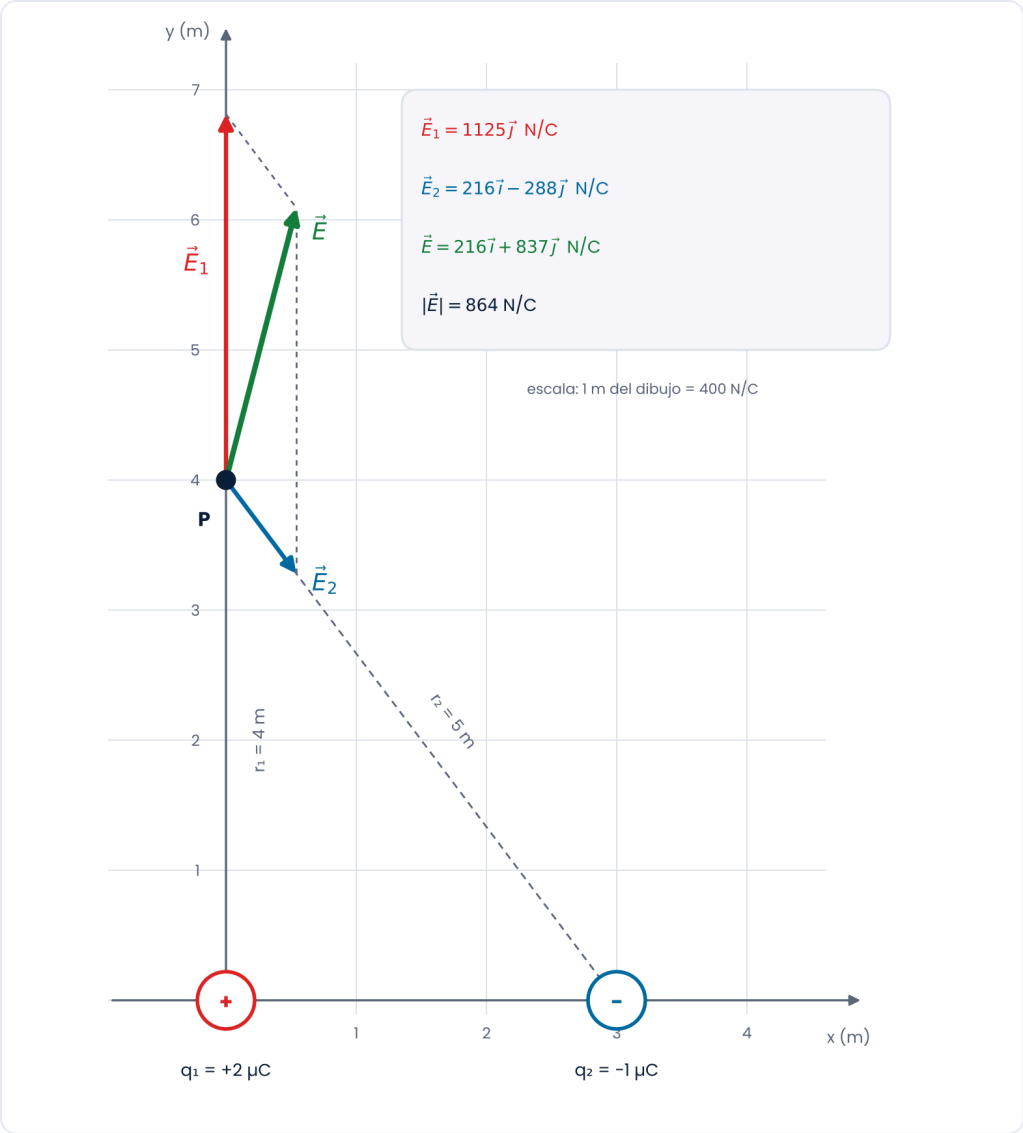
$$\vec{E} = 216\,\vec{\imath} + 837\,\vec{\jmath}\ \text{N/C}, \qquad |\vec{E}| = 864\ \text{N/C}$$

Fuerza: $\vec{F} = q\vec{E} = -5 \cdot 10^{-9}\,\vec{E} = -1{,}08 \cdot 10^{-6}\,\vec{\imath} - 4{,}19 \cdot 10^{-6}\,\vec{\jmath}$ N, **opuesta al campo** porque la carga es negativa.

**Por qué puntúa.** El error típico es sumar los módulos (1125 + 360): solo vale si los dos vectores tienen la misma dirección y sentido.

### Cuántas cargas te pueden poner

**Andalucía**: «Los problemas de campo eléctrico se limitarán, como máximo, a la acción de dos cargas sobre una tercera, aplicando el principio de superposición» (Directrices y orientaciones 2026-27). **Canarias**: «una distribución de hasta tres cargas puntuales» (matriz PAU 2027, saber II.2). **Asturias**: «una o varias cargas puntuales (dispuestas en línea o en otras geometrías sencillas contenidas en un plano)» (ficha 2025-26, indicador 25). En el resto no hay límite escrito: ha habido cinco cargas en un semicírculo (La Rioja 2025) y seis en un hexágono (modelo de La Rioja 2026).




**Superposición de dos campos.** $q_1 = +2\ \mu\text{C}$ en $(0,\ 0)$ y $q_2 = -1\ \mu\text{C}$ en $(3,\ 0)$ m. En $P(0,\ 4)$ m, $\vec{E}_1$ se aleja de $q_1$ y $\vec{E}_2$ apunta hacia $q_2$; el campo total es la diagonal del paralelogramo: $216\,\vec{\imath} + 837\,\vec{\jmath}$ N/C. Vectores a escala (1 m del dibujo = 400 N/C).

## 5 Dónde se anula el campo: punto nulo y equilibrio de una carga

Otro clásico: «¿en qué punto de la recta que une dos cargas se anula el campo?» o «¿dónde hay que poner una tercera carga para que la fuerza sobre ella sea nula?». Es **la misma pregunta**: si $\vec{E} = 0$ en un punto, la fuerza sobre cualquier carga colocada allí es nula, sea cual sea su valor y su signo.

- **Razona primero la zona** (puntúa): para que $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$ los dos campos tienen que tener **sentidos opuestos** y **el mismo módulo**.
- **Cargas del mismo signo**: los campos son opuestos solo **entre** las dos cargas; el punto nulo está entre ellas, **más cerca de la de menor valor absoluto**.
- **Cargas de signo contrario**: los campos son opuestos solo **fuera** del segmento; el punto nulo está fuera, **por el lado de la carga más pequeña** en valor absoluto. Si las dos son iguales y opuestas (dipolo), no hay punto nulo a distancia finita.
- **Ecuación**: iguala módulos, $k\dfrac{|q_1|}{x^2} = k\dfrac{|q_2|}{(d \mp x)^2}$, y saca la raíz cuadrada (te quedas con la solución que cae en la zona que has razonado). La $k$ se simplifica: por eso a veces no te la dan.
- Fuera de la recta que une las cargas el campo **no se anula nunca**: las componentes perpendiculares a la recta no se compensan.

- **Equilibrio con otras fuerzas**: si además actúa el peso (una gota o una bolita), el equilibrio es $q\vec{E} + m\vec{g} = 0$ (Millikan) o, con un hilo, $q\vec{E} + m\vec{g} + \vec{T} = 0$ (péndulo con carga, en la sección siguiente).

**MISMO SIGNO**

Una carga $+q$ y otra $+4q$ están separadas 30 cm. ¿Dónde se anula el campo?

**Respuesta modelo**

Entre las dos, a una distancia $x$ de $+q$: $\frac{q}{x^2} = \frac{4q}{(0{,}30 - x)^2} \Rightarrow 0{,}30 - x = 2x \Rightarrow x = 0{,}10$ m. A **10 cm de** $+q$ (y 20 cm de $+4q$). La otra raíz, $x = -0{,}30$ m, cae fuera, donde los campos van en el mismo sentido: no vale.

**Por qué puntúa.** Más cerca de la pequeña, como habías razonado. Y no depende de q.

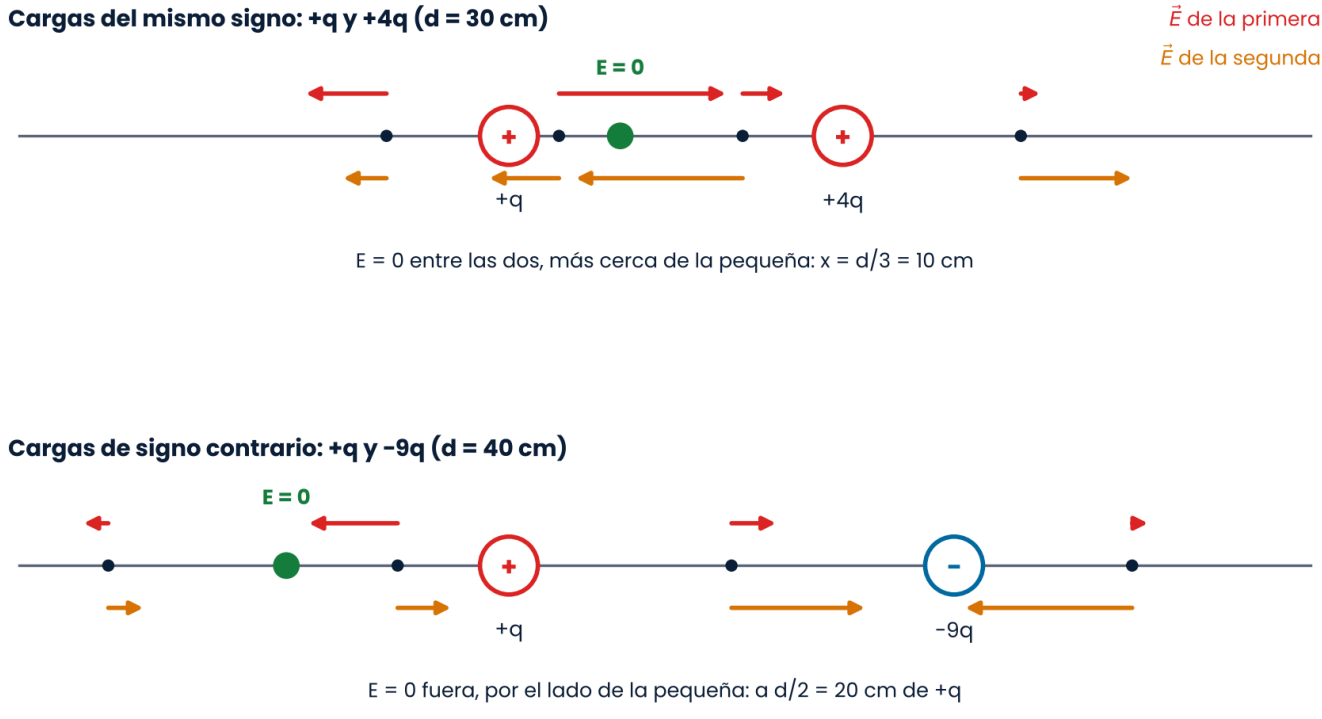
**SIGNOS CONTRARIOS**

Una carga $+q$ y otra $-9q$ están separadas 40 cm. ¿Dónde se anula el campo?

**Respuesta modelo**

Fuera del segmento, del lado de $+q$, a una distancia $x$ de ella: $\frac{q}{x^2} = \frac{9q}{(x + 0{,}40)^2} \Rightarrow x + 0{,}40 = 3x \Rightarrow x = 0{,}20$ m. A **20 cm de** $+q$, en el lado opuesto a $-9q$.

**Por qué puntúa.** Entre las dos cargas los dos campos apuntan hacia -9q: ahí no puede anularse.




**Dónde se anula el campo de dos cargas.** Arriba, $+q$ y $+4q$: los campos solo son opuestos entre las cargas y se anulan a $d/3$ de la pequeña. Abajo, $+q$ y $-9q$: solo son opuestos fuera, y se anulan a $d/2$ de $+q$, por su lado. Longitudes de las flechas cualitativas (comprimidas), sentidos exactos.

## 6 Cargas en equilibrio: péndulo con carga y esferas colgadas

Una bolita cargada colgada de un hilo dentro de un **campo uniforme horizontal** se desvía un ángulo $\theta$ de la vertical. Sobre ella actúan tres fuerzas: el **peso** $m\vec{g}$, la **fuerza eléctrica** $q\vec{E}$ y la **tensión** $\vec{T}$ del hilo. En equilibrio suman cero.

- **Signo de la carga**: mira hacia dónde se desvía. Si se va en el sentido de $\vec{E}$, la carga es **positiva**; si se va en contra, **negativa** ($\vec{F} = q\vec{E}$).
- **Ecuaciones** (eje x horizontal, eje y vertical): $T \operatorname{sen}\theta = |q|E$ y $T\cos\theta = mg$. Dividiendo:

$$\tan\theta = \frac{|q|E}{mg}$$

  y la tensión, $T = \dfrac{mg}{\cos\theta} = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$.
- **Dos esferas iguales colgadas del mismo punto** con la misma carga: el campo ya no es uniforme; la fuerza eléctrica es la de Coulomb entre ellas, $F = kq^2/d^2$, con $d$ la separación, que depende del ángulo ($d = 2L\operatorname{sen}\theta$ si los hilos miden $L$). Mismo planteamiento: $\tan\theta = F/(mg)$.
- **Una esfera sobre otra en vertical** (Castilla-La Mancha 2026): la repulsión eléctrica equilibra el peso, $kq_1q_2/d^2 = mg$.
- Si te falta $g$ en los datos, usa $9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$ y dilo (el enunciado del péndulo con carga de Galicia 2026 extraordinaria no la daba).

**PÉNDULO EN UN CAMPO UNIFORME**

Una bolita de 2,0 g con carga $+0{,}50\ \mu\mathrm{C}$ cuelga de un hilo en un campo horizontal de $2{,}0 \cdot 10^4$ N/C. Calcula el ángulo del hilo con la vertical y la tensión ($g = 9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$).

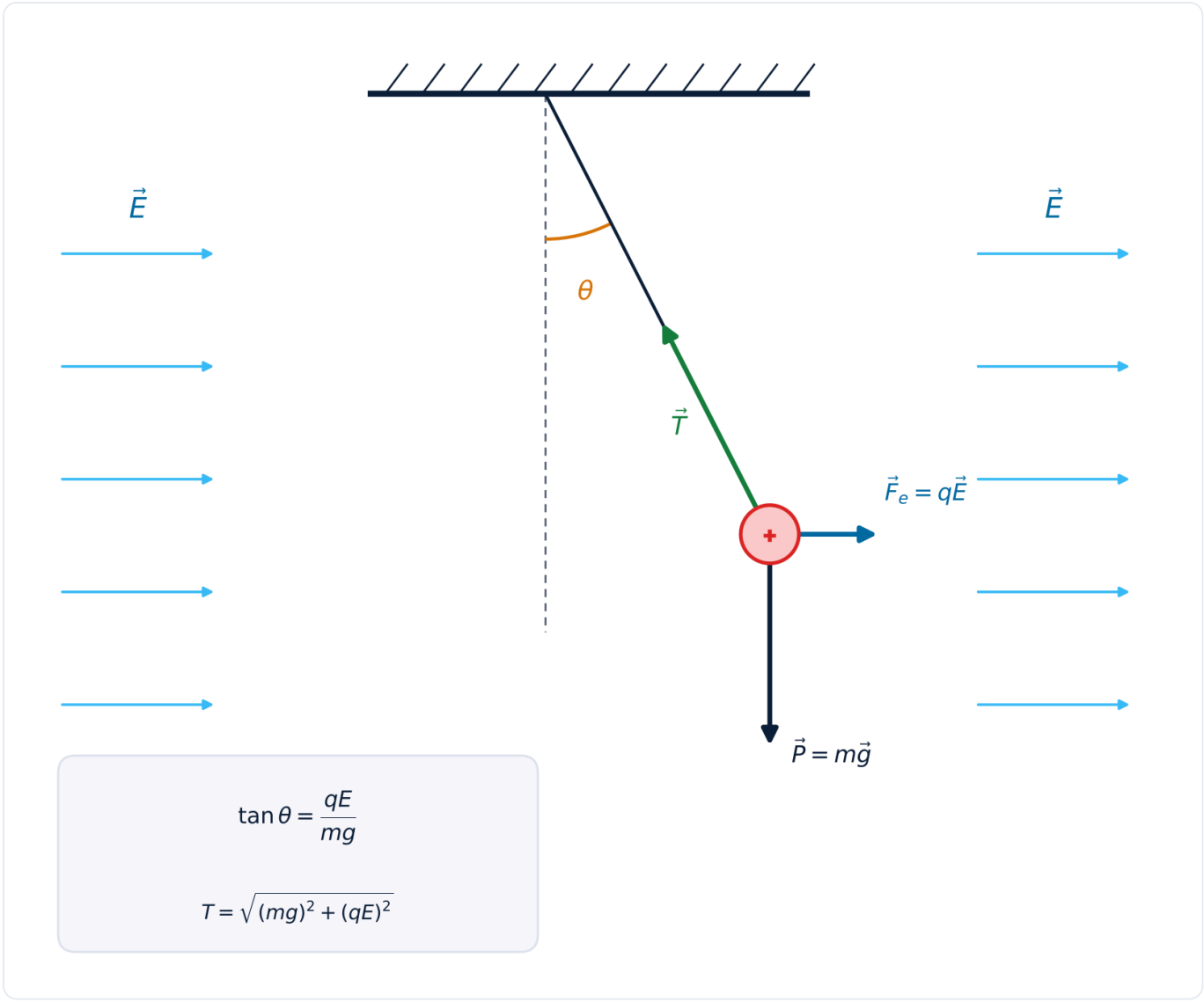
**Respuesta modelo**

$qE = 0{,}50 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^4 = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ N y $mg = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}8 = 1{,}96 \cdot 10^{-2}$ N.

$$\tan\theta = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-2}}{1{,}96 \cdot 10^{-2}} = 0{,}510 \ \Rightarrow\ \theta = 27{,}0^\circ$$

$T = \sqrt{(1{,}96 \cdot 10^{-2})^2 + (1{,}0 \cdot 10^{-2})^2} = 2{,}2 \cdot 10^{-2}$ N. Se desvía en el sentido del campo, porque la carga es positiva.

**Por qué puntúa.** El diagrama de fuerzas vale puntos por sí solo en casi todas las comunidades.




**Péndulo con carga en un campo uniforme.** Bolita de 2,0 g con $+0{,}50\ \mu\text{C}$ en $E = 2{,}0 \cdot 10^4$ N/C: el peso, la fuerza eléctrica y la tensión se equilibran con el hilo a $\theta = 27{,}0^\circ$. Fuerzas dibujadas a escala.

## 7 Líneas de campo eléctrico

Las **líneas de campo** (o de fuerza) son una forma de dibujar el campo: en cada punto, el vector $\vec{E}$ es **tangente** a la línea y tiene su sentido. Se dibujan de forma que haya más líneas donde el campo es más intenso.

- **Salen de las cargas positivas** (fuentes) y **entran en las negativas** (sumideros). Si solo hay una carga, van o vienen del infinito.
- El **número de líneas** que salen o entran en una carga es **proporcional a su valor**: una carga $-2q$ recibe el doble de líneas que una $+q$.
- **Nunca se cortan**: en el punto de corte habría dos direcciones del campo a la vez, y el campo en cada punto es único.
- **Densidad** de líneas (líneas por unidad de superficie perpendicular) proporcional al **módulo** de $\vec{E}$: juntas donde el campo es fuerte, separadas donde es débil.
- En un **campo uniforme**, rectas **paralelas e igual de separadas**. Entre dos placas cargadas van de la positiva a la negativa.
- Son **perpendiculares a las superficies equipotenciales** y van en el sentido de los potenciales **decrecientes** (Tema 8). Una línea de campo **no es la trayectoria** de una carga: solo coincide si la línea

es recta, la carga parte del reposo (o se mueve a lo largo de ella) y no actúan otras fuerzas.

**POR QUÉ NO SE CORTAN**

Justifica por qué dos líneas de campo eléctrico no pueden cortarse.

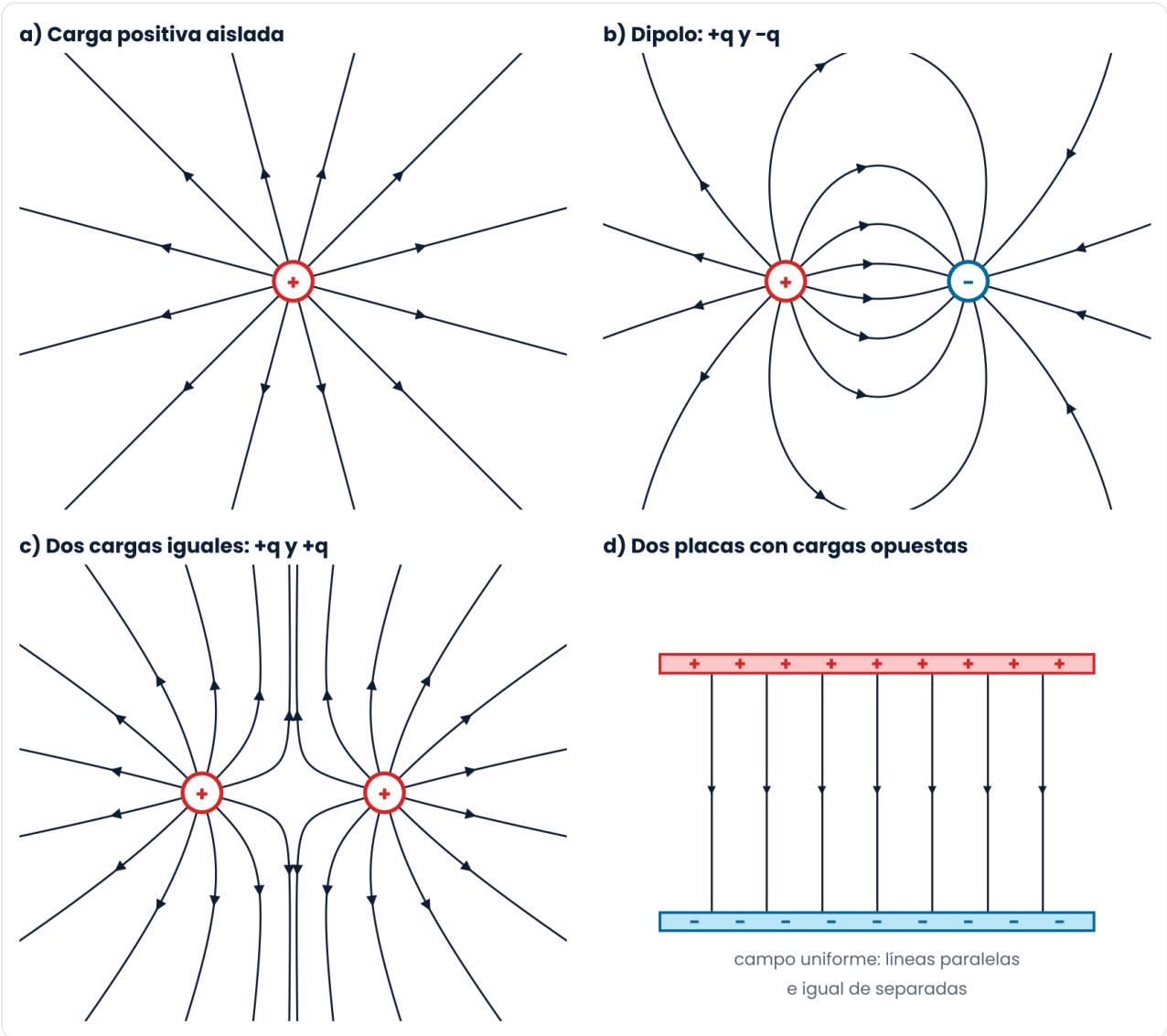
**Respuesta modelo**

Porque el campo eléctrico en cada punto tiene un **valor único** (es la suma vectorial de los campos de todas las cargas) y la línea de campo es tangente a $\vec{E}$. Si dos líneas se cortaran, en el punto de corte habría dos tangentes distintas, es decir, dos direcciones del campo a la vez, lo que es imposible. Solo en los puntos donde $\vec{E} = 0$ la dirección no está definida.

**Por qué puntúa.** Es la clave de la pregunta de Murcia 2025 de «Ponte a prueba».

## Dibujar líneas también puntúa

**Cataluña** pide dibujar «cualitativamente» las líneas de campo y las equipotenciales de dos cargas (2026 extraordinaria) y descuenta en la pauta si las líneas de un campo uniforme no son equidistantes o se dibuja un solo vector en vez de líneas (2026 ordinaria). **Murcia** pidió razonar qué dibujos de líneas eran incorrectos (2025 extraordinaria). **Aragón**: «No se podrá usar regla»: se dibuja a mano alzada.




**Líneas de campo eléctrico** calculadas numéricamente: a) carga positiva aislada (radiales y salientes); b) dipolo, con las líneas de $+q$ que terminan en $-q$; c) dos cargas positivas iguales, que se repelen: en el punto medio $\vec{E} = 0$ y las líneas no se cortan; d) dos placas con cargas opuestas: campo uniforme.

## 8 Flujo del campo eléctrico

El **flujo** mide «cuántas líneas de campo atraviesan» una superficie. Es una magnitud **escalar** que depende del campo, del área y de la orientación de la superficie, que se describe con el **vector superficie** $\vec{S}$: perpendicular a ella y de módulo igual a su área.

- **Superficie plana en un campo uniforme**:

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S} = E\,S\cos\alpha$$

  con $\alpha$ el ángulo entre $\vec{E}$ y $\vec{S}$ (no con la superficie). Unidades: $\mathrm{N{\cdot}m^2/C}$.
- Máximo si el campo es **perpendicular** a la superficie ($\alpha = 0^\circ$); **nulo** si el campo es **paralelo** a ella ( $\alpha = 90^\circ$: ninguna línea la atraviesa).
- **Superficie cerrada**: $\vec{S}$ se toma **hacia fuera**. El flujo es positivo si salen más líneas de las que entran y negativo si entran más.
- **Superficie curva o campo variable**: se suma (integra) el flujo de trozos pequeños, $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$. En la PAU solo se usa en superficies con simetría, donde $E$ es constante y perpendicular: entonces $\Phi_E = E\,S$.

**FLUJO A TRAVÉS DE UN CUADRADO**

Un cuadrado de 10 cm de lado está en un campo uniforme de 500 N/C que forma 60° con la normal al cuadrado. Calcula el flujo. ¿Y si el campo fuera paralelo al cuadrado?

**Respuesta modelo**

$S = 0{,}10^2 = 1{,}0\cdot10^{-2}\ \mathrm{m^2}$. $\Phi_E = E\,S\cos 60^\circ = 500\cdot1{,}0\cdot10^{-2}\cdot0{,}5 = 2{,}5\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C}$. Si el campo es paralelo al cuadrado, $\alpha = 90^\circ$ y $\Phi_E = 0$.

**Por qué puntúa.** Fíjate en qué ángulo te dan: si es el que forma el campo con la superficie, usa su complementario (o el seno).

### Andalucía: flujo con superficies planas

Las orientaciones de **Andalucía** 2026-27 dicen que las cuestiones de flujo «se referirán a su carácter escalar y a su dependencia del vector campo, de la superficie y de su orientación, limitándose al caso de superficies planas». La frase está en el bloque de electromagnetismo entre la fuerza de Lorentz y la ley de Lenz-Faraday (flujo magnético); el documento no cita el teorema de Gauss, que sí está en el currículo andaluz («Teorema de Gauss. Aplicaciones a esfera y lámina cargadas. Jaula de Faraday», Orden de 30-5-2023).

## 9 Teorema de Gauss, conductores y jaula de Faraday

El **teorema de Gauss** relaciona el flujo a través de una superficie **cerrada** con la carga que hay **dentro**:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$$

Las cargas de fuera no contribuyen al flujo total (sus líneas entran y salen), aunque sí al campo en cada punto. Sirve para calcular $\vec{E}$ cuando la distribución de carga tiene **simetría**.

- **Conductor en equilibrio electrostático** (sus cargas libres ya no se mueven): el **campo en el interior es nulo**; si no lo fuera, los electrones se moverían.
- **La carga neta está en la superficie**: una gaussiana dentro del metal tiene flujo nulo, luego no encierra carga. El campo justo fuera es **perpendicular** a la superficie y vale $E = \sigma/\varepsilon_0$.

- Todo el conductor está al **mismo potencial** (Tema 8) y la carga se acumula más en las **puntas**, donde el campo es mayor: es el fundamento del **pararrayos**.
- **Jaula de Faraday**: una caja o malla conductora anula en su interior el campo eléctrico exterior, porque sus cargas se redistribuyen hasta cancelarlo. Faraday lo comprobó en 1836 dentro de una habitación forrada de metal. Ejemplos: un coche o un avión alcanzados por un rayo, la malla de la puerta del microondas o la falta de cobertura del móvil en un ascensor metálico.

**Enuncia** el teorema con la fórmula y qué es cada término (suele valer puntos aparte).

↓

Elige una **superficie gaussiana** con la simetría del problema (esfera concéntrica, cilindro), que pase por el punto donde quieres $E$ y donde $\vec{E}$ sea **perpendicular** a la superficie y de **módulo constante** (o paralelo y entonces no aporta flujo).

↓

Calcula el **flujo**: $\Phi_E = E \cdot S_{\text{útil}}$.

↓

Calcula la **carga interior** y despeja: $E = \dfrac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0 S_{\text{útil}}}$.

| Distribución | Superficie gaussiana | Campo |
|---|---|---|
| Carga puntual o esfera cargada, **fuera** ($r \geq R$) | Esfera de radio $r$: $S = 4\pi r^2$ | $E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = k\dfrac{Q}{r^2}$, como si toda la carga estuviera en el centro |
| **Conductor** esférico o corteza esférica, **dentro** ($r < R$) | Esfera de radio $r < R$ | $E = 0$: no hay carga dentro |
| Esfera **aislante** cargada uniformemente en **volumen**, dentro | Esfera de radio $r < R$ | $Q_{\text{int}} = Q\dfrac{r^3}{R^3} \Rightarrow E = k\dfrac{Q\,r}{R^3}$ (crece con $r$) |
| **Plano** infinito con densidad $\sigma$ (C/m²) | Cilindro que atraviesa el plano | $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, uniforme, no depende de la distancia |
| **Dos placas** paralelas con $+\sigma$ y $-\sigma$ | Cilindro con una tapa dentro de una placa | $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$ entre ellas y 0 fuera |
| **Hilo** infinito con densidad $\lambda$ (C/m) | Cilindro coaxial de radio $r$ y longitud $L$ | $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} = \dfrac{2k\lambda}{r}$ |

Ejemplos: un plano con $\sigma = 1{,}0\ \mu\text{C/m}^2$ crea $E = \dfrac{10^{-6}}{2 \cdot 8{,}854 \cdot 10^{-12}} = 5{,}6 \cdot 10^4$ N/C, y dos placas con $\pm 1{,}0\ \mu\text{C/m}^2$, $1{,}1 \cdot 10^5$ N/C entre ellas. Un hilo con $\lambda = 2{,}0$ nC/m crea a 10 cm $E = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-9}/0{,}10 = 360$ N/C.

**ESFERA CARGADA: DENTRO Y FUERA**

Una esfera de radio 10 cm tiene una carga de 5 nC. Calcula el campo a 20 cm del centro, en la superficie y a 5 cm del centro si es a) conductora; b) aislante con la carga repartida uniformemente en su volumen. ¿Cuál es el flujo a través de una esfera concéntrica de 20 cm? ($k = 9 \cdot 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$)

Respuesta modelo

**Fuera y en la superficie** (las dos igual): con una gaussiana esférica de radio $r$, $E \cdot 4\pi r^2 = Q/\varepsilon_0$, así que $E = kQ/r^2$. A 20 cm: $E = 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9}/0{,}20^2 = 1125$ N/C; en la superficie: $E = 4500$ N/C. **A 5 cm**: a) en el conductor la carga está en la superficie, $Q_{\text{int}} = 0$ y $E = 0$; b) $E = kQr/R^3 = 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 0{,}05/0{,}10^3 = 2250$ N/C. **Flujo**: $\Phi_E = Q/\varepsilon_0 = 4\pi kQ = 4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 565\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$, el mismo para **cualquier** superficie cerrada que encierre la esfera.

**Por qué puntúa.** Murcia 2026 extraordinaria pidió justificar con Gauss que fuera de una esfera maciza cargada el campo es el de una carga puntual: es el primer paso de este ejemplo.

**JAULA DE FARADAY**

Razona por qué una persona dentro de un coche está protegida si cae un rayo sobre él.

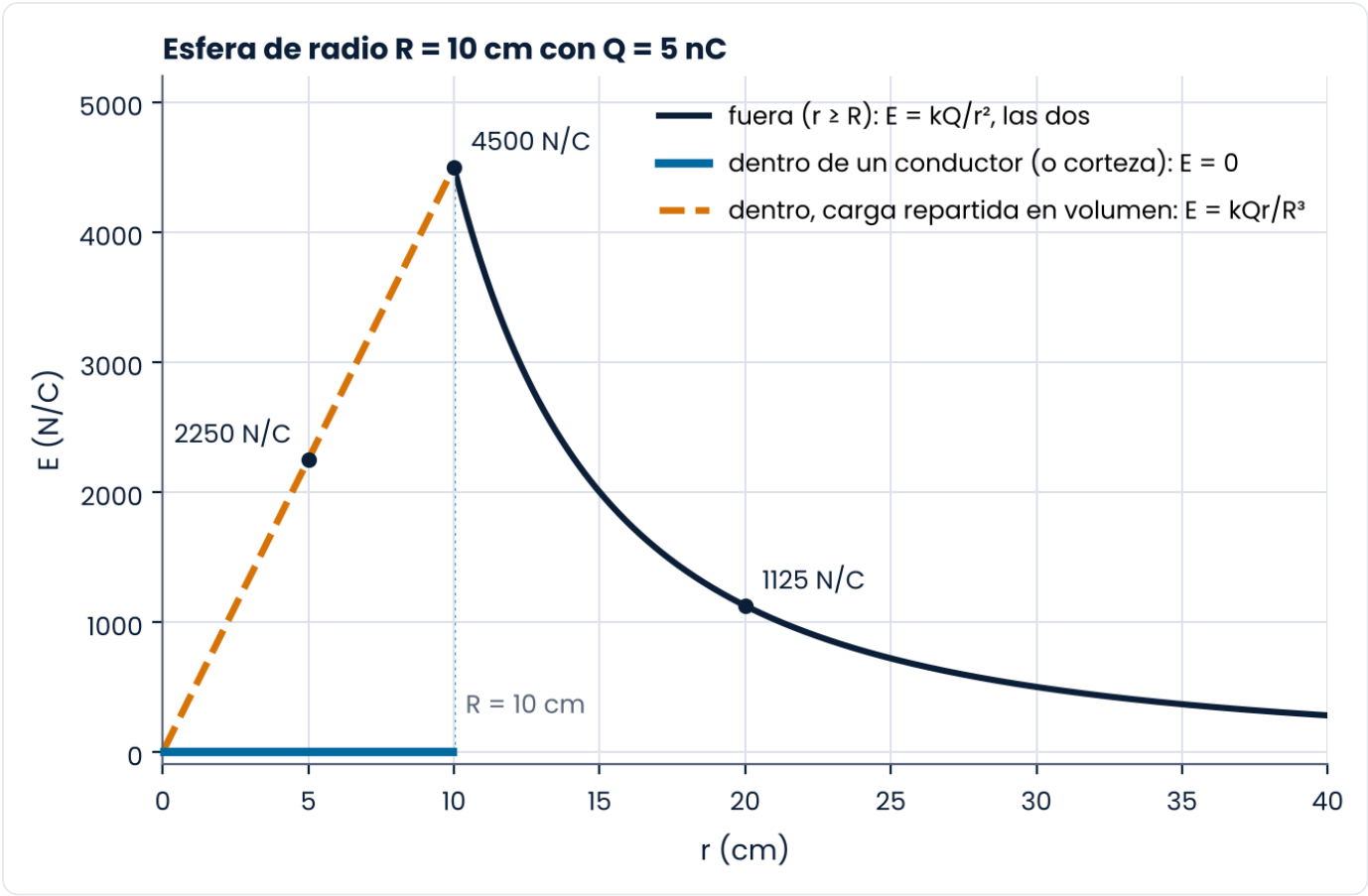
**Respuesta modelo**

La carrocería metálica es un **conductor**: la carga del rayo se reparte por su **superficie exterior**, la corriente circula por la carrocería y salta a tierra, y en el interior de un conductor hueco el campo eléctrico es **nulo** (jaula de Faraday; en rigor, en equilibrio electrostático, pero el blindaje funciona también durante la descarga). Por eso no circula corriente por el interior. No son los neumáticos los que protegen.

**Por qué puntúa.** Nombra el principio (jaula de Faraday) y justifícalo con el campo nulo dentro del conductor.

## Teorema de Gauss: qué dice cada comunidad

**Cataluña**: «No es demanarà: • La llei de Gauss» (no se pedirá; Orientacions PAU 2027). **Madrid**: «Sí calcular el flujo y el campo eléctrico utilizando teorema de Gauss, pero solo para simetría esférica o plana» y «No condensadores y capacidad» (directrices de la Comisión, en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **Murcia**: «Aplicar la ley de Gauss para calcular el campo eléctrico creado por distribuciones uniformes de carga con simetría esférica» (Especificaciones 2027, B2 b). **Castilla-La Mancha**: Gauss «con simetría esférica» (orientación Crue 2025-26). **Extremadura**: cargas en superficies esféricas; para 2026-27 añade «distribuciones uniformes de cargas en el volumen de una esfera y el análisis de los conductores esféricos»; «No se incluye la simetría cilíndrica» (2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **Comunitat Valenciana**: «hilo, plano y esfera uniformemente cargados» (orientación 2026-27). **La Rioja**: «planos, hilos y esferas» (matriz). **Asturias**: flujo «en casos sencillos» y distribuciones continuas «(esferas, hilos y superficies planas)». **Galicia**: Gauss y el campo y el potencial de una esfera conductora (orientaciones). **Illes Balears**: flujo con «Aplicació a conductors esfèrics» (Decret 43/2025). **Castilla y León**: la matriz concreta «cargas puntuales» y el Decreto 40/2022 incluye el flujo con «(esfera conductora)». **Canarias**: la matriz 2027 recoge el flujo en el saber II.2 pero no tiene un aprendizaje sobre Gauss. En el resto, el flujo está en el currículo sin más concreción.




**Campo de una esfera cargada** ($R = 10$ cm, $Q = 5$ nC). Fuera, las dos dan $E = kQ/r^2$ (4500 N/C en la superficie, 1125 N/C a 20 cm). Dentro, el conductor da $E = 0$ y la esfera cargada en volumen, $E = kQr/R^3$ (2250 N/C a 5 cm).

## 10 Qué te piden en tu comunidad

El campo eléctrico sale en **53 de las 68 convocatorias** ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades, casi siempre en el mismo ejercicio que el potencial (Tema 8). Lo que ha caído y lo que dicen los documentos oficiales:

| Comunidad | Cómo ha caído (2025–2026 y modelos) | Lo que tienes que saber |
|---|---|---|
| Andalucía | Campo de dos cargas, punto de campo nulo y equilibrio de una tercera carga; E y V de una carga en los modelos. | «Como máximo, a la acción de dos cargas sobre una tercera» (orientaciones 2026-27). Gauss no aparece en las orientaciones. -0,1 por omitir el símbolo de vector más de una vez. |
| Aragón | Superposición de cargas puntuales (2026 ordinaria, obligatoria), explicar la ley de Coulomb (2026 extraordinaria), fuerza en un campo uniforme (2025). | Sin exclusiones. «No se podrá usar regla». -0,1 cada vez que se omite el carácter vectorial. |
| Asturias | Dipolo (2026 ordinaria), punto de campo nulo y de potencial nulo (2025 ordinaria). | Geometrías sencillas en un plano; flujo «en casos sencillos». -0,25 si falta la unidad del resultado. |
| Cantabria | Siempre en el apartado 2: vector campo o fuerza por superposición; líneas de campo (modelo 2025). | «Si no se da carácter vectorial al campo, pero se calcula bien el módulo, se puntuará solo la mitad». |
| Castilla-La Mancha | Bola colgada en un campo uniforme (2025 extraordinaria), dos esferas cargadas en equilibrio (2026 ordinaria), tres cargas (2026 extraordinaria). | Gauss «con simetría esférica» (orientación Crue 2025-26, publicada por la UCLM). El símbolo de vector que falta es falta leve (-0,25 cada tres). |

| Comunidad | Cómo ha caído (2025–2026 y modelos) | Lo que tienes que saber |
|---|---|---|
| Castilla y León | Cargas puntuales en el Bloque 2 de todas las convocatorias (triángulo, dos cargas, con representación). | La matriz concreta «cargas puntuales»; -0,1 por omitir reiteradamente el símbolo de vector. |
| Cataluña | Experimento de Millikan (2025 ordinaria), punto de fuerza nula (2026 extraordinaria), líneas y equipotenciales. | Sin ley de Gauss. Campo de cargas puntuales y carga en campo uniforme. -0,25 por unidades; -0,1 con 6 cifras o con 1. |
| Comunitat Valenciana | Superposición en todas las pruebas; Gauss en 2026 ordinaria. | Gauss con hilo, plano y esfera. 60 % planteamiento simbólico y 40 % resultado. |
| Extremadura | Campo y fuerza de cargas puntuales (2026), carga y distancia a partir de E y V. | Gauss esférico (en 2026-27, también en volumen y conductores); «No se incluye la simetría cilíndrica» (2025-26; pendiente de confirmar para 2027). Vector: 50 % módulo, 50 % dirección y sentido. |
| Galicia | Problema a elegir de la P2 con cargas puntuales; péndulo con carga (2026 extraordinaria). | Gauss y esfera conductora; jaula de Faraday como práctica cualitativa. -0,25 por error leve de vector. |
| Illes Balears | Siempre en el Problema 2: dos cargas en un triángulo o rectángulo, en componentes y con el dibujo de la suma; carga que anula el campo. | Formulario fijo. Flujo aplicado a conductores esféricos (Decret 43/2025). |
| Canarias | Fuerza de un dipolo (2025), campo de tres cargas (2025 y modelos), cargas para un campo dado (2026). | Hasta tres cargas. En 2027, tres cifras significativas (-0,05 cada fallo, máximo -0,1 por bloque). |
| La Rioja | Cinco cargas en un semicírculo (2025), triángulo (2025), rectángulo y hexágono (2026 y modelo). | Gauss con planos, hilos y esferas. «No se pedirán demostraciones y ningún problema tendrá carácter teórico» (guía 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). |
| Madrid | Electrón y positrón (2025 ordinaria), carga y distancia a partir de V y E (2026 extraordinaria). | Gauss solo con simetría esférica o plana; no condensadores ni capacidad (directrices de la Comisión, en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). |
| Murcia | Campo en el punto medio de una hipotenusa (2025), fuerza nula y líneas (2025 extraordinaria), Gauss en una esfera maciza (2026 extraordinaria). | Gauss con distribuciones uniformes «con simetría esférica» (Especificaciones 2027). Error leve de vector -0,1 (máximo 20 % del apartado). |
| Navarra | Triángulo de cargas (2026 ordinaria), dipolo (2026 extraordinaria). | Sin exclusiones. Una ley mal identificada o mal aplicada deja la pregunta en 0. |
| País Vasco | Dipolo (2025 ordinaria), punto de equilibrio de una tercera carga (2025 extraordinaria). | Tabla de datos al principio: elige los que necesitas. -0,1 por errores vectoriales reiterados. |

Fuentes: documentos oficiales de cada comisión citados en esta página y exámenes 2025–2026. Que algo no haya caído en tu comunidad no significa que no pueda caer.

## 11 Ejercicio resuelto: carga a partir de V y E, y campo de dos cargas (Madrid 2026)

**PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 3.A (BLOQUE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO; A ELEGIR ENTRE 3.A Y 3.B; 2,5 PUNTOS)**

Una carga positiva $q_1$ se halla situada en el origen de coordenadas del plano xy. En un punto P situado en el eje x y a una distancia desconocida del origen, el potencial eléctrico debido a dicha

carga es de $9 \cdot 10^2$ V y el módulo del campo eléctrico en esa misma posición es de $1{,}8 \cdot 10^4$ N C$^{-1}$. Dato: Constante de Coulomb, $K = 9 \cdot 10^9$ N m$^2$ C$^{-2}$.

**a)** Calcule el valor de la carga $q_1$ y la distancia $d_1$ que hay entre la carga y el punto P. (1,6 puntos)

**b)** Si a continuación, manteniendo la carga $q_1$ en el origen de coordenadas, situamos una segunda carga, $q_2$, de $-10$ nC en la posición $(0,\ 5)$ cm del plano xy, determine el vector campo eléctrico en la posición $(5,\ 0)$ cm. (0,9 puntos)

## Apartado a)

1. **La idea:** te dan dos magnitudes de la misma carga en el mismo punto: el potencial, $V = Kq_1/d_1$ (lo ves en el Tema 8), y el módulo del campo, $E = Kq_1/d_1^2$. Son dos ecuaciones con dos incógnitas. Su cociente elimina la carga.
2. Dividiendo:

$$\frac{V}{E} = \frac{Kq_1/d_1}{Kq_1/d_1^2} = d_1 \ \Rightarrow\ d_1 = \frac{9 \cdot 10^2}{1{,}8 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 5\ \text{cm}$$

3. Con la ecuación del potencial:

$$q_1 = \frac{V\, d_1}{K} = \frac{9 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9} = 5 \cdot 10^{-9}\ \text{C} = 5\ \text{nC}$$

4. Comprobación con el campo: $Kq_1/d_1^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9}/(5 \cdot 10^{-2})^2 = 1{,}8 \cdot 10^4$ N/C. Cuadra. La carga sale positiva, como dice el enunciado (con $V > 0$ tenía que serlo).

**SOLUCIÓN** $q_1 = 5$ nC y $d_1 = 5$ cm: P es el punto $(5,\ 0)$ cm o el $(-5,\ 0)$ cm (el enunciado no dice el lado; en el apartado b no importa).

## Apartado b)

1. **La idea:** superposición. En $(5,\ 0)$ cm el campo de $q_1$ ya lo conoces del apartado a; el de $q_2$ hay que calcularlo como vector. Haz el dibujo: $q_1$ en el origen, $q_2$ (negativa) en el eje y a 5 cm, y el punto en el eje x a 5 cm.
2. Campo de $q_1$ (positiva, saliente, a lo largo del eje x): $\vec{E}_1 = 1{,}8 \cdot 10^4\, \vec{\imath}$ N/C.
3. Distancia de $q_2$ al punto: $d_2 = \sqrt{0{,}05^2 + 0{,}05^2} = 7{,}07 \cdot 10^{-2}$ m, es decir, $d_2^2 = 5 \cdot 10^{-3}$ m$^2$. Módulo:

$$E_2 = K\frac{|q_2|}{d_2^2} = 9 \cdot 10^9\, \frac{10 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-3}} = 1{,}8 \cdot 10^4\ \text{N/C}$$

4. Dirección: $q_2$ es negativa, así que $\vec{E}_2$ apunta **hacia** $q_2$, del punto $(5,\ 0)$ al $(0,\ 5)$: unitario $\dfrac{-\vec{\imath} + \vec{\jmath}}{\sqrt{2}}$ (45° con el eje x negativo).

$$\vec{E}_2 = 1{,}8 \cdot 10^4\, \frac{-\vec{\imath} + \vec{\jmath}}{\sqrt{2}} = -1{,}27 \cdot 10^4\, \vec{\imath} + 1{,}27 \cdot 10^4\, \vec{\jmath}\ \text{N/C}$$

5. Suma:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 5{,}3 \cdot 10^3\, \vec{\imath} + 1{,}27 \cdot 10^4\, \vec{\jmath}\ \text{N/C}$$

Su módulo es $|\vec{E}| = 1{,}38 \cdot 10^4$ N/C y forma **67,5°** con el eje x positivo.

**SOLUCIÓN** $\vec{E} = 5{,}3 \cdot 10^3\,\vec{\imath} + 1{,}27 \cdot 10^4\,\vec{\jmath}$ N/C (la solución oficial lo escribe $0{,}53 \cdot 10^4\,\vec{\imath} + 1{,}27 \cdot 10^4\,\vec{\jmath}$ N C⁻¹). La carga negativa «tira» del campo hacia arriba y le quita parte de la componente x.

**Lo que puntúa.** Madrid publica una solución orientativa sin reparto de puntos por pasos, y unos criterios generales: «Las preguntas deben contestarse razonadamente», «Se valorará positivamente la inclusión de pasos detallados, así como la realización de diagramas, dibujos y esquemas», se valora «la identificación de los principios y leyes físicas involucradas» y «el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional». Cada apartado se califica «desglosada en múltiplos de 0,1 puntos». Pide «el vector campo eléctrico»: da las dos componentes.

**Error típico que te quita puntos.** Sumar los módulos ($1{,}8 \cdot 10^4 + 1{,}8 \cdot 10^4$) o poner $\vec{E}_2$ saliendo de $q_2$ (sentido de una carga positiva). Y no pasar los centímetros a metros: con $d_2^2 = 50$ el campo sale $10^4$ veces menor.

## 12 Ejercicio resuelto: campo nulo en un vértice y ley de Gauss (Comunitat Valenciana 2026)

**PAU COMUNITAT VALENCIANA 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · APARTADO 2 (CAMPO ELECTROMAGNÉTICO), OPCIÓN 2A (A ELEGIR ENTRE 2A Y 2B; 3 PUNTOS)**

Sobre los vértices $A(a,\ 0)$ y $B(0,\ a)$ de un cuadrado de lado $a = 3{,}0$ m, se fijan sendas cargas eléctricas puntuales idénticas $Q = 2{,}0$ nC. Dato: constante de Coulomb, $k_e = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9\ \mathrm{N\,m^2/C^2}$.

**a)** Calcula razonadamente el potencial eléctrico generado por estas dos cargas en los puntos $C(0, 0)$ y $D(a,\ a)$. Justifica si la diagonal del cuadrado entre los puntos $C$ y $D$ sería una línea equipotencial. (1 punto)

**b)** Calcula razonadamente el campo eléctrico total generado en el vértice $D$ debido a las dos cargas situadas en $A$ y $B$. ¿Qué carga $Q_c$ se deberá colocar sobre el vértice $C$ para que el campo eléctrico se anule en el $D$? (1 punto)

**c)** Enuncia la ley de Gauss para el campo eléctrico. Razona cuál será el flujo eléctrico a través de una superficie esférica de radio $r = 1$ m centrada en el punto $A$. (1 punto)

### Apartado a)

1. **La idea:** el potencial es un escalar y se suma sin vectores: $V = k_e Q/r_A + k_e Q/r_B$ (Tema 8). Haz el dibujo: cuadrado con vértices $C(0, 0)$, $A(3,\ 0)$, $D(3,\ 3)$ y $B(0,\ 3)$, en metros.
2. Desde $C$, las dos cargas están a $a = 3{,}0$ m; desde $D$, también ($D$ está encima de $A$ y a la derecha de $B$):

$$V_C = V_D = 2k_e\frac{Q}{a} = 2 \cdot 9 \cdot 10^9\,\frac{2{,}0 \cdot 10^{-9}}{3{,}0} = 12\ \mathrm{V}$$

3. ¿Es equipotencial la diagonal $CD$? Todos sus puntos están **a la misma distancia de A y de B** (es la mediatriz del segmento $AB$), pero esa distancia **cambia** a lo largo de la diagonal: es mínima en el centro del cuadrado, $(1{,}5;\ 1{,}5)$ m, donde vale $a/\sqrt{2} = 2{,}12$ m. Allí $V = 2k_e Q\sqrt{2}/a = 17{,}0$ V, que no es 12 V.

**SOLUCIÓN** $V_C = V_D = 12$ V, pero la diagonal **no es equipotencial**: en el centro $V = 17{,}0$ V. Que dos puntos tengan el mismo potencial no hace equipotencial la línea que los une.

### Apartado b)

1. **La idea:** superposición de dos campos perpendiculares y, después, una tercera carga cuyo campo en $D$ sea opuesto a la suma.
2. $Q_A$ está justo debajo de $D$, a 3,0 m: su campo en $D$ es saliente, hacia $+y$. $Q_B$ está a la izquierda de $D$, a 3,0 m: campo hacia $+x$. Cada módulo:

$$E = k_e \frac{Q}{a^2} = 9 \cdot 10^9 \, \frac{2{,}0 \cdot 10^{-9}}{3{,}0^2} = 2{,}0 \ \mathrm{N/C}$$

3. Total: $\vec{E}_D = 2{,}0\,\vec{\imath} + 2{,}0\,\vec{\jmath}$ N/C, de módulo $|\vec{E}_D| = 2{,}83$ N/C, a lo largo de la diagonal y alejándose de $C$.
4. Para anularlo, la carga en $C$ debe crear en $D$ un campo de 2,83 N/C **hacia C**: tiene que ser **negativa**. La distancia $CD$ es $a\sqrt{2}$:

$$k_e \frac{|Q_c|}{2a^2} = \sqrt{2}\, k_e \frac{Q}{a^2} \ \Rightarrow \ |Q_c| = 2\sqrt{2}\, Q = 5{,}66 \ \mathrm{nC}$$

**SOLUCIÓN** $\vec{E}_D = 2{,}0\,\vec{\imath} + 2{,}0\,\vec{\jmath}$ N/C ($|\vec{E}_D| = 2{,}83$ N/C) y $Q_c = -5{,}66$ nC.

### Apartado c)

1. **Enunciado:** el flujo del campo eléctrico a través de **cualquier superficie cerrada** es igual a la carga neta encerrada en su interior dividida por la permitividad del vacío:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\mathrm{int}}}{\varepsilon_0}$$

   No depende de la forma ni del tamaño de la superficie ni de las cargas de fuera.
2. La esfera de 1 m centrada en $A$ encierra la carga de $A$ y **no** la de $B$, que está a $a\sqrt{2} = 4{,}24$ m de $A$. La carga de $B$ crea campo sobre la esfera, pero su flujo neto es nulo: sus líneas entran y salen.
3. Con $1/\varepsilon_0 = 4\pi k_e$:

$$\Phi_E = \frac{Q}{\varepsilon_0} = 4\pi k_e Q = 4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-9} = 226 \ \mathrm{N{\cdot}m^2/C}$$

**SOLUCIÓN** $\Phi_E = 226 \ \mathrm{N{\cdot}m^2/C}$, saliente (positivo). Si la esfera midiera más de 4,24 m de radio, encerraría las dos cargas y el flujo se duplicaría.

**Lo que puntúa.** Criterios oficiales: «a) Hasta 1 punto (0,6 deducir razonadamente el potencial en los puntos C y D y 0,4 razonar que la diagonal no es una línea equipotencial). b) Hasta 1 punto (0,6 el cálculo razonado del campo total en D y 0,4 la carga en C que anula dicho campo). c) Hasta 1 punto (0,4 enunciar la ley de Gauss y 0,6 calcular el flujo a través de la superficie indicada).» Y en general: «El alumnado ha de realizar primero el cálculo simbólico y después obtener el resultado numérico», y «la correcta utilización de las unidades se califica con 0,1 puntos».

**Error típico que te quita puntos.** En a), contestar que la diagonal es equipotencial porque $V_C = V_D$ (es la trampa: vale 0,4). En b), dar $Q_c$ positiva o usar la distancia $a$ en vez de $a\sqrt{2}$. En c), meter la carga de $B$ en el flujo o dar el flujo sin enunciar la ley.

## 13 Ejercicio resuelto: el experimento de Millikan (Cataluña 2025)

**PAU CATALUÑA 2025 · CONVOCATORIA ORDINARIA · EJERCICIO 2, OPCIÓN A (A ELEGIR ENTRE A Y B; 2,5 PUNTOS; VERSIÓN EN CASTELLANO PUBLICADA POR LA COMISIÓN)**

El experimento de Millikan permitió determinar la carga del electrón. El montaje de este experimento consta de dos placas metálicas horizontales, una sobre la otra, separadas verticalmente por una distancia $d$ y conectadas a una fuente de potencial eléctrico regulable. En el espacio que hay entre las placas se introducen algunas gotitas de aceite cargadas negativamente. El experimento consiste en crear un campo eléctrico entre las placas y conseguir una posición de equilibrio de las gotitas de aceite contrarrestando su peso. Datos: $|e| = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg; $g = 9{,}8\ \mathrm{m\ s^{-2}}$. Volumen de una esfera: $\frac{4}{3}\pi r^3$.

**a)** Realice un esquema del dispositivo empleado por Millikan, dibujando las fuerzas que actúan sobre una gota de aceite esférica. Indique y razone el signo de la carga que tendrá cada placa y la dirección y el sentido del campo eléctrico generado por ellas. Suponiendo que las placas se conectan a un potencial eléctrico de 2,00 kV y que la distancia entre placas es $d = 2{,}00$ cm, calcule el campo eléctrico creado entre placas y dibújelo en el mismo esquema. (1,25 puntos)

**b)** Teniendo en cuenta que la densidad del aceite es de 923 kg m⁻³ y que el radio de una gota es de 1,08 µm, calcule la carga de una gota que se encuentra en equilibrio. ¿Cuántos electrones son necesarios para generar esta carga? ¿Qué se observaría si iluminásemos la gota con rayos ultravioletas y esta perdiera un electrón? Justifique la respuesta. (1,25 puntos)

### Apartado a)

1. **La idea:** la gota está en equilibrio entre su **peso** (hacia abajo) y la **fuerza eléctrica** (que tiene que ir hacia arriba). Con la fuerza, el signo de la gota y $\vec{F} = q\vec{E}$ deduces el sentido del campo y, con él, qué placa es la positiva.
2. **Esquema**: dos placas horizontales conectadas a la fuente; entre ellas una gota con $m\vec{g}$ hacia abajo y $\vec{F}_e$ hacia arriba, del mismo módulo; líneas de campo verticales, paralelas e igual de separadas.
3. Como la gota es **negativa**, $\vec{F}_e = q\vec{E}$ tiene sentido **contrario** al campo. Si $\vec{F}_e$ va hacia arriba, $\vec{E}$ va **hacia abajo**: vertical y de la placa superior a la inferior. Las líneas de campo salen de las cargas positivas, así que la **placa superior es positiva** y la **inferior, negativa**.
4. Entre dos placas paralelas el campo es **uniforme** y su módulo es la diferencia de potencial entre la distancia (relación campo-potencial del Tema 8):

$$E = \frac{V}{d} = \frac{2{,}00 \cdot 10^3}{2{,}00 \cdot 10^{-2}} = 1{,}00 \cdot 10^5\ \mathrm{V/m}$$

**SOLUCIÓN** Placa superior positiva e inferior negativa; $\vec{E}$ vertical y hacia abajo, uniforme, de $1{,}00 \cdot 10^5$ V/m (= N/C).

### Apartado b)

1. **La idea:** con la densidad y el radio sacas la masa; el equilibrio $|q|E = mg$ da la carga, y dividiendo entre $e$, el número de electrones.
2. Masa de la gota:

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 = 923 \cdot \frac{4}{3}\pi\,(1{,}08 \cdot 10^{-6})^3 = 4{,}87 \cdot 10^{-15}\ \text{kg}$$

   y su peso, $P = mg = 4{,}77 \cdot 10^{-14}$ N.
3. Equilibrio:

$$|q|E = mg \;\Rightarrow\; |q| = \frac{mg}{E} = \frac{4{,}87 \cdot 10^{-15} \cdot 9{,}8}{1{,}00 \cdot 10^{5}} = 4{,}77 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

   La carga de la gota es $q = -4{,}77 \cdot 10^{-19}$ C.
4. Número de electrones: $n = \dfrac{4{,}77 \cdot 10^{-19}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 2{,}98$, es decir, **3 electrones** (la carga está cuantizada: $n$ es entero; el 2,98 es efecto del redondeo de los datos).
5. Si pierde un electrón, su carga pasa a $2e$ y la fuerza eléctrica baja a $F_e = 2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}00 \cdot 10^{5} = 3{,}20 \cdot 10^{-14}$ N, menor que el peso ($4{,}77 \cdot 10^{-14}$ N). La fuerza neta, $1{,}57 \cdot 10^{-14}$ N, va hacia abajo: la gota **deja de estar en equilibrio y cae** (en el aire, el rozamiento hace que acabe bajando a velocidad constante).

**SOLUCIÓN** $q = -4{,}77 \cdot 10^{-19}$ C, que son 3 electrones; si pierde uno, la gota cae.

**Lo que puntúa.** Pauta oficial (en catalán; traducida): en a), 0,25 por el esquema con las placas, el voltaje y las dos fuerzas; 0,25 por el signo de las placas («La placa superior ha de tenir una càrrega positiva i la inferior negativa per crear un camp elèctric vertical i dirigit cap avall» —la superior positiva y la inferior negativa para crear un campo vertical hacia abajo—); 0,5 por $E = V/d = 10^5$ V/m, y 0,25 por las líneas, «verticals equiespaiades i cap avall» (verticales, equiespaciadas y hacia abajo). En b), 0,75 por la masa y la carga, 0,25 por $n = 3$ y 0,25 por razonar que la gota cae. Criterios generales: un error de unidades o no ponerlas resta 0,25 en el problema; 6 o más cifras significativas, o solo una, restan 0,1; «Una resposta correcta sense raonament ni justificació es pot valorar amb un 0» (una respuesta correcta sin razonamiento puede valer 0).

**Error típico que te quita puntos.** Poner el campo hacia arriba «porque la fuerza va hacia arriba» (olvidando que la gota es negativa) y, con él, las placas al revés. En b), olvidar el $\frac{4}{3}$ del volumen o no pasar los micrómetros a metros. **Errata de la pauta oficial**: dice «les dues forces que actuen sobre l'electró» (las fuerzas sobre el electrón); son las fuerzas sobre la gota de aceite. No cambia nada en la nota.

## Conceptos clave

### Carga eléctrica

Propiedad de la materia responsable de la interacción electromagnética. Puede ser positiva o negativa; se mide en culombios (C).

### Cuantización de la carga

Toda carga libre es un múltiplo entero de la carga elemental: $q = ne$, con $e = 1{,}602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C (exacta desde 2019).

### Conservación de la carga

En un sistema aislado la carga total se mantiene constante: solo se transfiere de unos cuerpos a otros.

### Ley de Coulomb

$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}_r$: fuerza entre dos cargas puntuales en reposo, proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

### Permitividad del vacío

$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ C²/(N·m²); relaciona la constante de Coulomb con el medio: $k = 1/(4\pi\varepsilon_0)$.

### Intensidad del campo eléctrico

Fuerza por unidad de carga positiva en un punto: $\vec{E} = \vec{F}/q$. Se mide en N/C o V/m.

### Principio de superposición

El campo o la fuerza de varias cargas es la suma vectorial de los que crea cada una por separado.

### Línea de campo

Línea tangente en cada punto al vector campo; sale de las cargas positivas, entra en las negativas y nunca se corta con otra.

### Dipolo eléctrico

Dos cargas iguales y de signo contrario separadas una distancia pequeña.

### Campo uniforme

Campo con el mismo módulo, dirección y sentido en todos los puntos, como el que hay entre dos placas paralelas con cargas opuestas.

### Flujo eléctrico

Magnitud escalar que mide las líneas que atraviesan una superficie: $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S}$ (campo uniforme y superficie plana). Unidad: N·m²/C.

### Teorema de Gauss

El flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es la carga encerrada dividida entre $\varepsilon_0$: $\Phi_E = Q_{\text{int}}/\varepsilon_0$.

### Densidad superficial de carga

Carga por unidad de área, $\sigma$ (C/m²); en una distribución lineal se usa $\lambda$ (C/m).

### Equilibrio electrostático

Estado de un conductor en el que las cargas no se mueven: campo nulo dentro, carga en la superficie y campo perpendicular a ella.

### Jaula de Faraday

Recinto conductor en cuyo interior el campo eléctrico exterior se anula, porque las cargas de la jaula se redistribuyen.

MODO PAU

## Siete claves que valen puntos

### Dibujo primero

Cargas, punto, **distancias** y **cada vector** con su sentido. Muchas comunidades lo puntúan aparte (Cataluña, Castilla y León, Illes Balears, Comunitat Valenciana).

### Vector, no módulo

Si te piden «el campo» o «la fuerza», da $E_x\vec{\imath} + E_y\vec{\jmath}$. En **Cantabria** dar solo el módulo vale **la mitad**; en Extremadura, el 50 %.

### Signos

Positiva: campo **saliente**; negativa: **entrante**. Fuerza sobre una carga negativa: **contraria** a $\vec{E}$.

### Unidades SI

cm → m, μC → $10^{-6}$ C, nC → $10^{-9}$ C antes de sustituir. Restan: -0,25 en Cataluña o Asturias, -0,1 en Murcia.

### Campo nulo

**Razona la zona** antes de calcular: mismo signo, entre las cargas; signo contrario, fuera, del lado de la pequeña.

### Equilibrio

Diagrama de fuerzas y $\sum \vec{F} = 0$ por ejes: $\tan\theta = qE/(mg)$; el signo de $q$ sale de hacia dónde se desvía.

### Gauss

**Enuncia** la ley ($\Phi_E = Q_{\text{int}}/\varepsilon_0$), elige la superficie con simetría y cuenta solo la carga **de dentro**. Mira si tu comunidad lo excluye o lo limita.

## Cómo te lo pueden preguntar

- Calcular el **vector campo eléctrico** o la **fuerza** que crean dos o tres cargas puntuales en un punto (en unos ejes, un triángulo, un cuadrado o un rectángulo), con el dibujo de cada vector y de la suma, o al revés: hallar una carga o una distancia a partir del campo, del campo y el potencial, o de la condición de **campo nulo** o de **equilibrio** (también una bolita colgada en un campo uniforme o la gota de Millikan): el campo eléctrico sale en **51 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades.
- **Líneas de campo**: dibujarlas para dos cargas (con las equipotenciales), razonar si un dibujo es correcto o explicar por qué el campo es conservativo: sale en **7 de las 68 convocatorias**, en 5 comunidades (Cataluña —tres veces, una de ellas en el tubo de rayos X del Tema 8—, Murcia, Illes Balears, Castilla y León —allí, un verdadero o falso sobre las líneas del campo gravitatorio— y Aragón —las líneas del campo magnético de un hilo, Tema 10—).
- **Enunciar el teorema de Gauss** y aplicarlo (flujo a través de una esfera que encierra una carga, campo fuera de una esfera maciza cargada): sale en **2 de las 68 convocatorias**, en 2 comunidades (Comunitat Valenciana 2026 ordinaria y Murcia 2026 extraordinaria). Es poco, pero entra en el currículo de casi todas.
- Todo el tema (Coulomb, superposición, líneas, flujo y Gauss) sale en **53 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades, y casi siempre en el mismo ejercicio que el potencial y el trabajo (Tema 8).

## No lo confundas

- **Campo y fuerza**: $\vec{E}$ es propio del punto y no depende de la carga que pongas; $\vec{F} = q\vec{E}$ sí depende de ella, y si $q < 0$ tiene sentido contrario al campo.
- **Sumar vectores y sumar módulos**: $|\vec{E}_1 + \vec{E}_2| = E_1 + E_2$ solo si los dos tienen la misma dirección y sentido. En general, suma componentes.
- **Campo nulo y potencial nulo**: el campo se anula donde los vectores se compensan; el potencial (escalar) donde las contribuciones con signo suman cero. En el punto medio de un dipolo $V = 0$ pero $\vec{E} \neq 0$; en el de dos cargas iguales, $\vec{E} = 0$ pero $V \neq 0$ (Tema 8).

- **Línea de campo y trayectoria**: la carga se acelera en la dirección del campo, pero su trayectoria solo sigue la línea si esta es recta, la carga parte del reposo (o se mueve a lo largo de ella) y no actúan otras fuerzas: si la línea es curva, la carga se sale de ella.
- **Flujo nulo y campo nulo**: una superficie cerrada sin carga dentro tiene flujo cero aunque la atraviese un campo (entran tantas líneas como salen).
- **Esfera conductora y esfera cargada en volumen**: fuera, las dos crean $kQ/r^2$; dentro, el conductor tiene $E = 0$ y la aislante cargada en volumen, $E = kQr/R^3$.
- **Ángulo con la superficie y ángulo con la normal**: en $\Phi_E = ES\cos\alpha$, $\alpha$ es el ángulo entre $\vec{E}$ y el vector superficie (perpendicular a ella).
- **$k$ y $\varepsilon_0$**: $k = 1/(4\pi\varepsilon_0)$. Con $k = 9 \cdot 10^9$, $1/\varepsilon_0 = 4\pi k = 1{,}13 \cdot 10^{11}$ N·m²/C².

## Ponte a prueba

**PAU Castilla-La Mancha 2025 (extraordinaria), Problema 2** (2,5 puntos; se eligen dos de los tres apartados, de 1,25 puntos cada uno). Una pequeña bola de masa m = 50 g se ha situado colgando de un hilo dentro de un campo eléctrico uniforme $\vec{E} = 3000\,\vec{\imath}$ V/m, horizontal y dirigido de izquierda a derecha (véase figura). La bola se mantiene en la posición indicada, y tiene una carga eléctrica neta que debemos determinar. El hilo que sostiene la bola forma un ángulo de $\theta = 25^\circ$ con la vertical. Elige dos apartados a realizar: a) (1.25 puntos) Observando la disposición de la figura, explicar razonadamente cuál es el signo de la carga. Se valorará un esquema de fuerzas adecuado. b) (1.25 puntos) Calcular el valor de la carga y la tensión del hilo que la sostiene. c) (1.25 puntos) Para un valor de la carga de la bola igual a 10 $\mu$C. ¿Qué valor debería tener el campo eléctrico para que el ángulo del hilo con la vertical fuese 45°? En este caso, ¿cuál sería la tensión del hilo? [Figura: la bola cuelga desviada hacia la **izquierda**, en contra del campo, que apunta hacia la derecha.] (El enunciado no da $g$: usa 9,8 m/s².)

**Solución:** a) Sobre la bola actúan el peso (abajo), la tensión (a lo largo del hilo, hacia el punto de suspensión, arriba y a la derecha) y la fuerza eléctrica, que tiene que ir hacia la **izquierda** para equilibrar la componente horizontal de la tensión. Como $\vec{F} = q\vec{E}$ y $\vec{E}$ va hacia la derecha, $q < 0$. b) $|q|E = T\,\mathrm{sen}\,\theta$ y $mg = T\cos\theta$, luego $|q| = \dfrac{mg\tan\theta}{E} = \dfrac{0{,}050 \cdot 9{,}8 \cdot \tan 25^\circ}{3000} = 7{,}6 \cdot 10^{-5}$ C, es decir, $q = -7{,}6 \cdot 10^{-5}$ C; $T = \dfrac{mg}{\cos 25^\circ} = 0{,}54$ N. c) $E = \dfrac{mg\tan 45^\circ}{|q|} = \dfrac{0{,}49}{10^{-5}} = 4{,}9 \cdot 10^4$ V/m y $T = \dfrac{mg}{\cos 45^\circ} = 0{,}69$ N. Coincide con la solución oficial ($q = -7{,}6 \cdot 10^{-5}$ C, $T = 0{,}54$ N; $E = 4{,}9 \cdot 10^4$ V/m, $T = 0{,}69$ N).

**PAU Asturias 2026 (ordinaria), Pregunta 3** (2 puntos; se contestan cinco preguntas cualesquiera de ocho). Dos cargas puntuales de igual magnitud, pero distinto signo ($q_1 = +10\ \mu$C y $q_2 = -10\ \mu$C) forman lo que conocemos como un dipolo eléctrico. La distancia entre las cargas es de 6 cm. Calcule: a. El módulo, la dirección y el sentido del campo eléctrico en un punto P equidistante de ambas cargas y situado a una distancia de 5 cm de cada una de las cargas. (1.5 puntos) b. El potencial eléctrico en el punto P si ambas cargas fueran positivas. (0.5 puntos) (Dato de la tabla del examen: $K = 9 \cdot 10^9$ N·m²·C⁻².)

**Solución:** a) Pon $q_1$ en $(-3,\ 0)$ cm y $q_2$ en $(3,\ 0)$ cm: P está en $(0,\ 4)$ cm (triángulo 3-4-5). Cada campo vale $E_1 = E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-6}/0{,}05^2 = 3{,}6 \cdot 10^7$ N/C. $\vec{E}_1$ se aleja de $q_1$, en la dirección $(3,\ 4)/5$; $\vec{E}_2$ va hacia $q_2$, en la dirección $(3,\ -4)/5$. Las componentes y se anulan y las x se suman: $E = 2 \cdot 3{,}6 \cdot 10^7 \cdot \dfrac{3}{5} = 4{,}32 \cdot 10^7$ N/C, **paralelo a la recta que une las cargas y dirigido de la positiva a la negativa** ($\vec{E} = 4{,}32 \cdot 10^7\,\vec{\imath}$ N/C con estos ejes). b) El potencial es escalar: $V = 2K\dfrac{q}{r} = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{10 \cdot 10^{-6}}{0{,}05} = 3{,}6 \cdot 10^6$ V (con el dipolo real sería 0). Coincide con la solución oficial.

**PAU Región de Murcia 2025 (extraordinaria), Bloque 2, opción 2-A** (2,5 puntos; a elegir entre 2-A y 2-B). a) [1.25p] Una carga $q_1 = +2\ \mu C$ y otra $q_2 = +3\ \mu C$ están separadas una distancia de $2\ m$. ¿A qué distancia de $q_1$ habría que colocar una tercera carga $q_3 = +5\mu C$ para que la fuerza neta sobre $q_3$ fuera nula? b) [1.25p] Razonar cuáles de las representaciones de líneas de campo eléctrico mostradas en la figura son incorrectas. [Figura: a) una carga positiva con ocho líneas rectas radiales cuyas flechas apuntan **hacia** la carga; b) una carga positiva y otra negativa, con líneas que salen de la positiva y entran en la negativa; c) dos cargas positivas cuyas líneas salen de ellas y, entre las dos, **se cruzan**.]

**Solución:** a) Las dos cargas son positivas: las fuerzas sobre $q_3$ solo son opuestas **entre** ellas. Igualando módulos a una distancia $x$ de $q_1$: $\dfrac{2}{x^2} = \dfrac{3}{(2-x)^2} \Rightarrow \dfrac{2-x}{x} = \sqrt{1{,}5} \Rightarrow x = \dfrac{2}{1+\sqrt{1{,}5}} = 0{,}90$ m de $q_1$ (más cerca de la carga menor). No depende del valor ni del signo de $q_3$. b) **a) es incorrecta**: las líneas de una carga positiva salen de ella (el campo es saliente), no entran. **b) es correcta**: salen de la positiva, entran en la negativa, no se cortan y hay el mismo número en las dos. **c) es incorrecta**: dos líneas de campo no pueden cortarse, porque el campo en cada punto es único; entre dos cargas positivas iguales las líneas se curvan y se separan sin tocarse, y en el punto medio $E = 0$. Murcia no publica solución de este examen.

## 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»)
2. BIPM, «The International System of Units (SI)», 9.ª edición (2019): valor exacto de la carga elemental
3. NIST, CODATA 2018: permitividad eléctrica del vacío
4. NIST, CODATA 2018: carga elemental
5. PAU Comunidad de Madrid 2026, extraordinaria: examen de Física con soluciones
6. PAU Comunitat Valenciana 2026, ordinaria: examen de Física
7. PAU Comunitat Valenciana 2026, ordinaria: criterios de corrección de Física
8. PAU Cataluña 2025, ordinaria: examen de Física (castellano)
9. PAU Cataluña 2025, ordinaria: pauta de corrección de Física (catalán)

10. PAU Castilla-La Mancha 2025, extraordinaria: examen de Física
11. PAU Castilla-La Mancha 2025, extraordinaria: criterios de corrección de Física
12. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen de Física
13. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen resuelto de Física
14. PAU Región de Murcia 2025, extraordinaria: examen de Física y criterios generales
15. Distrito Único Andaluz: Directrices y orientaciones generales PAU 2026-27, Física
16. Generalitat de Catalunya: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
17. Comisión de Materia de Física de Madrid: presentación PAU 2025-2026 (directrices)
18. Universidad de Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027
19. UCLM: Propuesta de orientación de la materia Física (Crue), curso 2025-2026
20. Universidad de Extremadura: Aspectos curriculares orientativos de Física, Bloque B (12-3-2026)
21. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física PAU 2026-27
22. Gobierno de Canarias: Matriz de especificaciones de Física, PAU 2027
23. Universidad de Oviedo: Información sobre la PAU 2025/2026, Física (ficha y concreción curricular)
24. Universidad de Cantabria: Física, saberes, concreciones y criterios
25. CiUG (Galicia): Orientacións do grupo de traballo de Física, curso 2025-26
26. CiUG (Galicia): PAU 2027. Prácticas de Física 2.º Bacharelato
27. Decret 43/2025 (Illes Balears), currículum del batxillerat, BOIB núm. 103
28. Junta de Castilla y León: Guía de calificación de Física, PAU 2026
29. Universidad de Zaragoza: Física, estructura básica y criterios generales PAU 2025-2026
30. UPNA: Guía PAU de Física, curso 2025-2026
31. Universidad de La Rioja: Guía de calificación de Física, PAU 2025-2026
32. UPV/EHU: Fisika 2027 · USaP (presentación de la reunión de coordinación)
33. Orden de 30 de mayo de 2023, currículo de Bachillerato en Andalucía (BOJA n.º 104), Física
34. Tipler, P. A. y Mosca, G., Física para la ciencia y la tecnología, vol. 2, 6.ª ed., Reverté (capítulos 21 y 22: campo eléctrico y ley de Gauss)

**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.