# Óptica geométrica: lentes, espejos, ojo e instrumentos

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 óptica geométrica estudia cómo **lentes y espejos forman imágenes** con rayos. Todo sale de dos ecuaciones con el **criterio de signos DIN**: lentes, $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ con $M = \frac{s'}{s}$; espejos, $\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}$ con $M = -\frac{s'}{s}$. La **potencia** es $P = 1/f'$ en dioptrías. Lo que puntúa es el **trazado de rayos** bien dibujado y las tres características de la imagen. Sale en **48 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades; la **lente delgada**, en 40 de 68. Cierran el tema el ojo (miopía, hipermetropía) y los instrumentos.

## 1 Rayos, objetos e imágenes: el vocabulario de la óptica geométrica

La **óptica geométrica** estudia la luz con **rayos**: líneas rectas que indican hacia dónde viaja la energía luminosa. Funciona cuando los objetos (lentes, espejos, el ojo) son mucho mayores que la longitud de onda; si no, aparecen difracción e interferencias (Tema 13). Se apoya en tres leyes: **propagación rectilínea** en un medio homogéneo, **reflexión** (ángulo de reflexión = ángulo de incidencia) y **refracción** (ley de Snell, Tema 15). Con ellas se explica cómo un **sistema óptico** —un conjunto de superficies que reflejan o refractan la luz— forma **imágenes**.

- **Sistema óptico centrado:** todas sus superficies tienen el centro sobre una misma recta, el **eje óptico**. Una lente, un espejo esférico o el ojo lo son.
- **Objeto** es el punto (o conjunto de puntos) del que salen los rayos que entran en el sistema. **Imagen** es el punto donde se cortan los rayos que salen de él. Si los que se cortan son los **rayos de verdad**, la imagen es **real** y se puede recoger en una pantalla (proyector, cámara, retina). Si solo se cortan sus **prolongaciones**, la imagen es **virtual**: la ves al mirar a través del sistema, pero en una pantalla no aparece nada (lupa, espejo plano).
- **Estigmatismo:** un sistema es estigmático si todos los rayos que salen de un punto objeto pasan por un único punto imagen. Las lentes y los espejos esféricos reales solo lo son aproximadamente, para rayos **paraxiales**: los que van cerca del eje y forman ángulos pequeños con él ($\operatorname{sen}\theta \approx \tan\theta \approx \theta$). Todas las ecuaciones del tema valen en esa **aproximación paraxial**; los rayos alejados del eje producen aberraciones (no entran en la PAU).
- **Las tres características de una imagen** que te piden siempre: **real o virtual**, **derecha o invertida** y **mayor, menor o igual** que el objeto. En Cantabria cada una vale 0,2 puntos en los criterios de la ordinaria de 2026; en Castilla-La Mancha, «Explica al menos dos reglas de trazado de rayos» y las características entran en el mismo apartado. Dilas las tres, con su porqué.
- **Sistemas de este tema:** dioptrio (una sola superficie que separa dos medios), espejos planos y esféricos, lentes delgadas, sistemas de dos lentes, el ojo y los instrumentos. El RD 243/2022 lo resume

en el bloque C: «Formación de imágenes en medios y objetos con distinto índice de refracción. Sistemas ópticos: lentes delgadas, espejos planos y curvos y sus aplicaciones».

| | Imagen real | Imagen virtual |
|---|---|---|
| Qué se corta | Los rayos que salen del sistema | Las prolongaciones de esos rayos |
| ¿Se recoge en una pantalla? | Sí | No (se ve mirando a través) |
| Cómo se dibuja | Línea continua | Prolongaciones en línea discontinua |
| Ejemplos | Proyector, cámara, retina, espejo cóncavo con el objeto lejos | Lupa, espejo plano, espejo convexo, lente divergente |

Con un objeto real, una imagen real es siempre invertida y una imagen virtual es siempre derecha (con un solo espejo o una sola lente delgada).

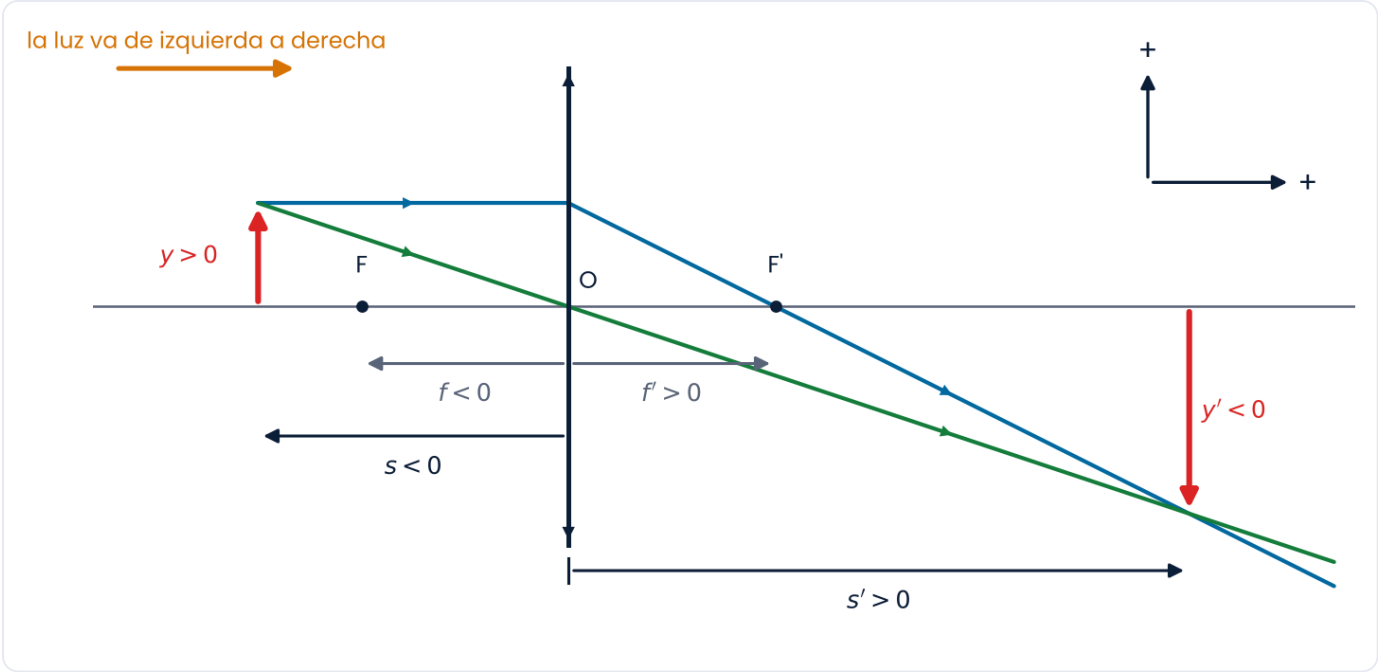
## 2 Las normas DIN: el criterio de signos

Para que una sola ecuación sirva para todos los casos, las distancias y los tamaños llevan **signo**. Las comisiones españolas usan casi todas el criterio de las **normas DIN** (de la norma alemana DIN 1335 de óptica geométrica), que es un criterio **cartesiano**: el origen está en el centro óptico de la lente o en el vértice del espejo y los signos se leen como en unos ejes $x$, $y$.

- **La luz viaja de izquierda a derecha.** El objeto se dibuja a la izquierda.
- **Distancias horizontales** ($s$, $s'$, $f$, $f'$, $R$), medidas **desde** la lente o el vértice: **positivas a la derecha**, **negativas a la izquierda**. Un objeto real delante de una lente tiene $s < 0$.
- **Alturas** ($y$, $y'$): **positivas hacia arriba**, negativas hacia abajo. Una imagen invertida tiene $y' < 0$ si el objeto está derecho.
- **Magnitudes con prima** ($s'$, $y'$, $f'$, $F'$) se refieren a la imagen; **sin prima**, al objeto.
- **Consecuencias que hay que saber de memoria:** en una lente **convergente** $f' > 0$ (y $f = -f' < 0$); en una **divergente** $f' < 0$. En un espejo **cóncavo** $R < 0$ y $f < 0$; en uno **convexo** $R > 0$ y $f > 0$. Cuando un enunciado da «una lente divergente de distancia focal 20 cm», tú escribes $f' = -20$ cm.

### Qué criterio de signos te exigen

**DIN obligatorio:** Madrid («Utilización de normas DIN para óptica geométrica», presentación de la Comisión 2025-26; en 2025-26, pendiente de confirmar para 2027), Extremadura («Convenio de signos DIN», aspectos curriculares), Murcia («Aplicar el criterio de signos DIN», Especificaciones 2027) e Illes Balears, donde hay que empezar escribiendo la frase «S'usa el criteri de signes DIN» (la ficha de la UIB lo exige; el acta de 18-10-2024 decía que si no, «l'exercici no puntuarà»: el ejercicio no puntuará). **Cualquiera, si lo dices y eres coherente:** Andalucía («siempre de debe especificar claramente el criterio de signos utilizado», orientaciones 2026-27; la errata «de debe» es del original), Cataluña («es pot fer servir qualsevol criteri de signes, però cal ser coherent», orientaciones PAU 2027), País Vasco (la extraordinaria de 2026 admitía «DIN/cartesiano o Gauss/real-positivo») y Castilla-La Mancha (sus criterios de 2025 aceptan $1/s' + 1/s = 1/f'$ «Si se mantiene con coherencia»). En las demás, los criterios y soluciones oficiales que se publican usan DIN (Navarra no publica soluciones y su guía no cita las normas DIN). **Consejo:** usa DIN siempre y escribe al empezar «Criterio de signos: normas DIN».




**El criterio DIN en una lente convergente.** Objeto a la izquierda ($s < 0$) y derecho ($y > 0$); imagen real a la derecha ($s' > 0$) e invertida ($y' < 0$). La focal imagen es positiva ($f' > 0$) y la objeto, negativa ($f < 0$). Trazado calculado con $f' = 2$ y $s = -3$ (unidades arbitrarias): sale $s' = 6$ e $y' = -2$.

## 3 El dioptrio plano y el esférico

Un **dioptrio** es una superficie que separa dos medios transparentes de índices $n$ (el de la luz que llega) y $n'$ (el de la luz que sale). Es la pieza básica: una lente son dos dioptrios. Con el criterio DIN y en la aproximación paraxial, para un dioptrio esférico de radio $R$:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{R}$$

- **Focos del dioptrio:** el foco imagen $F'$ es donde se cortan los rayos que llegan paralelos ($s \to -\infty$): $f' = \dfrac{n' R}{n' - n}$. El foco objeto $F$ es el punto cuyos rayos salen paralelos ($s' \to \infty$): $f = -\dfrac{nR}{n' - n}$. En un dioptrio $|f| \neq |f'|$, porque los medios son distintos.
- **Aumento lateral del dioptrio:** $M = \dfrac{y'}{y} = \dfrac{n\,s'}{n'\,s}$.
- **Ejemplo (dioptrio esférico):** una varilla de vidrio ($n' = 1{,}50$) en aire ($n = 1$) termina en una superficie convexa de radio $R = +2$ cm. Para un objeto a 8 cm ($s = -8$ cm): $\dfrac{1{,}50}{s'} = \dfrac{1}{-8} + \dfrac{0{,}50}{2} = 0{,}125\ \text{cm}^{-1}$, luego $s' = +12$ cm: imagen real dentro del vidrio. Focales: $f' = 6$ cm y $f = -4$ cm. Aumento: $M = \dfrac{1 \cdot 12}{1{,}50 \cdot (-8)} = -1$ (invertida y de igual tamaño).
- **Dioptrio plano** ($R \to \infty$): $\dfrac{n'}{s'} = \dfrac{n}{s}$, es decir, $s' = s\,\dfrac{n'}{n}$, con $M = 1$. Es la **profundidad aparente**: un pez a 2,0 m bajo el agua ($n = 1{,}33$), visto desde el aire ($n' = 1$) casi en vertical, parece estar a $2{,}0/1{,}33 = 1{,}50$ m. Por eso las piscinas parecen menos profundas de lo que son.
- La profundidad aparente cayó en Galicia (2026 extraordinaria, 3.2.1) y en Castilla y León (2025 extraordinaria); esos ejercicios combinan la ley de Snell (Tema 15) con esta fórmula del dioptrio plano. Ojo: la fórmula $s' = s\,n'/n$ solo vale para rayos casi perpendiculares a la superficie.

### El dioptrio no entra igual en todas partes

**Madrid** lo excluye: «No dioptrio esférico, ni plano (No en 2º Bachillerato)» (presentación de la Comisión 2025-26; en 2025-26, pendiente de confirmar para 2027). **Extremadura** excluye «dioptrios esféricos» (aspectos curriculares del bloque C, acuerdos de 12-03-2026; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **Galicia** lo incluye expresamente: «Formación de imaxes a través do dioptro curvo e plano» (formación de imágenes a través del dioptrio curvo y plano; Orientacións 2025-26). **Castilla y León** recoge el «dioptrio plano» en su currículo (Decreto 40/2022). En el resto ningún documento lo nombra ni lo excluye, y en 2025-2026 el esférico no ha caído en ninguna comunidad.

## 4 Espejos planos y esféricos

En un espejo la luz **rebota** y vuelve hacia la izquierda, así que una imagen **real** se forma **delante** del espejo ($s' < 0$, a la izquierda) y una **virtual**, **detrás** ($s' > 0$). Con el criterio DIN, la **ecuación de los espejos esféricos** y el **aumento lateral** son:

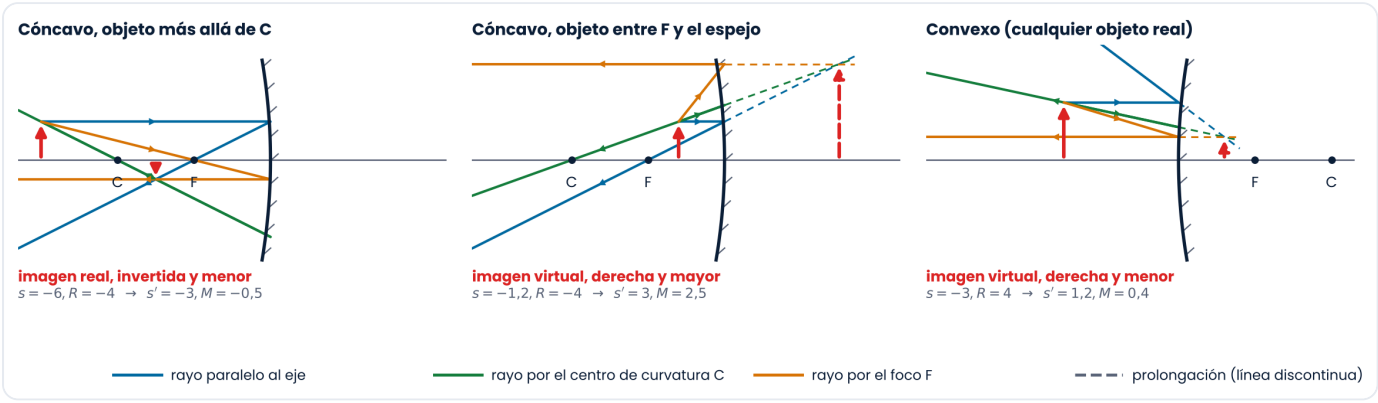
$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \qquad M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

El foco está a mitad de camino entre el vértice y el centro de curvatura: $f = f' = R/2$ (en un espejo el foco objeto y el imagen coinciden).

- **Espejo plano** ($R \to \infty$): $s' = -s$ y $M = +1$. La imagen es **virtual, derecha, del mismo tamaño** y simétrica del objeto respecto del espejo (invierte la dirección perpendicular al espejo, delante-detrás; por eso tu mano derecha se ve como la izquierda de la imagen, pero arriba y abajo no se cambian). Para verte entera basta un espejo de **la mitad de tu altura**, colocado con el borde inferior a la mitad de la altura de tus ojos (es la geometría de la reflexión; Cataluña lo preguntó en su muestra oficial de óptica).
- **Espejo cóncavo** ($R < 0$, $f < 0$): concentra la luz. Si el objeto está más lejos que el foco, da imagen **real e invertida**; si está entre el foco y el espejo, **virtual, derecha y mayor** (espejo de maquillaje o de afeitar: Aragón 2026 extraordinaria lo planteó en un camerino). Ejemplo: con $R = -40$ cm ($f = -20$ cm) y el objeto a 30 cm: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{-20} - \frac{1}{-30} = -\frac{1}{60}$, $s' = -60$ cm y $M = -\frac{-60}{-30} = -2$: real, invertida y doble, delante del espejo.
- **Espejo convexo** ($R > 0$, $f > 0$): con un objeto real da **siempre** imagen **virtual, derecha y menor**, y abarca un campo de visión amplio. Por eso se usa en retrovisores y en los espejos de seguridad de los cruces (Navarra 2025 ordinaria). Ejemplo: espejo de seguridad con $R = +0{,}80$ m y un coche a 6,0 m: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{0{,}40} + \frac{1}{6{,}0}$, $s' = +0{,}375$ m (detrás del espejo) y $M = -\frac{0{,}375}{-6{,}0} = +0{,}063$: el coche se ve unas 16 veces más pequeño.
- **Trazado de rayos en un espejo esférico** (con dos basta): (1) el rayo **paralelo al eje** se refleja pasando por el foco $F$ (en el convexo, su prolongación pasa por $F$, detrás); (2) el rayo que pasa (o se dirige) **por el centro de curvatura** $C$ vuelve sobre sí mismo; (3) el que pasa (o se dirige) **por el foco** sale paralelo al eje; (4) el que llega al **vértice** se refleja simétrico respecto del eje.
- **Aplicaciones:** faros y linternas (la bombilla en el foco de un espejo cóncavo da un haz paralelo), hornos solares, telescopios reflectores (el espejo cóncavo hace de objetivo), retrovisores y espejos de vigilancia (convexos).

### Espejos curvos: dónde no te los pedirán

**Cataluña:** «No es demanarà: [...] Formació d'imatges per miralls corbs i sistemes de lents» (no se pedirá la formación de imágenes por espejos curvos ni por sistemas de lentes; orientaciones PAU 2027): solo **espejo plano** y lente delgada. **Canarias:** la matriz 2027 (saber III.5) pide calcular el «tamaño, posición y naturaleza de la imagen» solo «por una lente delgada» (el acta de 26/27-03-2026 quitó el espejo plano); los espejos siguen en la matriz a nivel descriptivo. En el resto entran espejos planos y esféricos (en Cantabria, como saber no prioritario).




**Tres casos de espejo esférico, calculados con $1/s' + 1/s = 2/R$.** Cóncavo con el objeto más allá de $C$: imagen real, invertida y menor entre $C$ y $F$. Cóncavo con el objeto entre $F$ y el espejo: imagen virtual, derecha y mayor, detrás. Convexo: imagen virtual, derecha y menor, entre el vértice y $F$. En la aproximación paraxial los rayos se dibujan reflejándose en el plano del vértice.

## 5 Lentes delgadas: focos, potencia y ecuación de Gauss

Una **lente** es un medio transparente limitado por dos dioptrios, al menos uno curvo. Es **delgada** si su grosor es despreciable frente a los radios y las distancias: entonces todo se mide desde su **centro óptico** $O$. Las **convergentes** (más gruesas en el centro; símbolo con puntas hacia fuera) juntan los rayos paralelos en el foco imagen $F'$; las **divergentes** (más finas en el centro; puntas hacia dentro) los separan como si vinieran de $F'$. Con el criterio DIN:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \qquad M = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \qquad f = -f'$$

La primera es la **ecuación de Gauss** (o fundamental) de las lentes delgadas.

- **Focos:** el **foco imagen** $F'$ es donde se cortan los rayos que llegan paralelos al eje; el **foco objeto** $F$ es el punto cuyos rayos salen paralelos. En una lente delgada en aire están a la misma distancia a cada lado: $f = -f'$. Convergente: $F'$ a la derecha ($f' > 0$). Divergente: $F'$ a la izquierda ($f' < 0$).
- **Potencia:** $P = \dfrac{1}{f'}$, con $f'$ **en metros**; la unidad es la **dioptría**, $1\ \mathrm{D} = 1\ \mathrm{m}^{-1}$ (es una unidad legal en España: Real Decreto 2032/2009, tabla 8, «potencia de los sistemas ópticos»; el decreto no le da símbolo, y en los exámenes se escribe D). Convergente, $P > 0$; divergente, $P < 0$. Unas gafas de $-2$ D son divergentes con $f' = -0{,}50$ m. Extremadura (criterios de la ordinaria de 2025): «En el caso de la potencia de la lente, si no se pasan los cm a m, se descuenta el 75% del máximo valor correspondiente».
- **Ejemplos:** lente convergente de $f' = 20$ cm y objeto a 30 cm ($s = -30$ cm): $\dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{20} + \dfrac{1}{-30} = \dfrac{1}{60}$, $s' = +60$ cm y $M = \dfrac{60}{-30} = -2$ (real, invertida y doble). Lente divergente de $f' = -20$ cm con el mismo objeto: $\dfrac{1}{s'} = -\dfrac{1}{20} - \dfrac{1}{30}$, $s' = -12$ cm y $M = \dfrac{-12}{-30} = +0{,}4$ (virtual, derecha y menor).

- **Ecuación del fabricante de lentes** (lente delgada de índice $n$ en aire, radios $R_1$ y $R_2$ con signo DIN): $\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$. Una biconvexa con $n = 1{,}5$, $R_1 = +20$ cm y $R_2 = -20$ cm tiene $\frac{1}{f'} = 0{,}5 \cdot \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right) = 0{,}05\ \text{cm}^{-1}$: $f' = 20$ cm y $P = 5$ D. **Andalucía** la excluye: «Los problemas de lentes delgadas no requerirán el cálculo de la distancia focal a partir de los radios y del índice de refracción» (orientaciones 2026-27); **Extremadura** deja fuera las lentes planas por una cara: «No se incluye: dioptrios esféricos, lentes planocóncavas, lentes planoconvexas, sistemas de lentes» (aspectos curriculares del bloque C; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027).
- **Lentes delgadas en contacto:** las potencias se suman, $P = P_1 + P_2$. Una de $+5$ D pegada a una de $-2$ D equivale a una de $+3$ D ($f' = 33{,}3$ cm).
- **Demostraciones del aumento que pide Madrid.** Multiplica la ecuación de Gauss por $s'$: $1 - \frac{s'}{s} = \frac{s'}{f'}$, luego $M = \frac{s'}{s} = 1 - \frac{s'}{f'}$ (modelos 2026 y 2027, P1 a, 1 punto). Multiplícala por $s$: $\frac{s}{s'} - 1 = \frac{s}{f'}$, luego $\frac{s}{s'} = \frac{f' + s}{f'}$ y $M = \frac{f'}{f' + s}$ (ordinaria 2025, 3.B a, 1 punto).

**¿PUEDE UNA DIVERGENTE DAR UNA IMAGEN INVERTIDA? (MADRID 2025)**

«Considerando la expresión obtenida en el apartado anterior [$M = \frac{f'}{f' + s}$], razone si una lente divergente puede formar una imagen invertida.» (PAU Madrid 2025 ordinaria, Pregunta 3.B b, 0,5 puntos.)

**Respuesta modelo**

Con un objeto real a la izquierda, $s < 0$; en una divergente, $f' < 0$. Entonces el numerador $f'$ es negativo y el denominador $f' + s$ también (suma de dos negativos). El cociente es **siempre positivo**: $M > 0$, la imagen es **siempre derecha**. Una lente divergente nunca da imagen invertida de un objeto real. Además $|f' + s| > |f'|$, así que $0 < M < 1$: siempre **menor**.

**Por qué puntúa.** La solución oficial razona exactamente con los signos del numerador y del denominador. Decir «no, porque es divergente» sin el signo no puntúa.

**POTENCIA A PARTIR DE MEDIDAS (GALICIA 2025)**

Con una lente convergente se miden cuatro parejas de distancias objeto e imagen (en valor absoluto): $|s| = 0{,}50;\ 0{,}65;\ 0{,}80;\ 0{,}95$ m y $|s'| = 0{,}49;\ 0{,}41;\ 0{,}36;\ 0{,}34$ m. Determina la potencia y la focal. (PAU Galicia 2025 extraordinaria, 3.2.2, resumido.)

**Respuesta modelo**

Con el criterio DIN, $s < 0$ y $s' > 0$, así que $P = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{|s'|} + \frac{1}{|s|}$ para cada experiencia: 4,04; 3,98; 4,03 y 3,99 D. La media es $P = 4{,}01$ D y $f' = 1/P = 0{,}249$ m $\approx 0{,}25$ m.

**Por qué puntúa.** Es una de las prácticas oficiales de Galicia para 2027 («O cálculo da distancia focal e da potencia dunha lente converxente»). Otra forma: representar $1/s'$ frente a $1/s$; sale una recta de pendiente 1 cuya ordenada en el origen es $P$ (es la idea de linealizar del Tema 1).

## 6 Trazado de rayos: los tres rayos y cómo dibujar para que puntúe

Casi todos los problemas del tema piden el **trazado de rayos** (o «diagrama» o «marcha» de rayos), y suele valer entre 0,3 y 1 punto. Se dibuja el objeto como una flecha vertical apoyada en el eje y se trazan,

desde su punta, **dos de los tres rayos principales**; donde se cortan (o se cortan sus prolongaciones) está la punta de la imagen.

- **Flechas en los rayos y prolongaciones discontinuas.** Cantabria (criterios de 2026): «La prolongación hacia atrás de los rayos divergentes utilizada para localizar la imagen deberá representarse mediante línea discontinua; en caso contrario, se descontarán 0.25 puntos. Asimismo, los rayos deberán incluir flechas que indiquen claramente el sentido de propagación; de no ser así, se descontarán 0.25 puntos.» Basta con «dos rayos» y que el dibujo «guarde una cierta proporción con el real».
- **Explicarlo con palabras.** Extremadura (2026 ordinaria): lente y focos (0,1), dos rayos (0,2 + 0,2), objeto e imagen (0,1 + 0,1) y «hay que explicar con palabras cuál es la marcha de los rayos (0,3 puntos)». Andalucía: «siempre se debe explicar cómo se realiza el trazado de rayos». Castilla-La Mancha: «Explica al menos dos reglas de trazado de rayos».
- **Regla o mano alzada.** Asturias permite regla, escuadra y cartabón y pide el trazado a bolígrafo («el uso de lápiz se limitará a la hoja de borrador»); Illes Balears lo puntúa a escala y con regla; Aragón, en cambio, dice en su estructura de 2025-26: «No se podrá usar regla». Lleva el dibujo limpio en cualquier caso.
- **Pon los focos a escala aproximada** y marca $F$, $F'$ (y $2F$, $2F'$ si ayuda; $C$ en los espejos). Si los números no caben, cambia de escala, pero respeta el orden de los puntos: es lo que dice si la imagen es real o virtual, mayor o menor.
- **Si la imagen sale en el infinito** (objeto en el foco), los rayos salen paralelos: no hay imagen. Castilla-La Mancha lo preguntó en 2025 extraordinaria («Si el objeto se sitúa en el punto focal de la lente»).

**Rayo paralelo al eje**

al salir de la lente pasa por el **foco imagen** $F'$ (convergente) o se separa como si viniera de $F'$ (divergente: prolonga hacia atrás, discontinuo, hasta $F'$).

↓

**Rayo por el centro óptico** $O$

atraviesa la lente **sin desviarse**.

↓

**Rayo por el foco objeto** $F$ (o dirigido hacia $F$ en la divergente, que está a la derecha): sale **paralelo al eje**.

↓

**La imagen** está donde se cortan los rayos que salen; si divergen, donde se cortan sus **prolongaciones** (imagen virtual, dibujada en discontinuo).

↓

**Escribe con palabras** qué hace cada rayo y da las tres características de la imagen.

| Dónde está el objeto (lente convergente) | Imagen | Para qué sirve |
|---|---|---|
| Muy lejos (en el infinito) | En $F'$: real, invertida, puntual | Telescopio, foco del Sol |
| Más allá de $2F$ | Entre $F'$ y $2F'$: real, invertida y menor | Cámara, ojo |
| En $2F$ | En $2F'$: real, invertida e igual | Escáner, fotocopia 1:1 |
| Entre $2F$ y $F$ | Más allá de $2F'$: real, invertida y mayor | Proyector |
| En $F$ | No hay imagen (en el infinito) | Ocular, colimador |
| Entre $F$ y la lente | Del mismo lado: virtual, derecha y mayor | Lupa |

Un espejo cóncavo sigue la misma tabla cambiando $2F$ por $C$, pero sus imágenes reales se forman delante (a la izquierda). La lente divergente y el espejo convexo dan siempre, con un objeto real, imagen virtual, derecha y menor.

### IMAGEN REAL Y DERECHA (GALICIA 2026)

«Para obtener una imagen real y derecha con una lente delgada convergente de potencia 10 D, el objeto debe estar colocado, con respecto a la lente a: a) una distancia menor de 10 cm; b) una distancia mayor que 10 y menor que 20 cm; c) una distancia mayor que 20 cm; d) No es posible obtener una imagen real y derecha con una lente convergente.» (PAU Galicia 2026 extraordinaria, 3.1, 1 punto.)

**Respuesta modelo**

**d).** $f' = 1/10$ m $= 10$ cm. Con $M = \dfrac{s'}{s}$ y un objeto real ($s < 0$): si la imagen es real, $s' > 0$ y $M < 0$ (invertida); si $M > 0$ (derecha), $s' < 0$ (virtual). Una sola lente con un objeto real nunca da una imagen real y derecha: más allá de $F$ (más de 10 cm) la imagen es real e invertida; dentro de $F$ (menos de 10 cm), virtual y derecha.

**Por qué puntúa.** Los criterios de Galicia: «Si no se justifica la elección de la respuesta, la puntuación será de 0 puntos». La justificación es el signo del aumento.

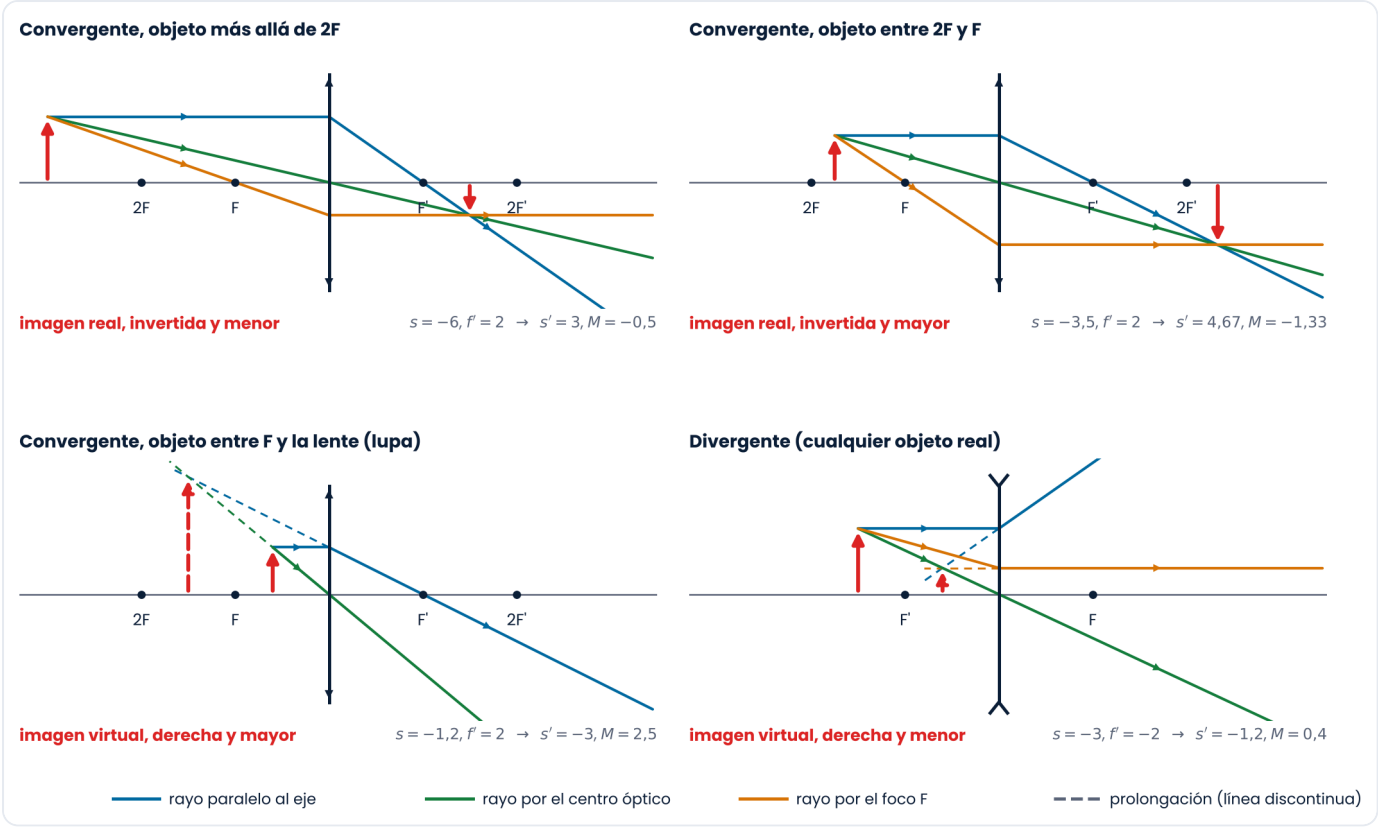
### UNA LUPA COMO PROYECTOR (CASTILLA Y LEÓN 2025)

«Se desea proyectar un objeto sobre una pantalla y que su imagen sea más pequeña que dicho objeto. ¿Podría utilizarse una lupa para conseguirlo? Justifique la respuesta mediante el correspondiente diagrama de rayos.» (PAU Castilla y León 2025 extraordinaria, C.2, 1 punto.)

**Respuesta modelo**

**Sí.** Una lupa es una lente **convergente**. Si el objeto se coloca **más allá de** $2F$, los rayos que salen se cortan de verdad entre $F'$ y $2F'$: la imagen es **real** (se recoge en la pantalla), **invertida** y **menor**. Trazado: el rayo paralelo sale por $F'$ y el rayo por el centro no se desvía; se cortan entre $F'$ y $2F'$ (primer panel de la figura). Solo cuando el objeto está dentro de la focal actúa como lupa (imagen virtual y mayor).

**Por qué puntúa.** La palabra «lupa» es la trampa: lo que importa es el tipo de lente y dónde está el objeto.




**Los cuatro casos de lente delgada, con los rayos calculados con $1/s' - 1/s = 1/f'$.** Convergente con el objeto más allá de $2F$: imagen real, invertida y menor (cámara). Entre $2F$ y $F$: real, invertida y mayor (proyector). Entre $F$ y la lente: virtual, derecha y mayor (lupa). Divergente: siempre virtual, derecha y menor. Las prolongaciones van en discontinuo.

## 7 Sistemas de dos lentes

Con dos lentes, la **imagen que da la primera hace de objeto para la segunda**. Se aplica la ecuación de Gauss dos veces, cada una con las distancias medidas **desde su propia lente**, y el aumento total es el producto: $M = M_1 \cdot M_2$.

- **Dónde cae:** Madrid lo dice expresamente («Sí asociación de lentes, no directamente los instrumentos ópticos», presentación 2025-26; en 2025-26, pendiente de confirmar para 2027) y lo puso en la extraordinaria de 2026; Castilla-La Mancha lo estrena en su modelo provisional 2027 (Pregunta 3B, dos lentes convergentes de 20 D).
- **Dónde no:** Cataluña («No es demanarà: [...] sistemes de lents», orientaciones PAU 2027) y Extremadura («No se incluye: [...] sistemas de lentes», aspectos curriculares del bloque C; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027).
- **El error típico** es usar en la segunda lente la distancia medida desde la primera. Dibuja las dos lentes, marca $d$ y escribe $s_2 = s_1' - d$ antes de sustituir.

Imagen de la lente 1: $\dfrac{1}{s_1'} - \dfrac{1}{s_1} = \dfrac{1}{f_1'}$ y $M_1 = \dfrac{s_1'}{s_1}$.

↓

Cambia de origen: si las lentes están separadas una distancia $d$, la posición del nuevo objeto respecto de la lente 2 es $s_2 = s_1' - d$.

↓

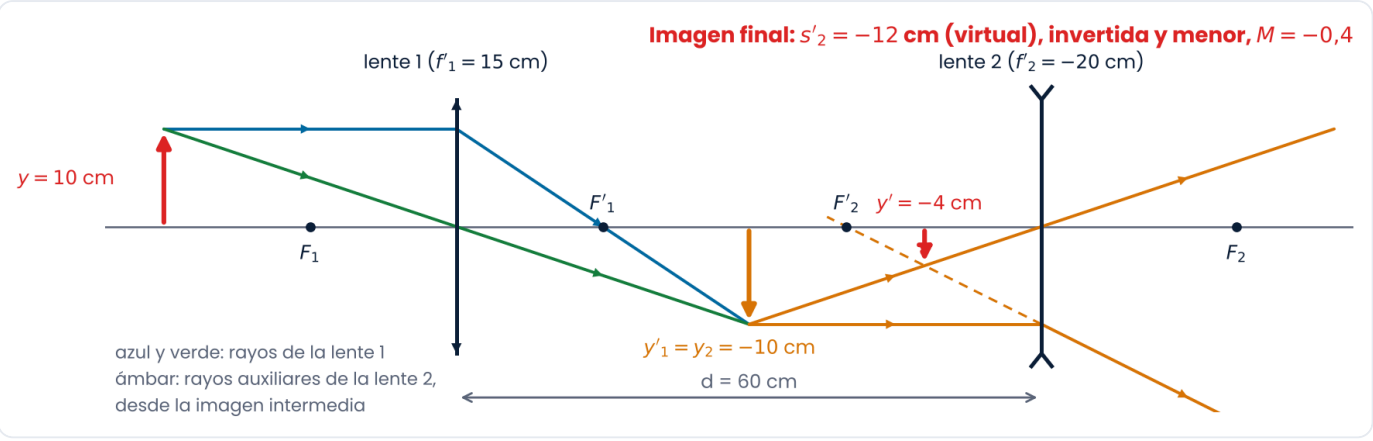
Imagen de la lente 2: $\dfrac{1}{s_2'} - \dfrac{1}{s_2} = \dfrac{1}{f_2'}$ y $M_2 = \dfrac{s_2'}{s_2}$.

↓

Aumento total $M = M_1 M_2$ y tamaño final $y' = M\,y$. Las características se dan respecto del objeto inicial.

↓

Si la imagen de la lente 1 cae **detrás** de la lente 2 ($s_2 > 0$), es un **objeto virtual** para la segunda: la ecuación sirve igual con ese signo.




**Trazado de un sistema convergente + divergente** (Madrid 2026 extraordinaria, Ejercicio resuelto 3): $f'_1 = 15$ cm, $f'_2 = -20$ cm, $d = 60$ cm y objeto de 10 cm a 30 cm de la primera. La lente 1 forma una imagen real e invertida de 10 cm en $s'_1 = 30$ cm (en $2F'_1$); esa imagen está a 30 cm a la izquierda de la lente 2, que forma la imagen final virtual en $s'_2 = -12$ cm, invertida y de 4 cm. Para la lente 2 se trazan, desde la imagen intermedia, dos rayos auxiliares (en ámbar): el paralelo, que sale como si viniera de $F'_2$ (su prolongación discontinua pasa por $F'_2$), y el que va por su centro.

## 8 El ojo humano y sus defectos

El ojo es un sistema óptico convergente: la **córnea** y el **cristalino** forman sobre la **retina** una imagen **real, invertida y menor** (el cerebro la «endereza»). En el ojo esquemático de Gullstrand la potencia total es de unas 59 dioptrías, de las que la córnea aporta unas 43. En los problemas de PAU el ojo se reduce a **una lente delgada** con la retina a una distancia fija detrás (unos 2 cm).

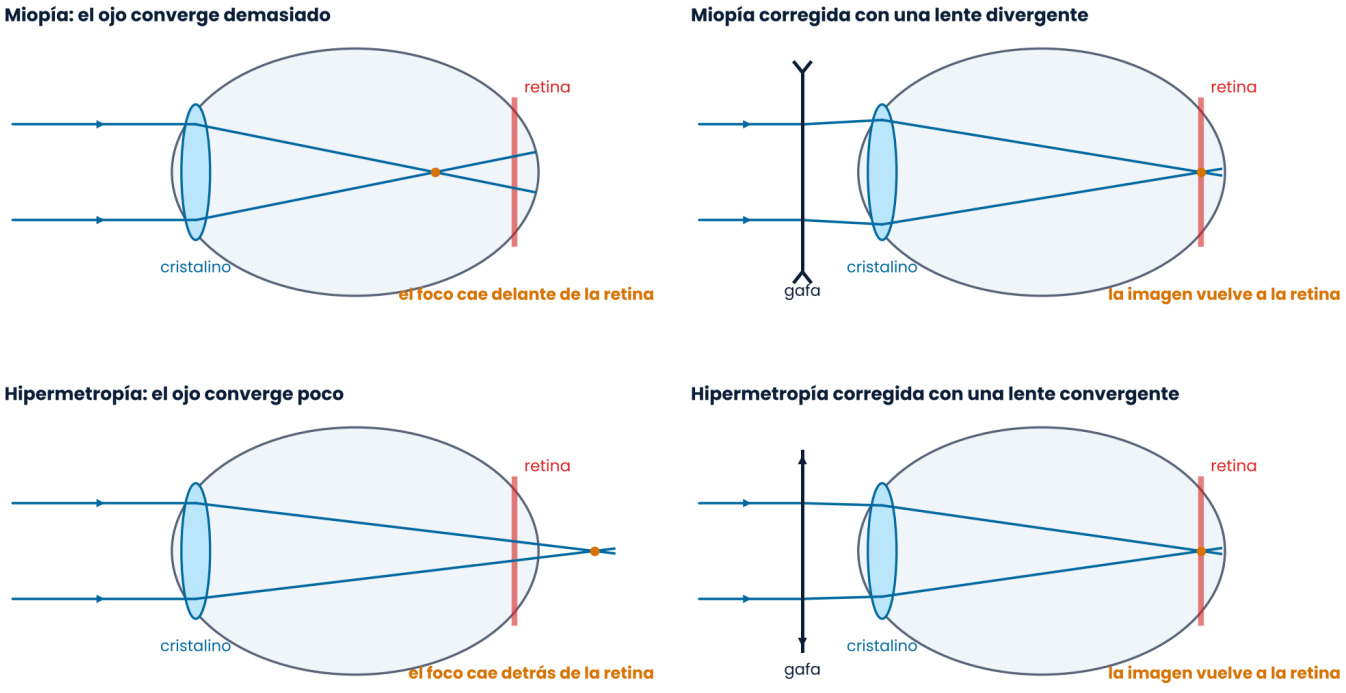
- **Acomodación:** como la retina no se mueve, para enfocar objetos a distintas distancias el **músculo ciliar** cambia la curvatura del cristalino y, con ella, la potencia. Relajado, el ojo normal (**emétrope**) enfoca el infinito.
- **Punto remoto (lejano):** el más lejano que se ve nítido sin acomodar; en el ojo normal, el **infinito**. **Punto próximo (cercano):** el más cercano que se ve nítido acomodando al máximo; por convenio, **25 cm** en el ojo normal adulto (es la distancia de referencia de la lupa).
- **Miopía:** el ojo converge demasiado (o es demasiado largo); los objetos lejanos se enfocan **delante** de la retina y el punto remoto está a una distancia finita. Se corrige con una lente **divergente** que, de un objeto en el infinito, forme una imagen virtual en el punto remoto: $f' = -d_{\text{remoto}}$ (con la lente pegada al ojo). Con el punto remoto a 50 cm, $f' = -0{,}50$ m y $P = -2$ D.
- **Hipermetropía:** el ojo converge poco (o es demasiado corto); enfoca **detrás** de la retina y el punto próximo se aleja. Se corrige con una lente **convergente** que, de un objeto a 25 cm, forme una imagen virtual en el punto próximo del paciente. Con el punto próximo a 75 cm: $P = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{-0{,}75} - \frac{1}{-0{,}25} = 2{,}67$ D.
- **Presbicia (vista cansada):** con la edad el cristalino pierde elasticidad y el punto próximo se aleja; no se debe a la forma del ojo. Se corrige para leer con lentes **convergentes**, igual que la hipermetropía: con el punto próximo a 1,0 m, $P = -1 + 4 = 3$ D. **Astigmatismo:** la córnea no tiene la misma curvatura en todas las direcciones; se corrige con lentes **cilíndricas** (solo cualitativo).
- **Un dato útil para razonar:** con la retina a 2,0 cm, el ojo normal relajado tiene $P = 1/0{,}020 = 50$ D en el modelo de una sola lente. Si un miope ve nítido hasta 2,0 m, su ojo relajado tiene $P = \frac{1}{0{,}020} -$

$\frac{1}{-2{,}0} = 50{,}5$ D: le sobran 0,5 D, que es justo lo que quitan unas gafas de $-0{,}5$ D.

| Defecto | Qué le pasa | Lente que lo corrige |
|---|---|---|
| Miopía | Enfoca delante de la retina; no ve bien de lejos | Divergente ($P < 0$) |
| Hipermetropía | Enfoca detrás; punto próximo lejano | Convergente ($P > 0$) |
| Presbicia | Pierde acomodación con la edad; no ve bien de cerca | Convergente para leer |
| Astigmatismo | Córnea con curvatura distinta según la dirección | Cilíndrica |

### El ojo según la comunidad

**Extremadura** lo excluye: «No se incluye: instrumentos ópticos, el ojo humano» (aspectos curriculares del bloque C; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **Asturias** pide justificar la corrección «mediante la realización del trazado de rayos para la formación de la imagen en el ojo, antes y después del empleo de la lente» (ficha 2025-26, indicador 59). **Cantabria** (concreción 42) y la **Comunitat Valenciana** (documento de orientación 2026-27) incluyen miopía, hipermetropía, presbicia y **astigmatismo** con diagrama de rayos; **Murcia** (Especificaciones 2027) y **Madrid** (Decreto 64/2022: «Óptica de la visión. Defectos visuales») también lo recogen. En 2025-2026 el ojo cayó en Navarra (2026 ordinaria y extraordinaria), Murcia (2025) y la Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria).




**Miopía e hipermetropía y su corrección.** Esquema con distancias exageradas: el ojo es una lente delgada a 4 unidades de la retina. El miope ($f' = 3$) enfoca delante de la retina; una gafa divergente ($f' = -11$, a 1 unidad del ojo) lleva el foco a la retina. El hipermétrope ($f' = 5$) enfoca detrás; una gafa convergente ($f' = +21$) lo corrige. Las focales de las gafas salen de la ecuación de las lentes, y el programa comprueba que el sistema enfoca justo en la retina.

## 9 Instrumentos ópticos: lupa, cámara, proyector, microscopio y telescopio

Los instrumentos combinan lentes (y espejos) para ver lo pequeño, lo lejano o para proyectar. En la PAU se pregunta **qué lente lleva**, **dónde va el objeto** y **qué imagen da**; en algunas comunidades, el **aumento**.

- **Lupa:** una lente **convergente** con el objeto **entre el foco y la lente**: imagen virtual, derecha y mayor. Como la imagen virtual se mira, lo que importa es el **aumento angular** (cuánto más grande se ve que

a simple vista a 25 cm): con el objeto en el foco (imagen en el infinito, ojo relajado) $\Gamma = \dfrac{0{,}25\ \text{m}}{f'}$; si la imagen se forma a 25 cm, $\Gamma = 1 + \dfrac{0{,}25\ \text{m}}{f'}$. Una lupa de $f' = 5$ cm (20 D) da $\Gamma = 5$, o 6. No lo confundas con el **aumento lateral** $M = s'/s$: con el objeto a 12,5 cm de una lente de 4 D, $s' = -25$ cm y $M = 2$ (Navarra 2025 extraordinaria).

- **Cámara fotográfica:** objetivo convergente que forma sobre el sensor una imagen **real, invertida y menor** (objeto más allá de $2F$). Para enfocar se mueve el objetivo: con $f' = 50$ mm, un objeto en el infinito se enfoca a 50 mm y uno a 2,0 m, a 51,3 mm.
- **Proyector:** lente convergente con la diapositiva **entre** $F$ **y** $2F$: imagen real, invertida y mayor en la pantalla (por eso la diapositiva se mete al revés). Es el Ejercicio resuelto 1.
- **Microscopio: objetivo** de focal muy corta, que da una imagen real, invertida y mayor del objeto (colocado justo fuera de su foco), y **ocular**, que actúa como lupa sobre esa imagen. Aumento total aproximado: $M = -\dfrac{L}{f'_{ob}} \cdot \dfrac{0{,}25\ \text{m}}{f'_{oc}}$, con $L$ la distancia entre $F'_{ob}$ y $F_{oc}$ (intervalo óptico). Con $f'_{ob} = 0{,}50$ cm, $f'_{oc} = 2{,}5$ cm y $L = 16$ cm: $M = -320$ (el signo dice que se ve invertida).
- **Telescopio refractor de Kepler:** dos lentes convergentes con $F'_{ob} = F_{oc}$ (sistema **afocal**: entran rayos paralelos y salen paralelos). **Aumento angular** $\Gamma = -\dfrac{f'_{ob}}{f'_{oc}}$; con $f'_{ob} = 100$ cm y $f'_{oc} = 5$ cm, $\Gamma = -20$ (imagen invertida) y el tubo mide $f'_{ob} + f'_{oc} = 105$ cm. **Telescopio de Galileo** (1609): ocular **divergente** ($f'_{oc} = -5$ cm): $\Gamma = +20$, imagen **derecha**, tubo de $100 - 5 = 95$ cm. **Reflectores** (Newton, Cassegrain): el objetivo es un espejo cóncavo; los **catadióptricos** combinan espejos y lentes.
- **Qué dicen las comisiones:** Madrid, «no directamente los instrumentos ópticos» (en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027); Asturias, «Conocer la necesidad de combinar diferentes sistemas ópticos en dispositivos como: cámara fotográfica, microscopio, telescopio» (ficha 2025-26, indicador 59, que pide además el trazado de rayos del ojo corregido); Murcia y Castilla-La Mancha concretan los telescopios refractores, reflectores y catadióptricos y el de Galileo con su aumento angular; Cantabria y la Comunitat Valenciana piden el trazado de rayos de lupa, microscopio y telescopio; Cataluña excluye los sistemas de lentes y Extremadura, los instrumentos (2025-26; pendiente de confirmar para 2027). Ningún instrumento de dos lentes ha caído en 2025-2026: lo que sale es la **lupa** (Castilla y León y Navarra) y la **lente de un proyector** (País Vasco, Extremadura, Canarias, La Rioja, Illes Balears).

## 10 Ejercicio resuelto: elegir la lente de un proyector y estudiar sus imágenes (País Vasco 2026)

**PAU PAÍS VASCO (UPV/EHU) 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PROBLEMA 3 (BLOQUE C: VIBRACIONES Y ONDAS, Y ÓPTICA), OPCIÓN C2 (A ELEGIR ENTRE C1 Y C2; 2,5 PUNTOS)**

C2.- Disponemos de dos lentes delgadas: una lupa de potencia $P_1$ = +3 D; una lente de gafas de potencia $P_2$ = -3 D.

**a)** Indica cuál de las dos lentes sería adecuada para construir un proyector de imágenes (por ejemplo, para proyectar sobre una pantalla la imagen de una diapositiva). Justifica la elección atendiendo al tipo de lente (convergente/divergente) y al tipo de imagen que forma (real/virtual). Calcula la distancia focal imagen f' de la lente elegida (en metros y en centímetros). (1.00 punto) (1,00 puntos)

**b)** Supón ahora que se utiliza la lente elegida para proyectar una diapositiva de altura h = 2.40 cm sobre una pantalla situada a una distancia D = 2.00 m de la lente. (0.50 puntos) 1. Determina a qué distancia de la lente debe colocarse la diapositiva para que la imagen se forme nítidamente sobre la pantalla. (0.25 puntos) 2. Calcula el aumento lateral del sistema y la altura de la imagen proyectada sobre la pantalla. (0.25 puntos) (0,50 puntos)

**c)** Análisis de las propiedades de la imagen: (1.00 punto) 1. Indica la orientación de la imagen obtenida en b) (derecha o invertida) y justifica la respuesta a partir del signo del aumento. (0.25 puntos) 2. Si la diapositiva se coloca ahora a una distancia s = f'/2 del centro óptico de la misma lente, determina la posición de la imagen y el aumento lateral aplicando la ecuación de lentes delgadas. (0.50 puntos) 3. Compara las propiedades de la imagen en ambas situaciones (proyección y s = f'/2): tipo (real/virtual), orientación y tamaño relativo. (0.25 puntos) (1,00 puntos)

### Apartado a)

1. **La idea:** un proyector tiene que formar la imagen **en una pantalla**, así que necesita una imagen **real**. Criterio de signos: normas DIN.
2. Una lente **divergente** ($P_2 < 0$) con un objeto real da **siempre** imagen virtual (sección de trazado de rayos): no sirve. Una **convergente** ($P_1 > 0$) da imagen real si el objeto está más allá del foco. Se elige la **lupa de +3 D**.
3. Focal imagen: $f' = \dfrac{1}{P_1} = \dfrac{1}{3\ \mathrm{m^{-1}}} = 0{,}333\ \mathrm{m} = 33{,}3\ \mathrm{cm}$.

**SOLUCIÓN** La lente de $+3$ D (convergente), con $f' = 0{,}333$ m $= 33{,}3$ cm.

### Apartado b)

1. **La idea:** la pantalla es donde se forma la imagen: $s' = +2{,}00$ m (real, a la derecha). Con la ecuación de Gauss se despeja $s$ y con $M = s'/s$, el tamaño.
2. $\dfrac{1}{s'} - \dfrac{1}{s} = \dfrac{1}{f'} \Rightarrow \dfrac{1}{s} = \dfrac{1}{s'} - P = \dfrac{1}{2{,}00} - 3 = -2{,}50\ \mathrm{m^{-1}} \Rightarrow s = -0{,}400\ \mathrm{m} = -40{,}0\ \mathrm{cm}$. La diapositiva va 40 cm a la izquierda de la lente (entre $F$, a 33,3 cm, y $2F$, a 66,7 cm, como debe ser en un proyector).
3. $M = \dfrac{s'}{s} = \dfrac{2{,}00}{-0{,}400} = -5{,}00$ y $h' = M\,h = -5{,}00 \cdot 2{,}40\ \mathrm{cm} = -12{,}0\ \mathrm{cm}$.

**SOLUCIÓN** $s = -40{,}0$ cm; $M = -5{,}00$; imagen de 12,0 cm de altura ($h' = -12{,}0$ cm).

### Apartado c)

1. $M = -5{,}00 < 0$: la imagen es **invertida** (por eso las diapositivas se colocan al revés en el proyector).
2. El enunciado escribe «una distancia $s = f'/2$»; con DIN el objeto está a la izquierda, $s = -\dfrac{f'}{2} = -16{,}7$ cm (así lo hace la solución oficial). Entonces $\dfrac{1}{s'} = \dfrac{1}{f'} + \dfrac{1}{s} = \dfrac{1}{f'} - \dfrac{2}{f'} = -\dfrac{1}{f'} \Rightarrow s' = -f' = -33{,}3$ cm.
3. Aumento: $M = \dfrac{s'}{s} = \dfrac{-f'}{-f'/2} = +2$.

4. Proyección: imagen **real** (a la derecha, en la pantalla), **invertida** y **mayor** ($|M| = 5$). Con $s = -f'/2$ el objeto está dentro de la focal: la lente trabaja como **lupa** y la imagen es **virtual** (a la izquierda, del lado del objeto), **derecha** y **mayor** ($|M| = 2$).

**SOLUCIÓN** En b), invertida. Con el objeto en $f'/2$: $s' = -f' = -33{,}3$ cm y $M = +2$ (virtual, derecha y doble), frente a la proyección: real, invertida y cinco veces mayor.

**Lo que puntúa.** Solucionario oficial (UPV/EHU): a.1 «Elección: Lupa de potencia +3D (convergente)» 0,50 y a.2 distancia focal 0,50; b.1 posición del objeto 0,25 (ecuación de Gauss y despeje: $s = -0{,}40$ m); b.2 aumento y tamaño 0,25 ($M = -5$; $h' = -12{,}0$ cm); c.1 «Signo negativo de M (-5) indica que la imagen es invertida» 0,25; c.2 ecuación de lentes 0,25 y aumento 0,25 ($s' = -f'$, $M = +2$); c.3 comparación 0,25. Criterios generales: «Cálculo simbólico antes que numérico», «Unidades ausentes o incorrectas: -0.1 puntos» y «Errores de redondeo y cifras significativas: -0.1 puntos». La solución oficial coincide con la nuestra.

**Error típico que te quita puntos.** Poner $s = +f'/2$ (sin el signo del criterio DIN): sale $\frac{1}{s'} = \frac{3}{f'}$, una imagen real a $f'/3$ que no existe. También elegir la lente por el valor de la potencia («la de -3 D es más potente») en vez de por el tipo de imagen, o dejar $f'$ solo en metros cuando piden también centímetros.

## 11 Ejercicio resuelto: imagen de una figurita en un espejo cóncavo (Asturias 2026)

**PAU ASTURIAS 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 6 (BLOQUE C; SE RESPONDEN CINCO PREGUNTAS CUALESQUIERA DE LAS OCHO; 2 PUNTOS)**

Frente a un espejo cóncavo de distancia focal 12 cm se sitúa una figurita de porcelana de 3 cm de altura a una distancia de 30 cm del vértice del espejo.

**a)** Realice el trazado de rayos e indique si la imagen es real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor que la figurita. (1 punto) (1 punto)

**b)** Determine la posición y tamaño de la imagen. (1 punto) (1 punto)

### Apartado a)

1. **La idea:** primero sitúa los puntos con el criterio DIN. Espejo cóncavo: $f = -12$ cm, centro de curvatura en $R = 2f = -24$ cm; objeto en $s = -30$ cm, es decir, **más allá del centro de curvatura**.
2. **Trazado (dos rayos bastan):** (1) desde la punta de la figurita, un rayo paralelo al eje llega al espejo y se refleja pasando por $F$; (2) otro rayo pasa por $F$, llega al espejo y se refleja paralelo al eje (también vale el que pasa por $C$ y vuelve sobre sí mismo). Los dos rayos reflejados **se cortan de verdad** delante del espejo, entre $C$ y $F$, por debajo del eje. Dibuja flechas en los rayos y marca $C$, $F$, objeto e imagen (es el primer panel de la figura de espejos).
3. Como se cortan los rayos reflejados (no sus prolongaciones), la imagen es **real**; está por debajo del eje, **invertida**; y entre $C$ y $F$, más cerca del espejo que el objeto, es **menor**.

**SOLUCIÓN** Imagen real, invertida y menor, entre el centro de curvatura y el foco.

### Apartado b)

1. **Ecuación de los espejos (DIN):** $\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}\Rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{-12}-\frac{1}{-30}=-\frac{1}{20}\ \text{cm}^{-1}\Rightarrow s'=-20$ cm. El signo negativo: delante del espejo, imagen real.
2. **Aumento lateral:** $M=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{-20}{-30}=-0{,}67$, así que $y'=M\,y=-\frac{2}{3}\cdot 3\ \text{cm}=-2{,}0$ cm.
3. Comprueba que cuadra con el dibujo: $s'=-20$ cm está entre $C$ ($-24$ cm) y $F$ ($-12$ cm); $y'<0$, invertida; $|y'|<y$, menor.

**SOLUCIÓN** La imagen está a 20 cm del vértice, delante del espejo ($s'=-0{,}20$ m), y mide 2 cm, invertida ($y'=-0{,}02$ m).

**Lo que puntúa.** La solución oficial (Universidad de Oviedo) da $s'=-0{,}20$ m e $y'=-0{,}02$ m, «real, invertida y menor» y la imagen «entre el foco y el centro de curvatura»: coincide con la nuestra. No reparte los puntos dentro de cada apartado (1 punto cada uno). Ficha 2025-26: «Se valorará primordialmente la construcción correcta frente a la solución correcta aportada» y «Se penalizará con un descuento de 0.25 puntos por error grave o acumulativo de varios errores leves»; en los criterios de 2025, «se penalizará con 0.25 puntos no expresar la unidad correcta de la magnitud calculada». En Asturias el trazado se hace a bolígrafo («el uso de lápiz se limitará a la hoja de borrador»).

**Error típico que te quita puntos.** Tomar $f=+12$ cm porque «la focal es 12 cm»: sale $\frac{1}{s'}=\frac{1}{12}+\frac{1}{30}$, $s'=+8{,}6$ cm, una imagen virtual detrás del espejo que contradice el trazado. En un cóncavo, con DIN, $f<0$. Otro fallo frecuente es usar en el espejo el aumento de las lentes ($M=s'/s$, sin el signo menos).

## 12 Ejercicio resuelto: sistema de una lente convergente y una divergente (Madrid 2026)

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

Un sistema óptico está formado por dos lentes, la primera convergente de distancia focal 15 cm, y la segunda divergente con una distancia focal de 20 cm. Ambas lentes están separadas una distancia de 60 cm. Si a 30 cm a la izquierda de la primera lente se sitúa un objeto de 10 cm de altura:

**a)** Calcule la posición, el tamaño y la naturaleza de la imagen final. (1,5 puntos)

**b)** Realice el trazado de rayos de la formación de imagen a través del sistema óptico. (1 punto)

### Apartado a)

1. **La idea:** la imagen de la lente 1 es el objeto de la lente 2. Normas DIN (obligatorias en Madrid): $f_1'=+15$ cm; la segunda es **divergente**, así que, aunque el enunciado dé «20 cm» sin signo, $f_2'=-20$ cm. Objeto: $s_1=-30$ cm, $y=10$ cm.
2. **Lente 1:** $\frac{1}{s_1'}=\frac{1}{f_1'}+\frac{1}{s_1}=\frac{1}{15}-\frac{1}{30}=\frac{1}{30}\Rightarrow s_1'=+30$ cm. $M_1=\frac{s_1'}{s_1}=\frac{30}{-30}=-1$: imagen intermedia real, invertida, de $y_1'=-10$ cm (el objeto estaba en $2F_1$ y la imagen sale en $2F_1'$).
3. **Cambio de origen:** la lente 2 está 60 cm a la derecha de la 1, así que la imagen intermedia queda a $s_2=s_1'-d=30-60=-30$ cm de la lente 2 (a su izquierda: objeto real para ella).
4. **Lente 2:** $\frac{1}{s_2'}=\frac{1}{f_2'}+\frac{1}{s_2}=-\frac{1}{20}-\frac{1}{30}=-\frac{5}{60}\Rightarrow s_2'=-12$ cm. $M_2=\frac{-12}{-30}=+0{,}4$.

5. **Aumento total y tamaño:** $M = M_1 M_2 = (-1)(0{,}4) = -0{,}4$ e $y' = M\,y = -0{,}4 \cdot 10\ \text{cm} = -4$ cm.
6. **Naturaleza:** $s_2' < 0$, la imagen final está a la izquierda de la lente divergente, donde se cortan prolongaciones: **virtual**; $M < 0$: **invertida** respecto del objeto; $|M| < 1$: **menor**. Está a 12 cm a la izquierda de la segunda lente, es decir, a 48 cm a la derecha de la primera.

**SOLUCIÓN** Imagen final a 12 cm a la izquierda de la lente divergente ($s_2' = -12$ cm), virtual, invertida y de 4 cm ($y' = -4$ cm, $M = -0{,}4$).

### Apartado b)

1. **Lente 1:** desde la punta del objeto, el rayo paralelo al eje sale por $F_1'$ (a 15 cm) y el rayo por el centro óptico no se desvía; se cortan en $y_1'$, a 30 cm de la lente 1, invertida y de 10 cm.
2. **Lente 2:** se toma $y_1'$ como objeto. El rayo que sale de su punta paralelo al eje llega a la lente divergente y sale **separándose** como si viniera de $F_2'$, que está 20 cm a la **izquierda** de la lente 2: su prolongación hacia atrás, **discontinua**, pasa por $F_2'$. El rayo que va al centro de la lente 2 no se desvía.
3. La prolongación discontinua y el rayo central se cortan 12 cm a la izquierda de la lente 2, a 4 cm por debajo del eje: ahí está la imagen final, que se dibuja también en discontinuo por ser virtual. Marca $F_1$, $F_1'$, $F_2$, $F_2'$ y pon flechas en los rayos (figura de la sección «Sistemas de dos lentes»).

**SOLUCIÓN** Trazado en dos etapas, con la imagen intermedia como objeto de la segunda lente; la imagen final, virtual, sale donde se cortan el rayo central y la prolongación del rayo paralelo.

**Lo que puntúa.** La solución oficial (documento de trabajo de las universidades de Madrid) obtiene $s_1' = 30$ cm, $s_2' = -12$ cm, $M_T = M_1 \cdot M_2 = -0{,}4$ e $y' = -4$ cm, y concluye «La imagen es virtual, invertida y de 4 cm de altura»: coincide con la nuestra. Su trazado usa en la lente 2 el rayo paralelo y el central. Criterios específicos: «Se valorará positivamente la inclusión de pasos detallados, así como la realización de diagramas, dibujos y esquemas», «valorándose positivamente la identificación de los principios y leyes físicas involucradas», y la nota de cada apartado se desglosa «en múltiplos de 0,1 puntos». Las normas DIN son obligatorias en Madrid.

**Error típico que te quita puntos.** Usar $f_2' = +20$ cm porque el enunciado no pone el signo (con eso sale $s_2' = +60$ cm, una imagen real que no existe); medir el segundo objeto desde la primera lente ($s_2 = +30$ o $-90$ cm) en lugar de $s_2 = s_1' - d$; o **sumar** los aumentos en vez de multiplicarlos.

## Conceptos clave

**Rayo paraxial**
Rayo que va cerca del eje óptico y forma con él un ángulo pequeño. Las ecuaciones de espejos, dioptrios y lentes solo son válidas para estos rayos.

**Imagen real**
La que forman los rayos que salen del sistema al cortarse de verdad. Se puede recoger en una pantalla.

**Imagen virtual**
La que forman las prolongaciones de los rayos. Se ve a través del sistema, pero no se recoge en una pantalla. Se dibuja en discontinuo.

**Normas DIN**
Criterio de signos cartesiano: la luz va de izquierda a derecha, las distancias se miden desde la lente o el vértice (positivas a la derecha) y las alturas son positivas hacia arriba.

### Dioptrio

Superficie que separa dos medios transparentes de distinto índice de refracción. Si es plana, da la profundidad aparente.

### Foco imagen (F′)

Punto del eje donde se cortan (o de donde parecen salir) los rayos que llegan paralelos al eje. Su distancia a la lente es la focal imagen f′.

### Foco objeto (F)

Punto del eje cuyos rayos salen del sistema paralelos al eje. En una lente delgada en aire, f = −f′.

### Potencia de una lente

Inversa de la focal imagen en metros, P = 1/f′. Se mide en dioptrías (1 D = 1 $m^{-1}$): positiva en las convergentes y negativa en las divergentes.

### Aumento lateral

Cociente entre el tamaño de la imagen y el del objeto, M = y′/y. En lentes, M = s′/s; en espejos, M = −s′/s. Si es negativo, la imagen está invertida.

### Centro de curvatura (C)

Centro de la esfera de la que forma parte un espejo esférico. En un espejo, el foco está a mitad de camino: f = R/2.

### Acomodación

Capacidad del ojo de cambiar la potencia del cristalino para enfocar objetos a distintas distancias.

### Punto próximo y punto remoto

Puntos más cercano y más lejano que el ojo ve nítidos. En el ojo normal, 25 cm (por convenio) e infinito.

### Miopía

Defecto por el que el ojo enfoca delante de la retina los objetos lejanos; el punto remoto está a distancia finita. Se corrige con lentes divergentes.

### Hipermetropía

Defecto por el que el ojo enfoca detrás de la retina; el punto próximo está más lejos de lo normal. Se corrige con lentes convergentes.

### Presbicia

Pérdida de la capacidad de acomodación con la edad (vista cansada). Se corrige para leer con lentes convergentes.

### Aumento angular

Cociente entre el ángulo con que se ve un objeto a través de un instrumento y el ángulo con que se ve a simple vista. Es el aumento de la lupa y del telescopio.

MODO PAU

# Ocho claves que valen puntos

### Escribe el criterio

Empieza con «Criterio de signos: normas DIN» (en Illes Balears, la frase de la ficha). En Andalucía especificarlo es obligatorio («siempre de debe especificar claramente el criterio de signos utilizado»).

### Signos que no dan

Divergente $\Rightarrow f' < 0$ y $P < 0$; cóncavo $\Rightarrow R < 0$ y $f < 0$; objeto real $\Rightarrow s < 0$. Las comisiones a veces dan la focal o la potencia **sin signo** (Madrid 2026, Castilla-La Mancha 2026, Navarra 2026): el signo lo pones tú.

### Dos ecuaciones distintas

Lentes: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ y $M = \frac{s'}{s}$.
Espejos: $\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}$ y $M = -\frac{s'}{s}$.

### Potencia en metros

$P = 1/f'$ con $f'$ **en metros**. En Extremadura (2025), no pasar los centímetros a metros costó el 75 % de esa magnitud.

### Trazado completo

Dos rayos con **flechas**, prolongaciones **discontinuas**, focos marcados y explicación con palabras (Cantabria: -0,25 por cada omisión; Extremadura: 0,3 por explicarlo).

### Tres características

Real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor, cada una con su porqué (signo de $s'$ y de $M$, valor de $|M|$).

### Comprueba con el dibujo

Si el cálculo dice imagen real y el trazado virtual, hay un signo mal. El dibujo es tu control de errores.

### Demostraciones

En Madrid se han pedido $M = \frac{f'}{f' + s}$ y $M = 1 - \frac{s'}{f'}$ (1 punto): parte de la ecuación de Gauss y despeja paso a paso.

## Cómo te lo pueden preguntar

- Óptica geométrica en general (lentes, espejos, ojo o instrumentos): sale en **48 de las 68** convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las **17 comunidades**.
- Lente delgada: posición, tamaño y naturaleza de la imagen, focal o potencia a partir del objeto y la imagen, casi siempre con trazado de rayos (proyectores, lupas, gafas, escáneres): sale en **40 de las 68** convocatorias, en las **17 comunidades**.
- Espejos esféricos (cóncavos de maquillaje, convexos de seguridad vial) con trazado de rayos: **8 de las 68** convocatorias, en **6 comunidades** (Andalucía, Aragón, Asturias, La Rioja, Navarra y País Vasco).
- El ojo y los instrumentos (miopía y su corrección, punto lejano, lupa, el ojo como lente): **8 de las 68** convocatorias, en **4 comunidades** (Castilla y León, Comunitat Valenciana, Murcia y Navarra).
- Cuestiones razonadas sin números: qué lente da cierta imagen, si una divergente puede dar imagen invertida, imagen real y derecha (Galicia, Madrid, Castilla-La Mancha, Andalucía).
- Variantes con datos: sistema de dos lentes (Madrid 2026 extraordinaria; modelo 2027 de Castilla-La Mancha), potencia a partir de una tabla o una gráfica (Galicia 2025 extraordinaria, Murcia 2026 extraordinaria, banco óptico de los modelos de Madrid).

## No lo confundas

- **Ecuación de lentes con ecuación de espejos:** en las lentes hay un **menos** ($1/s' - 1/s$) y $M = s'/s$; en los espejos hay un **más** ($1/s' + 1/s$) y $M = -s'/s$.
- **Imagen real en lente con imagen real en espejo:** en una lente la imagen real está a la **derecha** ($s' > 0$); en un espejo, a la **izquierda**, delante del espejo ($s' < 0$).

- **$f$ con $f'$:** en una lente delgada son opuestas ($f = -f'$); la potencia y la ecuación de Gauss usan $f'$. En un espejo coinciden ($f = f' = R/2$).
- **Lupa con proyector:** las dos son lentes convergentes; cambia dónde está el objeto (dentro de la focal, imagen virtual; entre $F$ y $2F$, imagen real).
- **Aumento lateral con aumento angular:** el lateral ($M = y'/y$) compara tamaños; el angular ($\Gamma$) compara ángulos de visión y es el que se usa en la lupa y en el telescopio.
- **Miopía con hipermetropía:** el miope ve mal de lejos y lleva lentes divergentes ($P < 0$); el hipermétrope ve mal de cerca y las lleva convergentes ($P > 0$).
- **Hipermetropía con presbicia:** las dos se corrigen con convergentes, pero la hipermetropía es un defecto de la forma del ojo y la presbicia, la pérdida de acomodación con la edad.

## Ponte a prueba

**PAU Castilla-La Mancha 2026 (extraordinaria), Pregunta C2.B** (apartado C; a elegir entre C2.A y C2.B; 2,5 puntos). En un experimento de física, a partir de un objeto de altura y = 15 cm y colocado a 15 cm a la izquierda de una lente, se necesita producir una imagen virtual, derecha y disminuida. Se pide: a) (1.25 puntos) Si la potencia de la lente es de 20 D, justificar el tipo de lente que se usará y realizar el trazado de rayos correspondiente. Explicar las reglas del trazado para los rayos que uses. b) (1.25 puntos) Determinar numéricamente la posición y el tamaño de la imagen, así como el aumento lateral del sistema óptico.

**Solución: a)** Con un objeto real, solo una lente **divergente** da siempre imagen virtual, derecha y menor (una convergente da virtual y derecha, pero **mayor**). Así que la potencia es $P = -20$ D: el enunciado dice «20 D» sin signo, pero la solución oficial usa $f' = -5$ cm; entiéndelo como $|P| = 20$ D. $f' = 1/P = -0{,}05$ m $= -5$ cm. Trazado: el rayo paralelo al eje sale separándose como si viniera de $F'$ (5 cm a la izquierda; prolongación discontinua); el rayo por el centro no se desvía; el rayo dirigido a $F$ (5 cm a la derecha) sale paralelo. Las prolongaciones se cortan entre $F'$ y la lente: imagen virtual, derecha y menor. **b)** $s' = \dfrac{f's}{s + f'} = \dfrac{(-5)(-15)}{-15 - 5} = -3{,}75$ cm; $M = \dfrac{s'}{s} = \dfrac{-3{,}75}{-15} = 0{,}25$; $y' = M\,y = 3{,}75$ cm. Coincide con la solución oficial.

**PAU Navarra 2026 (extraordinaria), Pregunta 4.B** (apartado 4: Óptica; a elegir entre 4.A y 4.B; 1,5 puntos). En una revisión oftalmológica, a un paciente se le diagnostica miopía y se le prescriben gafas de −0,5 dioptrías. Se sabe que el ojo relajado de una persona con visión normal enfoca objetos situados en el infinito sobre la retina, que está a 2,0 cm del cristalino. a) (0,5 puntos) Justificar razonadamente qué tipo de lente debe utilizar el paciente para corregir su miopía, explicando cómo actúa sobre la formación de la imagen. b) (1 punto) ¿Cuál es el punto lejano del paciente (distancia máxima a la que ve nítidamente sin gafas)? ¿Cuál es la distancia focal de las gafas prescritas?

**Solución: a)** El ojo miope converge demasiado: los rayos de un objeto lejano se cortan **delante** de la retina. Se corrige con una lente **divergente** ($P<0$, como los $-0{,}5$ D de la receta), que abre los rayos paralelos para que parezcan venir del punto lejano; el ojo, que sí enfoca ese punto sin acomodar, forma entonces la imagen en la retina. **b)** Focal: $f' = \dfrac{1}{P} = \dfrac{1}{-0{,}5\ \mathrm{m^{-1}}} = -2{,}0$ m. La gafa forma de un objeto en el infinito una imagen virtual en su foco imagen, a 2,0 m delante; ese debe ser el punto lejano (despreciando la distancia gafa-ojo): **2,0 m**.
Comprobación con el dato de la retina: en el modelo de una lente, el ojo normal relajado tiene $1/0{,}020 = 50$ D y el del paciente, que enfoca en la retina un objeto a 2,0 m, $\dfrac{1}{0{,}020} - \dfrac{1}{-2{,}0} = 50{,}5$ D: le sobran 0,5 D, las que quitan las gafas.

**PAU Andalucía 2026 (reserva 2 — «Examen Suplente 2» de la ordinaria), Bloque C, apartado b1** (bloque optativo; a elegir entre b1 y b2; 1,5 puntos). Se sitúa un objeto a 3 m de un espejo esférico convexo. El tamaño de la imagen que se forma es 1/5 del tamaño del objeto. Realice el trazado de rayos y calcule, indicando el criterio de signos utilizado, la posición donde se forma la imagen y el radio de curvatura del espejo.

**Solución:** Criterio de signos: normas DIN ($s=-3$ m; en un convexo $R>0$). Un espejo convexo da siempre imagen **virtual y derecha**, así que $M=+\dfrac{1}{5}$. **Trazado:** el rayo paralelo al eje se refleja como si viniera del foco $F$ (detrás del espejo; prolongación discontinua); el rayo dirigido al centro de curvatura $C$ vuelve sobre sí mismo; las prolongaciones se cortan detrás del espejo, entre el vértice y $F$: imagen virtual, derecha y menor. **Posición:** $M=-\dfrac{s'}{s} \Rightarrow s' = -M\,s = -\dfrac{1}{5}(-3) = +0{,}60$ m (60 cm detrás del espejo). **Radio:** $\dfrac{1}{s'}+\dfrac{1}{s}=\dfrac{2}{R} \Rightarrow \dfrac{2}{R}=\dfrac{1}{0{,}60}-\dfrac{1}{3}=\dfrac{4}{3}\ \mathrm{m^{-1}} \Rightarrow R=+1{,}5$ m (focal $f=0{,}75$ m). El signo positivo confirma que es convexo.

## 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 C: «Formación de imágenes en medios y objetos con distinto índice de refracción. Sistemas ópticos: lentes delgadas, espejos planos y curvos y sus aplicaciones»)
2. Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida (tabla 8: dioptría, 1 dioptría = 1 m⁻¹)
3. PAU País Vasco 2026, ordinaria: examen de Física
4. PAU País Vasco 2026, ordinaria: solucionario y criterios de Física
5. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen de Física
6. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen resuelto de Física
7. PAU Comunidad de Madrid 2026, extraordinaria: examen, criterios y soluciones de Física
8. PAU Comunidad de Madrid 2025, ordinaria: examen, criterios y soluciones de Física

9. PAU Castilla-La Mancha 2026, extraordinaria: examen de Física
10. PAU Castilla-La Mancha 2026, extraordinaria: criterios de corrección de Física
11. PAU Navarra 2026, extraordinaria: examen de Física
12. PAU Andalucía 2026, reserva 2: examen de Física
13. PAU Galicia 2026, extraordinaria: examen de Física
14. PAU Galicia 2025, extraordinaria: examen de Física
15. PAU Castilla y León 2025, extraordinaria: examen de Física
16. PAU Cantabria 2026, ordinaria: criterios de corrección de Física
17. PAU Extremadura 2026, ordinaria: criterios de corrección de Física
18. Andalucía: Directrices y orientaciones generales PAU, Física, curso 2026-27
19. Cataluña: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
20. Comunidad de Madrid: presentación de la Comisión de Materia de Física, PAU 2025/2026 (directrices de óptica)
21. Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque C (acuerdos de 12-03-2026)
22. Canarias: acta de la segunda reunión de coordinación de Física, PAU 2026 (26/27-03-2026)
23. Galicia (CiUG): Orientacións do grupo de traballo de Física, curso 2025-26
24. Galicia (CiUG): PAU 2027, Prácticas de Física
25. Illes Balears (UIB): ficha de la materia Física (criterio DIN obligatorio)
26. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física PAU 2026-27
27. Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027
28. Cantabria: Física, saberes básicos, concreciones y estructura del ejercicio (Universidad de Cantabria)
29. Asturias: Información sobre la PAU, curso 2025/2026, Física (Universidad de Oviedo)
30. Aragón: Física, estructura básica y criterios generales PAU 2025-2026 (Universidad de Zaragoza)
31. Castilla y León: Decreto 40/2022, currículo del Bachillerato (Física: dioptrio plano, ojo humano)
32. PAU Extremadura 2025, ordinaria: criterios de corrección de Física

**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.