Equilibrio químico

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

Última revisión: 15 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

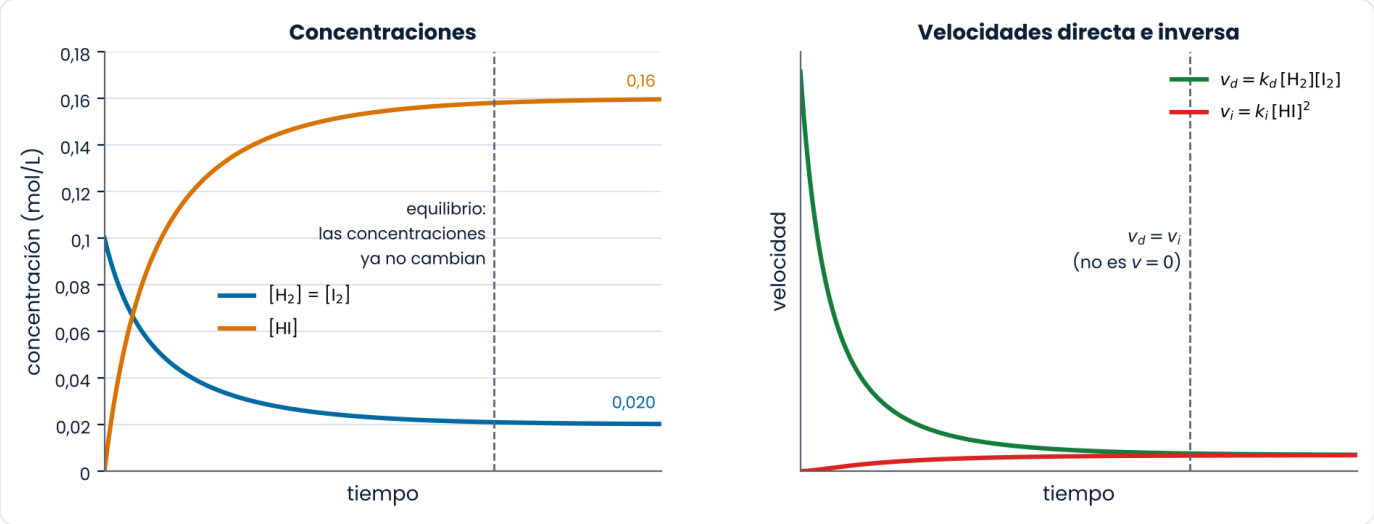
Una reacción reversible llega a un **equilibrio dinámico**: la directa y la inversa siguen ocurriendo a la misma velocidad y las concentraciones no cambian. La **ley de acción de masas** da K_c (concentraciones) y K_p (presiones), relacionadas por $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$; el **cociente** Q dice hacia dónde evoluciona una mezcla y **Le Châtelier**, cómo responde a un cambio. Sale en **58 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades: el problema con **tabla de moles** (55 de 68) y el razonamiento de Le Châtelier (43 de 68).

1 El equilibrio químico, un proceso dinámico

Muchas reacciones no llegan al final: a la vez que los reactivos se transforman en productos, los productos reaccionan entre sí y regeneran los reactivos. Se escriben con **doble flecha**, $\mathrm{H_2\,(g)} + \mathrm{I_2\,(g)} \rightleftharpoons 2\,\mathrm{HI\,(g)}$. Al principio la reacción directa es rápida y la inversa lenta; con el tiempo la directa se frena y la inversa se acelera hasta que **las dos velocidades se igualan**. Desde ese momento las concentraciones ya no cambian: el sistema está en **equilibrio químico**.

- **Es dinámico, no estático:** en el equilibrio $v_d = v_i \neq 0$. Las moléculas siguen reaccionando en los dos sentidos, pero a la misma velocidad, así que las propiedades macroscópicas (concentraciones, presión, color) se mantienen constantes. Hace falta un **sistema cerrado** y una temperatura constante.
- **Se llega al mismo equilibrio desde los dos lados:** partiendo solo de $\mathrm{H_2}$ e $\mathrm{I_2}$, solo de HI o de una mezcla, a la misma temperatura se cumple la misma relación entre las concentraciones de equilibrio: la constante K.
- **La mirada cinética** (el RD habla de «ecuaciones de velocidad»): si la reacción directa y la inversa son **elementales**, $v_d = k_d[\mathrm{H_2}][\mathrm{I_2}]$ y $v_i = k_i[\mathrm{HI}]^2$. Igualándolas en el equilibrio: $\dfrac{k_d}{k_i} = \dfrac{[\mathrm{HI}]^2}{[\mathrm{H_2}][\mathrm{I_2}]} = K_c$. Asturias lo pide expresamente (ficha de la Universidad de Oviedo, saber B.9). Ojo: en una reacción que no es elemental la ecuación de velocidad no se lee de la ecuación química (lo ves en el Tema 10), pero la expresión de K sí.
- **La mirada termodinámica:** en el equilibrio $\Delta G = 0$ y la reacción ya no tiene tendencia neta a avanzar en ningún sentido. La relación $\Delta G^\circ = -RT\ln K^\circ$ tiene su sede en el Tema 9 (allí está el cálculo y qué dice cada comunidad); aquí basta saber que usa la **constante estándar** K°, sin unidades (cada presión dividida entre $p^\circ = 1$ bar). Asturias la incluye (2026 extraordinaria, Pregunta 3B). En Madrid, el acta de la reunión de coordinación de la UPM de 3-dic-2025 dice: «No se pedirán cálculos que permitan calcular la Keq con ΔG o viceversa» (2025-26; pendiente de confirmar para 2027). En Murcia, la orientación para la PAU 2027 dice: «No serán objeto de examen problemas numéricos relacionados con ecuación de van't Hoff», sin precisar cuál (Tema 9). En las dos, el resto del tema (K_c, K_p, Q y Le Châtelier) entra entero.

- **Equilibrio no quiere decir «mitad y mitad».** El valor de K dice hacia dónde está desplazado: $K \gg 1$, casi todo productos; $K \ll 1$, casi todo reactivos; K cercano a 1, cantidades comparables.



Cómo se llega al equilibrio. $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2\,HI$ con $[H_2]_0 = [I_2]_0 = 0{,}10$ mol/L y $K_c = 64$ (tratada como elemental, $k_d/k_i = 64$). Las concentraciones se estabilizan en $0{,}020$ y $0{,}16$ mol/L cuando $v_d = v_i$; ninguna de las dos velocidades se anula.

2 Ley de acción de masas: la constante Kc

Para una reacción $a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$ a una temperatura dada, el cociente entre las concentraciones de equilibrio de productos y reactivos, cada una elevada a su coeficiente, es constante:

$$K_c = \frac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b}$$

Es la **ley de acción de masas** (Guldberg y Waage, 1864). Las concentraciones son **de equilibrio** y en **mol/L**.

- **Productos arriba, reactivos abajo, coeficientes como exponentes.** Para la síntesis del amoníaco, $N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3\,(g)$: $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$.
- **Concentraciones, no moles:** divide los moles entre el volumen antes de sustituir. Solo si $\Delta n = 0$ el volumen se cancela. La solución oficial de Canarias 2026 (ordinaria, 3A) calcula K_c con moles en un caso con $\Delta n \neq 0$, justo el error que su acta de 30-09-2026 critica al alumnado; y la valoración de Galicia de 2025 lo señala como fallo.
- **K solo depende de la temperatura.** No cambia al añadir reactivos o productos, al cambiar el volumen o al poner un catalizador: lo que cambia es la composición del equilibrio.
- **Los sólidos y los líquidos puros no aparecen** en K (su «concentración» no cambia). Lo ves en la sección de equilibrios heterogéneos.
- **K depende de cómo escribas la ecuación** (tabla). Castilla-La Mancha 2025 (ordinaria, Pregunta 4) aceptó las dos formas de la síntesis del amoníaco, cada una con su constante: $K_c = 59{,}26$ para $N_2 + 3\,H_2 \rightleftharpoons 2\,NH_3$ y $K_c = 7{,}698$ para $\frac{1}{2}\,N_2 + \frac{3}{2}\,H_2 \rightleftharpoons NH_3$, porque $\sqrt{59{,}26} = 7{,}698$.

Si cambias la ecuación…	La nueva constante es	Ejemplo
La escribes al revés	$K' = \dfrac{1}{K}$	$2\,NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3\,H_2$: $K'_c = 1/K_c$
Multiplicas los coeficientes por n	$K' = K^{\,n}$	Por $\frac{1}{2}$: $K' = \sqrt{K}$
Sumas dos reacciones	$K = K_1 \cdot K_2$	Se multiplican, no se suman

Por eso en el examen hay que escribir siempre la ecuación a la que se refiere la constante que calculas.

ESCRIBIR KC

Escribe K_c para $2\,SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,SO_3\,(g)$ y para la reacción inversa.

Respuesta modelo

$K_c = \dfrac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$. Para $2\,SO_3\,(g) \rightleftharpoons 2\,SO_2\,(g) + O_2\,(g)$: $K'_c = \dfrac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} = \dfrac{1}{K_c}$.

Por qué puntúa. Los coeficientes van como exponentes y los productos de la ecuación que te dan, en el numerador.

3 Kp y su relación con Kc

Cuando hay gases se puede usar la **presión parcial** p_i de cada uno en lugar de su concentración: $K_p = \dfrac{p_C^{\,c}\,p_D^{\,d}}{p_A^{\,a}\,p_B^{\,b}}$, con las presiones de equilibrio (en atm en la PAU). En K_p **solo entran los gases**.

- **De dónde sale la relación:** con $pV = nRT$, $p_i = \dfrac{n_i}{V}RT = [i]\,RT$. Sustituyendo en K_p:

$$K_p = K_c\,(RT)^{\Delta n}$$

  con Δn = moles de **gas** de los productos − moles de **gas** de los reactivos (coeficientes de la ecuación).

- Usa $R = 0{,}082$ atm·L/(mol·K) y T en **kelvin** ($T = t + 273$; algunas comisiones usan $273{,}15$). Si usas por error $R = 8{,}314$ J/(mol·K) con las concentraciones en mol/L, el resultado no sale referido a atm sino a kilopascales (1 J/L = 1 kPa): con $\Delta n \neq 0$, un número que no es el K_p en atm.
- **Si $\Delta n = 0$, $K_p = K_c$.** Galicia 2026 (extraordinaria, 2.4) pedía razonar, para $N_2O_4 \rightleftharpoons 2\,NO_2$, si «En el equilibrio anterior el valor de Kc coincide con el de Kp»: falso, porque $\Delta n = 2 - 1 = 1$.
- **Ley de Dalton:** $p_i = x_i\,p_T$, donde $x_i = n_i/n_T$ es la fracción molar y $p_T = \sum p_i$. También $p_T = n_T RT/V$. Es la herramienta cuando el dato es la presión total.
- Ejemplo: si para $N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3\,(g)$ a 773 K fuese $K_c = 0{,}060$, como $\Delta n = 2 - 4 = -2$: $K_p = 0{,}060 \cdot (0{,}082 \cdot 773)^{-2} = 1{,}49 \cdot 10^{-5}$.

Equilibrio	Δn (gases)	Relación
$H_2\,(g) + I_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,HI\,(g)$	0	$K_p = K_c$
$PCl_5\,(g) \rightleftharpoons PCl_3\,(g) + Cl_2\,(g)$	+1	$K_p = K_c\,RT$
$N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3\,(g)$	-2	$K_p = K_c\,(RT)^{-2}$
$CaCO_3\,(s) \rightleftharpoons CaO\,(s) + CO_2\,(g)$	+1	$K_p = K_c\,RT = p_{CO_2}$

En el último, los sólidos no cuentan para Δn.

Unidades de Kc y Kp: mira tu comunidad

Con unidades: Asturias («Las constantes de equilibrio Kc y Kp no son constantes de equilibrio estándar y, por lo tanto, poseen dimensiones, por lo que se expresan con unidades», acta de 22-10-2024; en 2026 dio $K_p = 78{,}3$ atm), y cada unidad mal en un resultado final resta 0,25. **Castilla-La Mancha**: «No poner unidades ni en Kp ni en Kc (en las dos) se penaliza con 0,25 ptos. Si sólo le faltan las unidades a una de ellas, no penalizamos» (criterios 2026). **Sin unidades: Cataluña** («Expressar les constants d'equilibri Kc i Kp sense unitats» —expresar Kc y Kp sin unidades—; Kp con presiones **en atm o en bar, nunca en Pa**: Orientacions PAU-2027), **Illes Balears** (no hace falta ponerlas salvo que la pregunta lo pida, pero unas unidades incorrectas restan 0,25: ficha de la materia 2026-27), **Murcia** (las constantes de equilibrio «se dan sin unidades», Consejos para el examen de la PAU 2026) y **Canarias** («se aclara que las constantes de equilibrio no tienen unidades, aunque todavía es frecuente encontrarlo en algunos libros de texto», actas de la 2.ª reunión de coordinación de la subcomisión de Química de 28-03-2025 y de 20-03-2026; el acta de 30-09-2026 no lo repite ni lo cambia). Aragón, Madrid, Extremadura y el País Vasco las dan sin unidades en sus soluciones oficiales. **Castilla y León**: «Los valores de las constantes de equilibrio que aparecen en los problemas deben entenderse que hacen referencia a presiones expresadas en atmósferas y concentraciones expresadas en mol·L-1». En el resto no hay norma escrita: usa atm y mol/L, y si pones unidades, que sean las correctas ($(\mathrm{mol/L})^{\Delta n}$ y $\mathrm{atm}^{\Delta n}$).

4 Cómo se resuelve un problema de equilibrio: la tabla de moles

Casi todos los problemas numéricos del tema son el mismo esquema: una tabla con lo que hay al principio, lo que cambia y lo que queda en el equilibrio. El cambio se escribe con una sola incógnita x multiplicada por los **coeficientes** de la ecuación.

- **No redondees en las restas.** Si lo que queda de un reactivo es la diferencia de dos números parecidos, un redondeo pequeño cambia mucho K. Galicia 2026 (extraordinaria, P2): los criterios redondean y les sale $K_c = 0{,}044$; sin redondear, $0{,}056$. Lo verás también en el ejercicio resuelto del País Vasco.
- **Cuando la ecuación es un cuadrado perfecto**, saca la raíz en los dos miembros: te ahorras la fórmula de 2.º grado (ejemplo de abajo).
- **Un resultado imposible vale cero** en muchas comunidades si no lo comentas: la Comunitat Valenciana lo dice expresamente («grados de disociación mayores de 1, temperaturas absolutas o concentraciones negativas»).

Ecuación ajustada con estados de agregación y doble flecha (si no te la dan, escríbela: sin ella no hay máxima puntuación en muchas comunidades).

↓

Tabla en moles

inicial, cambio ($-ax$, $-bx$, $+cx$, $+dx$) y equilibrio. Si partes también de productos, calcula antes Q para saber hacia dónde va.

↓

El dato que fija x

los moles o la masa de una especie en el equilibrio, una presión parcial, la presión total, el grado de disociación o la propia K.

↓

Concentraciones (moles ÷ V) o **presiones** ($p_i = n_i RT/V$, o $x_i\, p_T$).

↓

Sustituye en K y resuelve. Si sale una ecuación de 2.º grado, quédate con la raíz que tiene sentido: positiva y menor que lo que había al principio.

↓

Comprueba

ningún resultado negativo, α entre 0 y 1, y que al sustituir sale K.

CONCENTRACIONES A PARTIR DE KC

En un recipiente de 10 L se introducen 1,0 mol de $\mathrm{H_2}$ y 1,0 mol de $\mathrm{I_2}$ a una temperatura a la que $K_c = 64$ para $\mathrm{H_2\,(g) + I_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,HI\,(g)}$. Calcula las concentraciones en el equilibrio.

Respuesta modelo

Concentraciones iniciales: $[\mathrm{H_2}]_0 = [\mathrm{I_2}]_0 = 0{,}10$ mol/L. En el equilibrio: $[\mathrm{H_2}] = [\mathrm{I_2}] = 0{,}10 - x$ y $[\mathrm{HI}] = 2x$.

$$64 = \frac{(2x)^2}{(0{,}10 - x)^2} \;\Rightarrow\; 8 = \frac{2x}{0{,}10 - x} \;\Rightarrow\; x = 0{,}080\ \mathrm{mol/L}$$

$[\mathrm{H_2}] = [\mathrm{I_2}] = 0{,}020$ mol/L y $[\mathrm{HI}] = 0{,}16$ mol/L. Comprobación: $0{,}16^2/0{,}020^2 = 64$.

Por qué puntúa. Como $\Delta n = 0$, aquí $K_p = K_c = 64$ y daría igual trabajar en moles. Son los valores de la figura de la primera sección.

Cataluña y Canarias

Cataluña: las Orientacions PAU-2027 dicen que «no entrarà el càlcul de les pressions parcials en l'equilibri a partir de la constant d'equilibri en pressions (Kp) i les dades inicials del sistema (mols, concentracions o pressions parcials)» —no entrará el cálculo de las presiones parciales en el equilibrio a partir de K_p y de los datos iniciales—. Con K_c sí se calculan concentraciones de equilibrio (2025 extraordinaria, ejercicio 1).
Canarias: «Solamente se dará la ecuación ajustada en los problemas de equilibrio. No se proporcionará en el caso de equilibrios de solubilidad» (acta de 20-03-2026, curso 2025-26): te dan la ecuación del equilibrio, pero no la de solubilidad. Y aparte: en 2025 y 2026 (ordinaria, 3A) hacía falta R y no venía en los datos.

5 Grado de disociación y presión total

Cuando una sustancia se descompone, el **grado de disociación** α es la fracción de los moles iniciales que se ha disociado: $\alpha = \dfrac{x}{n_0}$, entre 0 y 1 (o en %). Es el dato o la incógnita favorita cuando el enunciado da la **presión total**.

- **Fórmulas que salen de la tabla** (no las memorices sin saber de dónde vienen): para $\mathrm{A \rightleftharpoons B + C}$, $K_p = \dfrac{\alpha^2}{1-\alpha^2}\,p_T$ y $K_c = \dfrac{c_0\,\alpha^2}{1-\alpha}$; para $\mathrm{N_2O_4 \rightleftharpoons 2\,NO_2}$, $K_p = \dfrac{4\alpha^2}{1-\alpha^2}\,p_T$.
- **Con la presión total se saca α:** $p_T V = n_0(1+\alpha)RT$. Si conoces n_0, V, T y p_T, despejas α sin usar K.
- **α no es una constante:** a la misma temperatura cambia con la presión (figura). K es la que no cambia.
- **Grado de disociación en %:** multiplica por 100. Baleares (matriz de la UIB) pide expresamente «Determinar la Kc (i també la Kp) utilitzant el grau de dissociació».

$\mathrm{A\,(g) \rightleftharpoons B\,(g) + C\,(g)}$	Inicial (mol)	Equilibrio (mol)	Fracción molar
A	n_0	$n_0(1-\alpha)$	$\dfrac{1-\alpha}{1+\alpha}$
B	0	$n_0\alpha$	$\dfrac{\alpha}{1+\alpha}$

$\mathrm{A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)}$	Inicial (mol)	Equilibrio (mol)	Fracción molar
C	0	$n_0\alpha$	$\frac{\alpha}{1+\alpha}$
Total	n_0	$n_0(1+\alpha)$	1

Es el caso de $\mathrm{PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2}$, $\mathrm{SbCl_5 \rightleftharpoons SbCl_3 + Cl_2}$ o $\mathrm{SO_2Cl_2 \rightleftharpoons SO_2 + Cl_2}$. Para $\mathrm{N_2O_4 \rightleftharpoons 2\,NO_2}$ el $\mathrm{NO_2}$ vale $2n_0\alpha$ y el total sigue siendo $n_0(1+\alpha)$.

A A PARTIR DE KP Y DE LA PRESIÓN

Para $\mathrm{N_2O_4\,(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2\,(g)}$, a cierta temperatura $K_p = 0{,}60$. Calcula el grado de disociación si la presión total en el equilibrio es 1,0 atm y si es 4,0 atm.

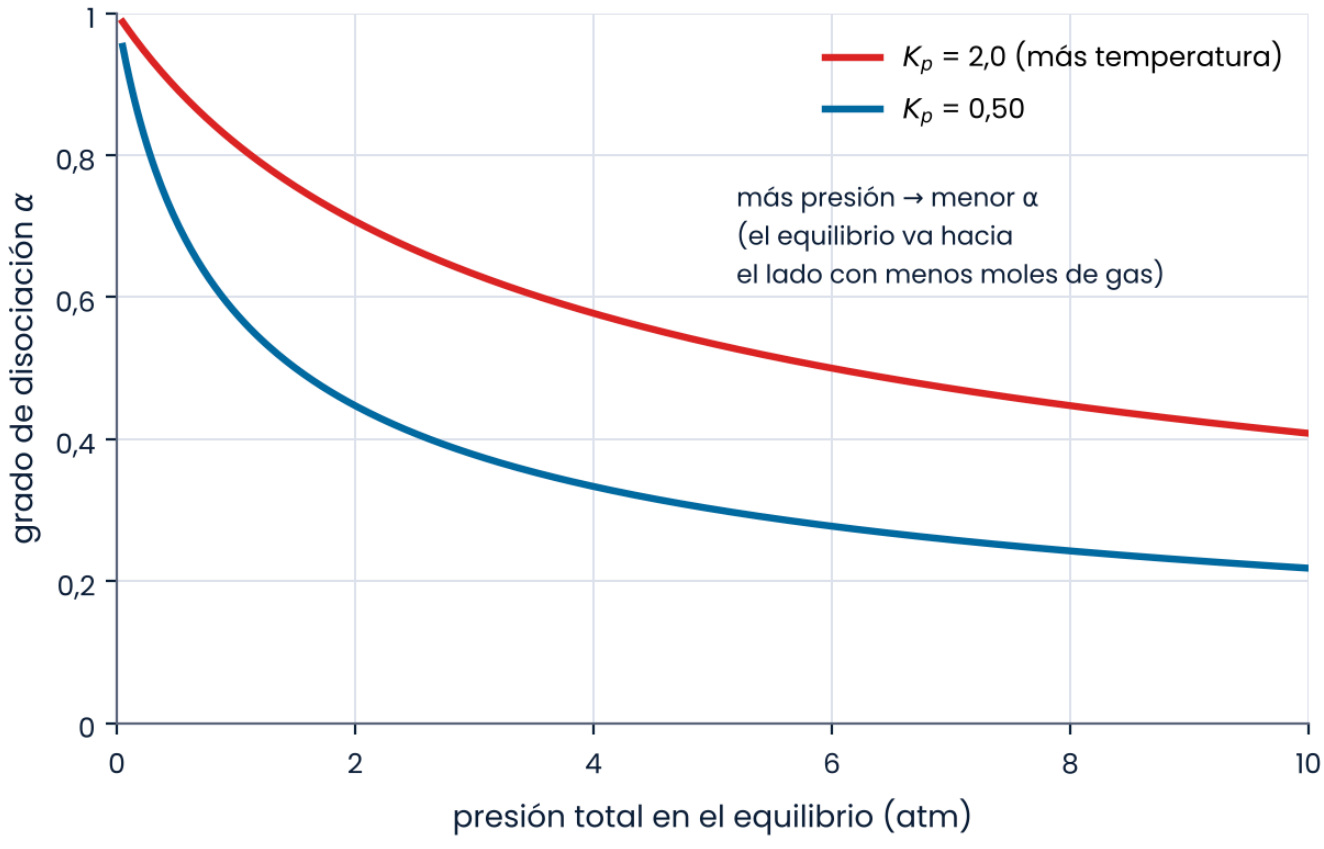
Respuesta modelo

Con n_0 de $\mathrm{N_2O_4}$: en el equilibrio $n_0(1-\alpha)$ de $\mathrm{N_2O_4}$, $2n_0\alpha$ de $\mathrm{NO_2}$, total $n_0(1+\alpha)$.

$$K_p = \frac{\left(\frac{2\alpha}{1+\alpha}p_T\right)^2}{\frac{1-\alpha}{1+\alpha}p_T} = \frac{4\alpha^2 p_T}{1-\alpha^2} \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{K_p}{K_p + 4p_T}}$$

A 1,0 atm: $\alpha = \sqrt{0{,}60/4{,}60} = 0{,}361$ (36,1 %), con $p_{\mathrm{NO_2}} = 0{,}531$ atm y $p_{\mathrm{N_2O_4}} = 0{,}469$ atm. A 4,0 atm: $\alpha = \sqrt{0{,}60/16{,}6} = 0{,}190$ (19,0 %).

Por qué puntúa. Al cuadruplicar la presión, α baja: el equilibrio va hacia el lado con menos moles de gas, como predice Le Châtelier. K_p sigue valiendo 0,60.



El grado de disociación depende de la presión. $\mathrm{A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)}$ con $\alpha = \sqrt{K_p/(K_p + p_T)}$ para dos valores de K_p. Al subir la presión, α baja; si la disociación es endotérmica, a más temperatura K_p es mayor y también α.

6 Equilibrios heterogéneos

Un equilibrio es **heterogéneo** cuando hay especies en fases distintas. El RD 243/2022 lo dice así: «La constante de equilibrio de reacciones en las que los reactivos se encuentren en diferente estado físico». La regla es una sola: **los sólidos y los líquidos puros no aparecen en K**, porque su concentración (su densidad entre su masa molar) es constante y queda dentro de la constante (en rigor, su actividad vale 1).

- $\mathrm{CaCO_3\,(s)} \rightleftharpoons \mathrm{CaO\,(s)} + \mathrm{CO_2\,(g)}$: $K_c = [\mathrm{CO_2}]$ y $K_p = p_{\mathrm{CO_2}}$. A cada temperatura, la presión del $\mathrm{CO_2}$ en el equilibrio es **fija**, haya 10 g o 1 kg de carbonato.
- $\mathrm{C\,(s)} + \mathrm{CO_2\,(g)} \rightleftharpoons 2\,\mathrm{CO\,(g)}$ (alto horno): $K_c = \dfrac{[\mathrm{CO}]^2}{[\mathrm{CO_2}]}$, $\Delta n = 2 - 1 = +1$. Ha caído en Andalucía 2026 (ordinaria) y en los modelos de Castilla y León y Murcia.
- $2\,\mathrm{NaHCO_3\,(s)} \rightleftharpoons \mathrm{Na_2CO_3\,(s)} + \mathrm{CO_2\,(g)} + \mathrm{H_2O\,(g)}$: $K_p = p_{\mathrm{CO_2}} \cdot p_{\mathrm{H_2O}}$. El agua cuenta porque es **gas**; si fuese líquida no aparecería (Andalucía 2025, ordinaria).
- **Añadir o quitar sólido no desplaza el equilibrio** (mientras quede algo de sólido). Aragón 2025 (extraordinaria, Pregunta 2c) preguntaba en qué equilibrios el rendimiento no cambia al añadir más de todos los reactivos: en el que solo tiene sólidos como reactivos, la descomposición del $\mathrm{NaHCO_3}$ (solución oficial: la ii).
- **Tiene que haber sólido suficiente.** Si todo el sólido se gasta antes de llegar a la presión de equilibrio, no hay equilibrio y la presión es menor que K_p (ejemplo de abajo).
- El producto de solubilidad K_s de una sal poco soluble es un equilibrio heterogéneo sólido–disolución: lo ves en el Tema 12.

CUÁNTO SÓLIDO SE DESCOMPONE

En un recipiente vacío de 5,0 L se introducen 10 g de $\mathrm{CaCO_3}$ y se calienta a 1073 K, temperatura a la que $K_p = 0{,}25$ para $\mathrm{CaCO_3\,(s)} \rightleftharpoons \mathrm{CaO\,(s)} + \mathrm{CO_2\,(g)}$. ¿Qué masa de carbonato se descompone? ¿Y si se hubiese introducido solo 1,0 g? (Masas atómicas: Ca = 40, C = 12, O = 16; $R = 0{,}082$ atm·L/(mol·K).)

Respuesta modelo

$K_p = p_{\mathrm{CO_2}} = 0{,}25$ atm, así que $n_{\mathrm{CO_2}} = \dfrac{0{,}25 \cdot 5{,}0}{0{,}082 \cdot 1073} = 0{,}0142$ mol. Se descomponen $0{,}0142$ mol de $\mathrm{CaCO_3}$ ($M = 100$ g/mol): **1,42 g**, y quedan 8,58 g. Con 1,0 g solo hay $0{,}010$ mol: se descompone todo, $p_{\mathrm{CO_2}} = \dfrac{0{,}010 \cdot 0{,}082 \cdot 1073}{5{,}0} = 0{,}176$ atm $< K_p$ y **no se alcanza el equilibrio**.

Por qué puntúa. En un equilibrio heterogéneo la cantidad de sólido no entra en K, pero tiene que haber sólido presente para que haya equilibrio.

7 El cociente de reacción Q: hacia dónde evoluciona

El **cociente de reacción** Q tiene la misma expresión que K, pero con las concentraciones (o presiones) **que hay en ese momento**, estén o no en equilibrio. Comparándolo con K sabes si el sistema está en equilibrio y, si no, hacia dónde va a evolucionar.

- $Q < K$: hay menos productos de los que corresponden al equilibrio: la reacción avanza **hacia la derecha**.
- $Q > K$: sobran productos: la reacción avanza **hacia la izquierda**.
- $Q = K$: el sistema ya está en equilibrio.

- **Compara magnitudes del mismo tipo:** Q_c con K_c o Q_p con K_p. La Comunitat Valenciana 2026 (extraordinaria, Ejercicio 4) lo resolvió en presiones (Q_p frente a K_p) y Aragón 2026 (extraordinaria, 5A) pasó antes K_p a K_c para compararla con Q_c.
- **Q explica Le Châtelier:** añadir un reactivo o quitar un producto hace $Q < K$; añadir un producto, $Q > K$. La temperatura, en cambio, no cambia Q: cambia K.
- Navarra lo pide cuando se parte de reactivos y productos a la vez (2025 ordinaria, 2B); Andalucía, en 2026 (extraordinaria, 3A).

¿ESTÁ EN EQUILIBRIO?

Para $2\,SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,SO_3\,(g)$, a cierta temperatura $K_c = 100$. En un recipiente de 2,0 L hay 0,40 mol de SO_2, 0,20 mol de O_2 y 0,80 mol de SO_3. ¿Está en equilibrio? Si no, ¿hacia dónde evoluciona?

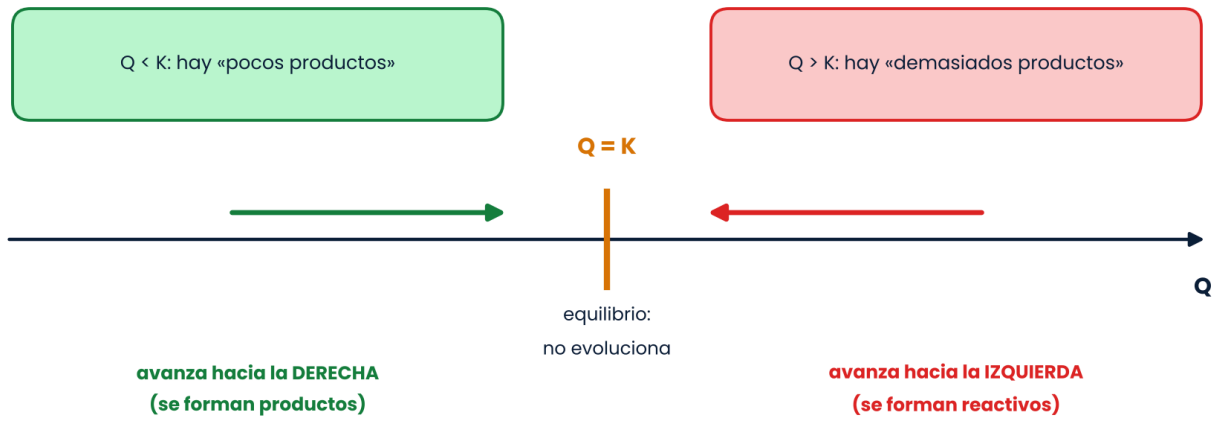
Respuesta modelo

$[SO_2] = 0{,}20$, $[O_2] = 0{,}10$ y $[SO_3] = 0{,}40$ mol/L.

$$Q_c = \frac{0{,}40^2}{0{,}20^2 \cdot 0{,}10} = 40$$

Como $Q_c = 40 < K_c = 100$, no está en equilibrio: evoluciona **hacia la derecha**, formando SO_3, hasta que $Q_c = K_c$.

Por qué puntúa. Aquí $\Delta n = -1$: usar moles en vez de concentraciones daría otro número y otra conclusión posible.



Q frente a K. Si $Q < K$ el sistema avanza hacia los productos; si $Q > K$, hacia los reactivos; si $Q = K$, está en equilibrio.

8 Principio de Le Châtelier

Si en un sistema en equilibrio se modifica alguna de las condiciones (concentración, presión o temperatura), el sistema evoluciona en el sentido que contrarresta ese cambio hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Es la herramienta de las cuestiones razonadas del tema, y casi siempre va en el mismo problema que el cálculo.

- **Concentración, explicada con Q:** al añadir H_2 a $N_2 + 3\,H_2 \rightleftharpoons 2\,NH_3$, el denominador crece, $Q < K$ y se forma NH_3. El H_2 añadido se gasta **solo en parte**: el nuevo equilibrio tiene más H_2 que el de partida (figura). Los criterios de Illes Balears 2025 (ordinaria, 5A b), leyendo la gráfica del examen, dicen que tras introducir hidrógeno las concentraciones de los reactivos «disminueixen» (disminuyen): es así desde el instante de la adición, pero compara bien: el H_2 sube de golpe al

añadirlo, luego baja solo en parte y acaba por encima del equilibrio de partida; el N_2 sí acaba por debajo.

- **Presión, explicada con Q:** si reduces el volumen a la mitad, todas las concentraciones se duplican y Q_c queda multiplicado por $2^{\Delta n}$. Con $\Delta n < 0$ (síntesis del amoníaco) $Q < K$: avanza hacia los productos.
- **Temperatura:** es el único factor que cambia K. En una reacción exotérmica, subir la temperatura hace K más pequeña: menos rendimiento. Para justificar si una reacción es endo o exotérmica a partir de K (o de la conversión, o del color) a dos temperaturas basta este razonamiento: si K baja al calentar, es exotérmica. Cataluña, la Comunitat Valenciana y Navarra lo han preguntado en 2025–2026.
- **Catalizador:** acelera por igual la reacción directa y la inversa (baja las dos energías de activación, Tema 10). No cambia ni K ni la composición del equilibrio, ni el rendimiento. Galicia 2026 (ordinaria, 3.1.3) lo preguntó así: «La adición de un catalizador en el equilibrio anterior favorecerá el incremento de la cantidad de COS gaseoso formado» (falso).
- **Responde a lo que te preguntan.** Murcia (Consejos): «no es suficiente con decir que el equilibrio se desplaza hacia la derecha o hacia la izquierda, o que no varía, sino que hay que contestar a lo que se haya preguntado». Si preguntan por la cantidad de Br_2 o por el rendimiento, termina diciendo si aumenta, disminuye o no cambia.

Cambio	Hacia dónde se desplaza	¿Cambia K?
Añadir un reactivo o retirar un producto	Hacia la derecha (productos)	No
Añadir un producto o retirar un reactivo	Hacia la izquierda (reactivos)	No
Aumentar la presión reduciendo el volumen	Hacia el lado con **menos moles de gas**; si $\Delta n = 0$, no se desplaza	No
Aumentar la temperatura	En el sentido **endotérmico**	**Sí**: sube si $\Delta H > 0$ y baja si $\Delta H < 0$
Añadir un catalizador	No se desplaza: se llega antes al mismo equilibrio	No
Añadir un gas inerte a volumen constante	No se desplaza (las presiones parciales no cambian)	No
Añadir un gas inerte a presión constante	Como aumentar el volumen: hacia más moles de gas (si $\Delta n \neq 0$)	No

Disminuir la presión o la temperatura, o retirar lo que se había añadido, produce el efecto contrario.

PRESIÓN Y TEMPERATURA

Para $N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3\,(g)$, $\Delta H^\circ = -92$ kJ. Razona cómo afecta a la cantidad de amoníaco: a) reducir el volumen del reactor; b) subir la temperatura.

Respuesta modelo

a) Por el principio de Le Châtelier, al reducir el volumen aumenta la presión y el sistema se desplaza hacia donde hay menos moles de gas: 2 en los productos frente a 4 en los reactivos. Se desplaza **hacia la derecha** y **aumenta** la cantidad de NH_3. b) La reacción directa es exotérmica: al subir la temperatura el sistema se desplaza en el sentido endotérmico, **hacia la izquierda**; K disminuye y **disminuye** la cantidad de NH_3.

Por qué puntúa. Cada respuesta tiene tres piezas: el principio, el motivo concreto (moles de gas, signo de ΔH) y la conclusión sobre lo que te preguntan.

GAS INERTE

¿Qué le ocurre al equilibrio $\mathrm{PCl_5\,(g) \rightleftharpoons PCl_3\,(g) + Cl_2\,(g)}$ si se añade helio a volumen y temperatura constantes?

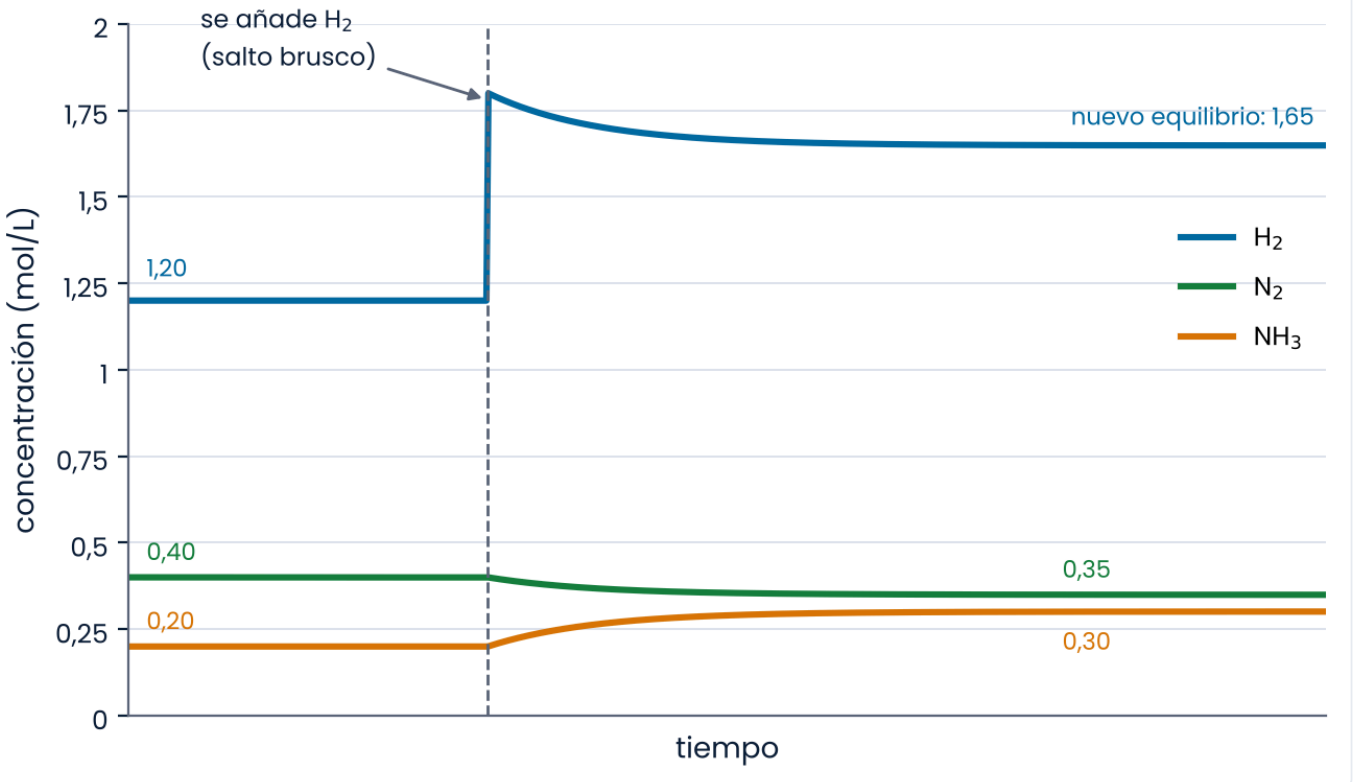
Respuesta modelo

La presión total aumenta, pero los moles de $\mathrm{PCl_5}$, $\mathrm{PCl_3}$ y $\mathrm{Cl_2}$ y el volumen no cambian, así que sus concentraciones y presiones parciales tampoco: Q sigue siendo igual a K y **el equilibrio no se desplaza**.

Por qué puntúa. Si el helio se añade a presión constante, el volumen aumenta y el equilibrio se desplaza hacia la derecha (más moles de gas). Madrid (2025 ordinaria, 4B) y Castilla y León (2026 ordinaria, 3B) lo han preguntado.

Lo que dice cada comunidad sobre Le Châtelier

Comunitat Valenciana: su currículo (Decreto 108/2022) recoge la predicción de la reacción «al variar de la concentración de una de las especies químicas» y «al variar la temperatura a presión constante», sin citar presión ni volumen (por presión no ha caído); y sus matizaciones dicen que «La dependencia de la constante de equilibrio con la temperatura se planteará cualitativamente sin necesidad de recurrir a la ecuación de van't Hoff». **Murcia**: «No serán objeto de examen problemas numéricos relacionados con ecuación de van't Hoff» (Orientación sobre los contenidos, PAU 2027), sin precisar cuál: la frase está en el apartado de termoquímica, y van't Hoff da nombre tanto a la ecuación de la variación de K con la temperatura como a la «isoterma» de la que sale $\Delta G^\circ = -RT\ln K^\circ$ (Tema 9). El efecto cualitativo de la temperatura sobre el equilibrio sí entra (su currículo, el Decreto 251/2022, cita la temperatura entre las condiciones que lo desplazan). **Illes Balears**: su currículo (Decret 43/2025) añade expresamente la «addició d'un gas inert o catalitzador» (adición de un gas inerte o de un catalizador). **Cataluña**: «Evolución de sistemas en equilibrio…» se refiere a la «Justificació dels factors que afecten a l'equilibri» (justificación de los factores que afectan al equilibrio).



Se añade $\mathrm{H_2}$ a un equilibrio de síntesis del amoníaco (a volumen y temperatura constantes; K_c no cambia). El $\mathrm{H_2}$ sube de golpe de 1,20 a 1,80 mol/L y luego baja hasta 1,65; el $\mathrm{N_2}$ baja de 0,40 a 0,35 y el $\mathrm{NH_3}$ sube de 0,20 a 0,30 mol/L.

9 Procesos industriales: Haber-Bosch, contacto, Deacon y metanol

La mitad de los problemas del tema traen un contexto industrial o ambiental. La química es siempre la misma: elegir presión, temperatura y catalizador para obtener **mucho producto** (equilibrio) **en poco tiempo** (cinética).

- **El dilema de las exotérmicas:** bajar la temperatura aumenta K y el rendimiento, pero frena la reacción. Se trabaja a una temperatura intermedia y se usa un catalizador, que no cambia el rendimiento pero hace que se llegue antes al equilibrio.
- **Retirar el producto** (licuar el amoníaco, absorber el SO_3) mantiene $Q < K$ y la reacción sigue avanzando.
- **Lo piden de forma expresa:** Andalucía (orientaciones 2026-27: «optimizar la obtención de compuestos de interés industrial, como por ejemplo el amoníaco»), Asturias (ficha B.17: método de contacto, Ostwald, Haber-Bosch y «amoniaco verde»), Castilla y León (Le Châtelier «utilizando como ejemplo la obtención industrial del amoníaco», matriz) y Cantabria (concreción con el amoníaco).
- **Contaminación atmosférica:** el NO de los motores ($N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2\,NO$, endotérmica: más NO a alta temperatura), el NO_2/N_2O_4 del smog y el SO_3 de la lluvia ácida son contextos habituales (Castilla y León, Illes Balears, País Vasco, Cataluña).

Proceso	Equilibrio	ΔH° (25 °C)	Condiciones y por qué
Haber-Bosch (amoníaco)	$N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3\,(g)$	-92 kJ	Presión alta (del orden de 150–300 atm) porque hay menos moles de gas en los productos; unos 400–500 °C como compromiso entre rendimiento y velocidad; catalizador de hierro; el NH_3 se licúa y se retira.
Contacto (ácido sulfúrico)	$2\,SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,SO_3\,(g)$	-198 kJ	Unos 400–450 °C con catalizador de V_2O_5 y presión cercana a la atmosférica (la conversión ya es alta); el SO_3 se absorbe en H_2SO_4.
Deacon (cloro)	$4\,HCl\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,Cl_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$	-114 kJ	Catalizador de cloruro de cobre a unos 400 °C; una presión más alta favorece el Cl_2 (4 moles de gas frente a 5) y una temperatura más baja también (exotérmica).
Metanol	$CO\,(g) + 2\,H_2\,(g) \rightleftharpoons CH_3OH\,(g)$	-90,5 kJ	Presión alta (unas 50–100 atm; 1 mol de gas frente a 3), temperatura moderada (unos 250 °C) y catalizador de Cu/ZnO.

Entalpías calculadas con las entalpías estándar de formación de los gases del NIST Chemistry WebBook; para el metanol gaseoso, con la del CRC Handbook ($-201{,}0$ kJ/mol), porque el NIST solo da un promedio de -205 ± 10 kJ/mol. En los exámenes usa siempre el dato del enunciado (la síntesis del amoníaco suele darse con -92 o $-92{,}4$ kJ).

Rendimiento no es velocidad

El **rendimiento** (cuánto producto hay en el equilibrio) depende de K y de las condiciones: lo explica Le Châtelier. La **velocidad** (cuánto se tarda en llegar) depende de la cinética. Un catalizador cambia la velocidad, no el rendimiento; una temperatura alta aumenta la velocidad, pero en una exotérmica baja el rendimiento.

10 Qué te piden en tu comunidad

Equilibrio químico ha salido en 58 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades. Lo que cambia es el formato y las normas de corrección (las unidades de K están en el aviso de la sección de K_p).

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Andalucía	Problema de 2 × 1 punto: K_c y K_p, a menudo heterogéneo ($NaHCO_3$, $C + CO_2$), y Q (2026 extr.).	Error de cálculo: -10 % del apartado; error de concepto básico: 0. No consta norma sobre las unidades de Kp.
Aragón	Presiones con α (2025 ord., P1 obligatoria), cinco equilibrios a la vez (2025 extr.), heterogéneo del ICl (2026 ord.), Q (2026 extr.).	Error algebraico con resultado coherente: 0,25 como máximo.
Asturias	P3 (2,5 puntos): K_c y K_p de $H_2 + I_2$, presiones del PCl_5 con ecuación de 2.º grado.	Kc y Kp con unidades; cifras significativas: -0,25 si te desvías en más de dos.
Illes Balears	En las cuatro: K_c, K_p, presión total, heterogéneos (CuO, $CaCO_3$), Le Châtelier.	K sin unidades salvo que las pidan; unidades incorrectas: -0,25.
Canarias	K_c, K_p, α y moles a partir de la presión total; Le Châtelier por presión.	Te dan la ecuación ajustada; K sin unidades.
Cantabria	$NOBr$, descomposición del agua a 2600 K, síntesis del amoníaco: siempre K_c, K_p y Le Châtelier.	Resultado final sin unidades: -10 %; resultado disparatado: 0.
Castilla-La Mancha	En las cuatro (2025 ord., P4 obligatoria con Haber-Bosch); en el modelo 2027, Problema 1 obligatorio.	Pon unidades al menos a Kc o a Kp; un error solo se penaliza una vez.
Castilla y León	En las cuatro: moles, α a partir de K_p, gas inerte, catalizador, metanol.	Kp en atm y Kc en mol/L; sin razonamiento, hasta -25 %.
Cataluña	3 de 4 (y en las reservas de 2025 y 2026): K_c, nuevo equilibrio al añadir un producto, endo/exo a partir de K a varias temperaturas.	Excluye presiones parciales a partir de Kp y datos iniciales; K sin unidades; Kp en atm o bar.
Comunitat Valenciana	Ejercicio 1 obligatorio con contexto (2025 ord.), N_2O_4 (2026 ord.), Q_p (2026 extr.).	Su currículo cita en Le Châtelier la concentración y la temperatura (no la presión, que no ha caído); K frente a T, solo cualitativa (sin van't Hoff).
Extremadura	En todas; en 2026 ord. fue obligatorio (2,5 puntos) y en el modelo 2027 es la P5 obligatoria.	Resultado final sin unidades: -25 %; absurdo: 0.
Galicia	Problema de 2–2,5 puntos (PCl_5, $CO_2 + H_2S$, N_2O_4) y verdadero/falso (catalizador, $K_c = K_p$).	Doble flecha y Kc con concentraciones; unidades mal: -25 %.
La Rioja	3 de 4: K_c, K_p, presiones parciales, α y Le Châtelier.	Resultado final sin unidades: hasta -25 %.
Madrid	Pregunta 4: K_c, K_p, presiones, α, Le Châtelier con gas inerte, presión y temperatura.	Sin cálculos de K con ΔG° ni al revés: «No se pedirán cálculos que permitan calcular la Keq con ΔG o viceversa» (acta UPM de 3-dic-2025; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). Lo ves en el Tema 9.
Murcia	2026 (2A): concentraciones, K_c y K_p con producto inicial; PCl_5 con efecto del volumen y del catalizador.	K sin unidades; contesta exactamente lo que preguntan; sin problemas numéricos de la «ecuación de van't Hoff», sin precisar cuál (Orientación 2027; Tema 9).

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Navarra	Pregunta 2: K_c con Q, K_p desde K_c, efecto de la temperatura, descomposición del NH_3.	La justificación vale el 50–75 % del apartado.
País Vasco	Bloque A obligatorio, siempre con contexto: síntesis del amoníaco y lluvia ácida (2025), Deacon y metanol (2026).	Se penaliza la ausencia o el mal uso de unidades; razona cada paso.

Fuente: exámenes, criterios y documentos oficiales de cada comisión (2025–2027).

11 Ejercicio resuelto: Kc y Kp del proceso Deacon con masas (País Vasco 2026)

PAU PAÍS VASCO 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · BLOQUE A, EJERCICIO A1 (PROBLEMA OBLIGATORIO; 2 PUNTOS)

El cloro gaseoso se emplea para tratar, entre otras, las aguas de las piscinas y el agua potable. Además de los métodos electrolíticos, a nivel industrial, el cloro se produce a través del proceso Deacon en presencia de un catalizador y de acuerdo con la siguiente reacción: $4\,HCl\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2\,Cl_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$, T = 400 °C. (Datos generales del examen que hacen falta: R = 0,082 atm·L·K⁻¹·mol⁻¹; R = 8,31 J·K⁻¹·mol⁻¹; masas atómicas (uma): H (1,0), O (16,0), Cl (35,5).)

a) En un recipiente cerrado de 10 L se mezclan 32,8 g de HCl y 38,4 g de O2 y se observa que en equilibrio se han generado 28,4 g de Cl2. Calcular las constantes de equilibrio Kp y Kc a 400 °C. (0,75 puntos)

b) Razonar si se generará más o menos cloro al aumentar la presión del reactor. (0,50 puntos)

c) Indicar cuál es la especie oxidante y cuál la reductora. (0,25 puntos)

d) Calcular el punto de ebullición del cloro (en °C), sabiendo que a esa temperatura Cl2 (l) y Cl2 (g) se encuentran en equilibrio. Datos: entalpía de vaporización, ΔHv0 (kJ·mol-1) = 10,2 y entropía de vaporización, ΔSv0 (J·mol-1K-1) = 42,7. (0,50 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** te dan las masas iniciales y la masa de un producto en el equilibrio. Pasas todo a moles, haces la tabla, el Cl_2 te da x, calculas K_c con **concentraciones** (aquí $\Delta n \neq 0$ y el volumen no se cancela) y luego $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$.
2. Masas molares con los datos del examen: $M(HCl) = 36{,}5$ g/mol, $M(O_2) = 32{,}0$ g/mol, $M(Cl_2) = 71{,}0$ g/mol. Moles: $n_0(HCl) = 32{,}8/36{,}5 = 0{,}8986$ mol; $n_0(O_2) = 38{,}4/32{,}0 = 1{,}20$ mol; $n(Cl_2)_{eq} = 28{,}4/71{,}0 = 0{,}400$ mol.
3. Tabla (mol): HCl: $0{,}8986 \to 0{,}8986 - 4x$; O_2: $1{,}20 \to 1{,}20 - x$; Cl_2: $0 \to 2x$; H_2O: $0 \to 2x$. Como $2x = 0{,}400$, $x = 0{,}200$ mol.
4. En el equilibrio: $n(HCl) = 0{,}8986 - 0{,}800 = 0{,}0986$ mol; $n(O_2) = 1{,}00$ mol; $n(Cl_2) = n(H_2O) = 0{,}400$ mol. Dividiendo entre 10 L: $[HCl] = 9{,}86 \cdot 10^{-3}$, $[O_2] = 0{,}100$, $[Cl_2] = [H_2O] = 0{,}0400$ mol/L.
5. $$K_c = \frac{[Cl_2]^2[H_2O]^2}{[HCl]^4[O_2]} = \frac{0{,}0400^2 \cdot 0{,}0400^2}{(9{,}86 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 0{,}100} = 2{,}71 \cdot 10^3$$

6. $\Delta n = (2+2) - (4+1) = -1$ y $T = 400 + 273 = 673$ K:

$$K_p = K_c\,(RT)^{-1} = \frac{2{,}71 \cdot 10^3}{0{,}082 \cdot 673} = 49{,}0$$

7. **Ojo al redondeo:** la solución oficial usa $M(\mathrm{HCl}) = 36{,}45$ g/mol, toma $n_0(\mathrm{HCl}) = 0{,}9$ mol y le quedan $0{,}1$ mol de HCl; obtiene $K_c = 2{,}56 \cdot 10^3$ y $K_p = 46{,}38$. Esa masa molar no es la de los datos del examen ($1{,}0 + 35{,}5 = 36{,}5$), y la diferencia (un 6 %) se nota porque el HCl que queda es la resta de dos números parecidos ($0{,}8986 - 0{,}800$) y además va elevado a la cuarta. Con datos de tres cifras, K_c solo admite dos: una variación de $\pm 0{,}05$ g en los 32,8 g de HCl ya la mueve entre $2{,}56 \cdot 10^3$ y $2{,}86 \cdot 10^3$. El planteamiento es el mismo; con los datos del examen salen $2{,}71 \cdot 10^3$ y $49{,}0$.

SOLUCIÓN $K_c \approx 2{,}7 \cdot 10^3$ y $K_p \approx 49$ a 400 °C (si pones unidades: L/mol y atm^{-1}). Las dos son mayores que 1: el equilibrio está desplazado hacia el cloro.

Apartado b)

1. **Principio de Le Châtelier:** al aumentar la presión (reduciendo el volumen), el sistema se desplaza hacia el lado con **menos moles de gas**.
2. Reactivos: $4 + 1 = 5$ mol de gas; productos: $2 + 2 = 4$ mol de gas. Se desplaza **hacia la derecha**.
3. Con Q: al reducir el volumen a la mitad todas las concentraciones se duplican y $Q_c = 2^{\Delta n} K_c = K_c/2 < K_c$, así que la reacción avanza hacia los productos. K no cambia (solo depende de T).

SOLUCIÓN Se generará más cloro al aumentar la presión.

Apartado c)

1. Números de oxidación (Tema 15): el oxígeno pasa de 0 en $\mathrm{O_2}$ a -2 en $\mathrm{H_2O}$: se reduce, así que el $\mathrm{O_2}$ es el **oxidante**. El cloro pasa de -1 en HCl a 0 en $\mathrm{Cl_2}$: se oxida, así que el HCl es el **reductor** (el HCl gaseoso es molecular: no hay iones cloruro, pero su cloro tiene número de oxidación -1). El hidrógeno sigue en +1.

SOLUCIÓN Oxidante: $\mathrm{O_2}$. Reductor: HCl (su cloro, con número de oxidación -1, pasa a $\mathrm{Cl_2}$; la solución oficial lo escribe como $\mathrm{Cl^-}$).

Apartado d)

1. Equilibrio de cambio de fase: $\mathrm{Cl_2\,(l)} \rightleftharpoons \mathrm{Cl_2\,(g)}$. En el equilibrio $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0$ (Tema 9), así que $T_{eb} = \dfrac{\Delta H_v}{\Delta S_v}$.
2. Pasa las dos magnitudes a las mismas unidades: $\Delta H_v = 10{,}2$ kJ/mol $= 10\,200$ J/mol.

$$T_{eb} = \frac{10\,200\ \mathrm{J/mol}}{42{,}7\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}} = 238{,}9\ \mathrm{K}$$

3. En grados Celsius: $238{,}9 - 273{,}15 = -34{,}3$ °C. Tiene sentido: el cloro es un gas a temperatura ambiente.

SOLUCIÓN El cloro hierve a unos 239 K, es decir, a -34 °C.

Lo que puntúa. Puntos del enunciado: a) 0,75; b) 0,50; c) 0,25; d) 0,50 (el solucionario da 0,25 de los 0,50 del d) por plantear el equilibrio de vaporización con $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0$). Criterios generales del País Vasco: «Si no escribe y ajusta correctamente la/s ecuación/es, la cuestión o problema no podrá ser calificado con la máxima puntuación»; «La presentación de una mera secuencia de expresiones matemáticas, sin ningún tipo de razonamiento o explicación, no podrá dar lugar a una puntuación máxima»; «Se penalizará la utilización incorrecta de unidades o su ausencia». A cambio, «un resultado incorrecto por un error algebraico no debería invalidar un ejercicio». La solución oficial da $K_c = 2{,}56 \cdot 10^3$, $K_p = 46{,}38$ (sin unidades), más $\mathrm{Cl_2}$ al aumentar la presión, $\mathrm{O_2}$ oxidante y $\mathrm{Cl^-}$ reductor, y 239 K = -34 °C.

Error típico que te quita puntos. Calcular K_c con moles (como $\Delta n = -1$, sale diez veces más pequeña: 271 en lugar de $2{,}71 \cdot 10^3$), restar x en lugar de $4x$ al HCl, o usar $\Delta n = +1$ y multiplicar por RT en lugar de dividir. En el d), dividir 10,2 entre 42,7 sin pasar los kJ a J.

12 Ejercicio resuelto: grado de disociación, Kp y Kc del PCl_5 (Castilla-La Mancha 2026)

PAU CASTILLA-LA MANCHA 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PROBLEMA 3, OPCIÓN 3B (A ELEGIR ENTRE 3A Y 3B; 2 PUNTOS)

En un matraz de un litro se introducen 0,2 moles de PCl5 y se calienta a 300ºC. A esta temperatura, el PCl5 se disocia según la reacción mostrada, y la presión parcial de PCl3 observada en equilibrio fue de 0,5 atm. $\mathrm{PCl_5} \rightleftharpoons \mathrm{PCl_3} + \mathrm{Cl_2}$. Datos: R = 0.082 atm l/mol K

a) Calcule el número de moles de todas las especies en el equilibrio, y el valor de la presión parcial del PCl5 en equilibrio. (1 punto)

b) Calcule el grado de disociación del PCl5. (0,5 puntos)

c) Calcule Kp y Kc a 300ºC (0,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** la presión parcial de un gas da sus moles con $pV = nRT$. Con los moles de $\mathrm{PCl_3}$ tienes x y la tabla te da todo lo demás.
2. Tabla (mol), con $T = 300 + 273 = 573$ K: $\mathrm{PCl_5}$: $0{,}2 \to 0{,}2 - x$; $\mathrm{PCl_3}$: $0 \to x$; $\mathrm{Cl_2}$: $0 \to x$.
3. $RT = 0{,}082 \cdot 573 = 46{,}986$ atm·L/mol. Para el $\mathrm{PCl_3}$:

$$x = \frac{p_{\mathrm{PCl_3}} V}{RT} = \frac{0{,}5 \cdot 1}{46{,}986} = 0{,}01064 \text{ mol}$$

4. Moles en el equilibrio: $n(\mathrm{PCl_3}) = n(\mathrm{Cl_2}) = 0{,}01064$ mol y $n(\mathrm{PCl_5}) = 0{,}2 - 0{,}01064 = 0{,}1894$ mol.
5. Presión parcial del $\mathrm{PCl_5}$:

$$p_{\mathrm{PCl_5}} = \frac{n\,RT}{V} = \frac{0{,}1894 \cdot 46{,}986}{1} = 8{,}90 \text{ atm}$$

SOLUCIÓN $n(\mathrm{PCl_5}) = 0{,}189$ mol, $n(\mathrm{PCl_3}) = n(\mathrm{Cl_2}) = 0{,}0106$ mol y $p_{\mathrm{PCl_5}} = 8{,}90$ atm.

Apartado b)

1. α es la fracción de los moles iniciales de $\mathrm{PCl_5}$ que se ha disociado:

$$\alpha = \frac{x}{n_0} = \frac{0{,}01064}{0{,}2} = 0{,}0532$$

SOLUCIÓN $\alpha = 0{,}053$: solo se disocia un 5,3 % del $\mathrm{PCl_5}$.

Apartado c)

1. Como el $\mathrm{Cl_2}$ y el $\mathrm{PCl_3}$ se forman en la misma cantidad y están en el mismo recipiente, $p_{\mathrm{Cl_2}} = p_{\mathrm{PCl_3}} = 0{,}5$ atm.

$$K_p = \frac{p_{\mathrm{PCl_3}}\, p_{\mathrm{Cl_2}}}{p_{\mathrm{PCl_5}}} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}5}{8{,}897} = 0{,}0281 \text{ atm}$$

2. $\Delta n = 2 - 1 = 1$, así que $K_c = \dfrac{K_p}{RT} = \dfrac{0{,}0281}{46{,}986} = 5{,}98 \cdot 10^{-4}$ mol/L.

3. Comprobación con concentraciones ($V = 1$ L): $K_c = \dfrac{0{,}01064^2}{0{,}1894} = 5{,}98 \cdot 10^{-4}$ mol/L.

4. **Errata de los criterios oficiales:** escriben «La PCl2 es también 0,5»; es $p_{\mathrm{Cl_2}}$. Dan $K_c \approx 5{,}96 \cdot 10^{-4}$ M porque dividen el K_p ya redondeado a $0{,}028$; sin redondear sale $5{,}98 \cdot 10^{-4}$.

SOLUCIÓN $K_p = 0{,}028$ atm y $K_c = 6{,}0 \cdot 10^{-4}$ mol/L a 300 °C: equilibrio muy desplazado hacia el $\mathrm{PCl_5}$, coherente con un α tan pequeño.

Lo que puntúa. Criterios de Castilla-La Mancha 2026 (3B): en el a), 0,25 por cada uno de los moles de $\mathrm{PCl_5}$, $\mathrm{PCl_3}$ y $\mathrm{Cl_2}$ y 0,25 por la presión parcial del $\mathrm{PCl_5}$; en el b), 0,5 por $\alpha = 0{,}053$; en el c), 0,25 por $K_p \approx 0{,}028$ atm y 0,25 por $K_c \approx 5{,}96 \cdot 10^{-4}$ M. Sobre las unidades: «No poner unidades ni en Kp ni en Kc (en las dos) se penaliza con 0,25 ptos. Si sólo le faltan las unidades a una de ellas, no penalizamos», y en este apartado: «Si les faltan las unidades a ambas, les puntuamos sólo 0,25 p.». Y sobre los errores: «EL ERROR SÓLO SE PENALIZA UNA VEZ» y «Sólo se penalizará cuando tengan 3 errores de calculadora, y se les quitará 0,25 puntos».

Error típico que te quita puntos. Usar 0,5 atm como presión total, dejar la temperatura en grados Celsius (con 300 en lugar de 573 todo sale mal) o calcular K_c como $K_p \cdot RT$ (el exponente es $\Delta n = +1$: $K_p = K_c\, RT$, luego $K_c = K_p/RT$).

13 Ejercicio resuelto: equilibrio heterogéneo del ICl y Le Châtelier (Aragón 2026)

PAU ARAGÓN 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 2, APARTADO 2A (A ELEGIR ENTRE 2A Y 2B; 2 PUNTOS)

En un recipiente de 3 L se introducen 2,5 moles de ICl, el cual descompone a 25°C según el siguiente equilibrio: $2\,\mathrm{ICl\,(s)} \rightleftharpoons \mathrm{I_2\,(s)} + \mathrm{Cl_2\,(g)}$. La constante Kp tiene un valor de 0,24 a dicha temperatura. Datos: R = 0,082 atm·L·mol-1·K-1. Masas atómicas: I = 127; Cl = 35,5.

a) Calcule cuál será la concentración de Cl2 cuando se alcance el equilibrio. (0,75 puntos)

b) Calcule cuántos gramos de ICl quedarán en el equilibrio. (0,75 puntos)

c) Si se quiere mejorar la obtención de I2 y Cl2 variando la presión del recipiente, ¿sería mejor aumentarla o disminuirla? Razone la respuesta. (0,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** es un equilibrio **heterogéneo**: el ICl y el I_2 son sólidos y no aparecen en la constante. Solo queda el gas: $K_p = p_{Cl_2}$.
2. Por tanto, en el equilibrio $p_{Cl_2} = 0{,}24$ atm, sin necesidad de tabla.
3. Con $pV = nRT$ y $T = 25 + 273 = 298$ K:

$$n_{Cl_2} = \frac{0{,}24 \cdot 3}{0{,}082 \cdot 298} = 0{,}02946 \text{ mol}$$

4. $[Cl_2] = \dfrac{0{,}02946}{3} = 9{,}82 \cdot 10^{-3}$ mol/L. (Es también $K_c = [Cl_2]$, que vale K_p/RT.)

SOLUCIÓN $[Cl_2] = 9{,}82 \cdot 10^{-3}$ mol/L en el equilibrio.

Apartado b)

1. Tabla (mol): ICl: $2{,}5 \to 2{,}5 - 2x$; I_2: $0 \to x$; Cl_2: $0 \to x$, con $x = n_{Cl_2} = 0{,}02946$ mol.
2. $n(ICl) = 2{,}5 - 2 \cdot 0{,}02946 = 2{,}441$ mol. Hay sólido de sobra: el equilibrio se alcanza.
3. $M(ICl) = 127 + 35{,}5 = 162{,}5$ g/mol: $m = 2{,}441 \cdot 162{,}5 = 396{,}7$ g. (La solución oficial redondea a 2,44 mol y da 396,5 g.)

SOLUCIÓN Quedan unos 397 g de ICl: se descompone muy poco (menos de un 3 %).

Apartado c)

1. **Principio de Le Châtelier:** si se aumenta la presión, el sistema evoluciona hacia donde hay menos moles de gas; si se disminuye, hacia donde hay más.
2. En los reactivos no hay gas (0 mol) y en los productos hay 1 mol de Cl_2. Para obtener más I_2 y Cl_2 conviene **disminuir la presión** (aumentar el volumen): el equilibrio se desplaza hacia la derecha.
3. Más fino: como $K_p = p_{Cl_2} = 0{,}24$ atm a 25 °C, al agrandar el recipiente se descompone más ICl hasta que la presión del Cl_2 vuelve a ser 0,24 atm, ahora con más moles de Cl_2 (y de I_2).

SOLUCIÓN Es mejor disminuir la presión: el equilibrio se desplaza hacia la formación de I_2 y Cl_2.

Lo que puntúa. Criterios de Aragón 2026 (2A): en el a), 0,25 por $K_p = p_{Cl_2} \Rightarrow p_{Cl_2} = 0{,}24$ atm, 0,25 por los moles de Cl_2 con $pV = nRT$ y 0,25 por la concentración ($9{,}82 \cdot 10^{-3}$ M); en el b), 0,25 por el planteamiento del equilibrio, 0,25 por los moles de ICl y 0,25 por los gramos; en el c), 0,2 por enunciar el principio de Le Chatelier y 0,3 por razonar con los moles gaseosos y concluir «disminuir la presión». Criterios generales: «Se exigirá que los resultados de los distintos ejercicios sean obtenidos paso a paso y que estén debidamente razonados» y, si hay un error algebraico con resultado coherente, «el error se penalizará con 0,25 puntos como máximo».

Error típico que te quita puntos. Escribir $K_p = \dfrac{p_{I_2}\, p_{Cl_2}}{p^2_{ICl}}$ con los sólidos dentro (es el error de concepto del ejercicio), o restar x en lugar de $2x$ al ICl. En el c), contestar «aumentarla» pensando que más presión siempre da más producto.

Conceptos clave

Equilibrio químico

Estado de un sistema cerrado en el que la reacción directa y la inversa ocurren a la misma velocidad, de modo que las concentraciones no cambian. Es dinámico: $v_d = v_i \neq 0$.

Ley de acción de masas

A una temperatura dada, el cociente entre el producto de las concentraciones de equilibrio de los productos y el de los reactivos, cada una elevada a su coeficiente estequiométrico, es constante.

Constante de equilibrio Kc

Valor de ese cociente con concentraciones en mol/L. Solo depende de la temperatura y de cómo se escribe la ecuación.

Constante de equilibrio Kp

La misma expresión con las presiones parciales de los gases (en atm en la PAU). Se relaciona con K_c por $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$.

Δn (variación de moles de gas)

Suma de los coeficientes de los productos gaseosos menos la de los reactivos gaseosos. Si vale 0, $K_p = K_c$.

Presión parcial

Presión que ejercería un gas de la mezcla si ocupase él solo todo el volumen: $p_i = n_i RT/V = x_i\, p_T$.

Fracción molar

Moles de una especie divididos entre los moles totales: $x_i = n_i/n_T$. Las fracciones molares de una mezcla suman 1.

Cociente de reacción (Q)

Misma expresión que K con las concentraciones o presiones de un instante cualquiera. Si $Q < K$, la reacción avanza hacia la derecha; si $Q > K$, hacia la izquierda.

Grado de disociación (α)

Fracción de los moles iniciales de una sustancia que se ha disociado al llegar al equilibrio: $\alpha = x/n_0$, entre 0 y 1. A diferencia de K, cambia con la presión.

Equilibrio heterogéneo

Equilibrio con especies en fases distintas. Los sólidos y los líquidos puros no aparecen en la constante.

Principio de Le Châtelier

Si se modifica una condición de un sistema en equilibrio (concentración, presión, temperatura), el sistema evoluciona en el sentido que contrarresta ese cambio.

Catalizador (en un equilibrio)

Sustancia que acelera por igual la reacción directa y la inversa: se alcanza antes el equilibrio, pero no cambia ni K ni la composición final.

Constante de equilibrio estándar (K°)

Constante sin unidades en la que cada presión se divide entre $p^\circ = 1$ bar. Es la que aparece en $\Delta G^\circ = -RT\ln K^\circ$.

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Ecuación

Escribe la ecuación ajustada con estados y doble flecha, y la expresión de K **antes** de sustituir.

Concentraciones

En K_c, **mol/L, no moles**. Solo si $\Delta n = 0$ se cancela el volumen.

Solo gases

Sólidos y líquidos puros fuera de K y de Δn.

Kp = Kc(RT)^Δn

$R = 0{,}082$, T en **kelvin** y Δn con su signo (productos - reactivos).

Unidades de K

Asturias y **Castilla-La Mancha**, con unidades; **Cataluña**, **Murcia** y **Canarias**, sin ellas; **Illes Balears**, no hace falta ponerlas, pero si las pones mal restan (Cataluña: Kp en atm o bar, nunca en Pa).

Q antes que nada

Si partes de reactivos y productos, calcula Q y compáralo con K para saber hacia dónde va.

Le Châtelier completo

Principio + motivo concreto (moles de gas, signo de ΔH) + respuesta a lo que preguntan. Solo la temperatura cambia K; el catalizador no desplaza nada.

Cómo te lo pueden preguntar

- Problema numérico de equilibrio: calcular K_c y K_p, concentraciones, moles o presiones parciales en el equilibrio, presión total o grado de disociación a partir de una tabla de moles: sale en 55 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades.
- Principio de Le Châtelier razonado (cambio de concentración, presión o volumen, temperatura, catalizador, gas inerte), casi siempre como último apartado del problema: sale en 43 de las 68 convocatorias, en 15 comunidades.
- Equilibrio heterogéneo (carbonatos, hidrogenocarbonatos —antes, bicarbonatos—, $\mathrm{C} + \mathrm{CO_2}$, óxidos de cobre, ICl), en el que los sólidos no entran en K: en 2025–2026 ha caído en Andalucía, Aragón e Illes Balears, y está en los modelos de Castilla y León y Murcia.
- Cociente de reacción: decidir si una mezcla está en equilibrio y hacia dónde evoluciona (Q frente a K): Andalucía, Aragón y la Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria) y Navarra (2025 ordinaria).
- Deducir si una reacción es endotérmica o exotérmica a partir de K, de la conversión o del color a dos temperaturas: Cataluña (2025 y 2026), la Comunitat Valenciana (2025 y 2026) y Navarra (2025).

No lo confundas

- **K_c con K_p:** la primera usa concentraciones; la segunda, presiones parciales de los gases. Solo son iguales si $\Delta n = 0$.
- **Moles con concentraciones:** en K_c van siempre los moles divididos entre el volumen.
- **Q con K:** K es el valor en el equilibrio y solo cambia con la temperatura; Q es el de un momento cualquiera y dice hacia dónde evoluciona el sistema.
- **α con K:** el grado de disociación cambia con la presión y con las cantidades iniciales; K no.
- **Desplazar el equilibrio con cambiar K:** añadir sustancias o cambiar el volumen desplaza el equilibrio sin cambiar K; cambiar la temperatura cambia K.

- **Rendimiento con velocidad:** el catalizador aumenta la velocidad pero no el rendimiento; la temperatura alta acelera, pero en una exotérmica baja el rendimiento.
- **Gas inerte a volumen constante con gas inerte a presión constante:** el primero no desplaza el equilibrio; el segundo equivale a aumentar el volumen.

Ponte a prueba

PAU Cataluña 2026 (ordinaria), Ejercicio 1 (obligatorio; 2,5 puntos; versión en castellano publicada por la comisión). La lluvia ácida es un tipo de precipitación que presenta un pH especialmente ácido (pH 4-5) y que tiene efectos adversos en los bosques y en la flora y la fauna acuáticas. Este fenómeno se da sobre todo en ambientes ricos en trióxido de azufre, ya que este compuesto genera ácido sulfúrico al reaccionar con el vapor de agua de la atmósfera. Una de las vías de formación de trióxido de azufre en la atmósfera es a partir de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, que son contaminantes ambientales derivados de la actividad humana. Estos dos gases reaccionan entre sí dando lugar a un equilibrio químico con monóxido de nitrógeno y trióxido de azufre, tal y como se muestra en la siguiente ecuación: $\mathrm{NO_2\,(g) + \ SO_2\,(g) \rightleftharpoons NO\,(g) + \ SO_3\,(g)}$. **1.1.** Cuando esta reacción se lleva a cabo en un recipiente cerrado de 2 L a una temperatura de 1 150 °C, las cantidades de cada sustancia una vez alcanzada la situación de equilibrio son 0,2 mol de NO2, 1,6 mol de SO2, 0,8 mol de NO y 1,2 mol de SO3. Calcule la constante de equilibrio Kc de la reacción en estas condiciones. Si se añadieran 10 g adicionales de NO a este sistema en equilibrio, ¿cuáles serían las concentraciones finales que se obtendrían en la nueva situación de equilibrio para cada una de las especies implicadas en la reacción? [1,25 puntos] **1.2.** Se ha estudiado la variación de la constante de equilibrio Kc de la reacción anterior según la temperatura, y se han obtenido los resultados que se muestran en la siguiente tabla: Temperatura (°C): 460 | 800; Kc: 84,3 | 9,6. Justifique si la reacción entre NO2 y SO2 para producir NO y SO3 es un proceso endotérmico o exotérmico. Explique de manera razonada si se favorece la lluvia ácida cuando: a) la presión atmosférica aumenta y b) la cantidad de monóxido de nitrógeno en la atmósfera producido a través de otros procesos aumenta. [1,25 puntos] Datos: Masas atómicas relativas: N = 14,0; O = 16,0; S = 32,0.

Solución: 1.1 Concentraciones: $[\mathrm{NO_2}] = 0{,}1$; $[\mathrm{SO_2}] = 0{,}8$; $[\mathrm{NO}] = 0{,}4$; $[\mathrm{SO_3}] = 0{,}6$ mol/L. $K_c = \dfrac{0{,}4 \cdot 0{,}6}{0{,}1 \cdot 0{,}8} = 3{,}0$ (sin unidades, como pide Cataluña; aquí $\Delta n = 0$). Se añaden $10/30{,}0 = 0{,}333$ mol de NO: $[\mathrm{NO}] = 0{,}4 + 0{,}1667 = 0{,}567$ mol/L. Entonces $Q = \dfrac{0{,}567 \cdot 0{,}6}{0{,}1 \cdot 0{,}8} = 4{,}25 > 3{,}0$: evoluciona hacia la izquierda. $3{,}0 = \dfrac{(0{,}567 - x)(0{,}6 - x)}{(0{,}1 + x)(0{,}8 + x)} \Rightarrow 2x^2 + 3{,}867x - 0{,}1000 = 0 \Rightarrow x = 0{,}0255$ mol/L (la otra raíz es negativa). Nuevo equilibrio: $[\mathrm{NO_2}] = 0{,}126$; $[\mathrm{SO_2}] = 0{,}826$; $[\mathrm{NO}] = 0{,}541$; $[\mathrm{SO_3}] = 0{,}574$ mol/L (los criterios, con $0{,}566$, dan 0,125; 0,825; 0,541 y 0,575). **1.2** K_c baja al subir la temperatura (84,3 a 460 °C; 9,6 a 800 °C; 3,0 a 1150 °C): al calentar se favorece la reacción inversa, que es la endotérmica, así que la directa es **exotérmica**. a) Hay 2 mol de gas a cada lado ($\Delta n = 0$): un aumento de presión no desplaza el equilibrio ni afecta a la lluvia ácida. b) Más NO (un producto) desplaza el equilibrio hacia la izquierda: se consume $\mathrm{SO_3}$ y se **desfavorece** la lluvia ácida.

PAU Asturias 2026 (extraordinaria), Pregunta 3, Opción A (a elegir entre A y B; 2,5 puntos). Para la reacción $\mathrm{PCl_5\,(g) \rightleftharpoons PCl_3\,(g) + Cl_2\,(g)}$, la constante de equilibrio Kp, a 250,00 °C, es 78,3 atm. En un recipiente de 500 mL, a 250,00 °C, se introducen 3,12 g de PCl5(g). Calcule las presiones parciales del PCl5(g) y del PCl3(g) cuando se alcanza el estado de equilibrio. Datos: Ar(Cl) = 35,45, Ar(P) = 30,974 y R = 0,082 057 46 atm L K⁻¹ mol⁻¹.

Solución: $M(\mathrm{PCl_5}) = 30{,}974 + 5 \cdot 35{,}45 = 208{,}224$ g/mol; $n_0 = 3{,}12/208{,}224 = 0{,}014\,98$ mol; $T = 523{,}15$ K; $V = 0{,}500$ L. Presión inicial del $\mathrm{PCl_5}$: $p_0 = n_0RT/V = 1{,}2865$ atm. Trabajando en presiones (a V y T constantes la presión es proporcional a los moles): $p_{\mathrm{PCl_5}} = p_0 - y$, $p_{\mathrm{PCl_3}} = p_{\mathrm{Cl_2}} = y$.

$$78{,}3 = \frac{y^2}{1{,}2865 - y} \;\Rightarrow\; y^2 + 78{,}3y - 100{,}73 = 0 \;\Rightarrow\; y = 1{,}266\ \mathrm{atm}$$

$p_{\mathrm{PCl_3}} = 1{,}27$ atm y $p_{\mathrm{PCl_5}} = 1{,}2865 - 1{,}2660 = 0{,}0205$ atm (presión total 2,55 atm). Con K_p tan grande casi todo el $\mathrm{PCl_5}$ se disocia. La solución oficial lo hace con el avance ξ ($\xi_{eq} = 0{,}014\,74$ mol) y llega a lo mismo: 0,0205 atm y 1,27 atm. En Asturias cada resultado va **con unidades** (−0,25 si no) y con las cifras significativas razonables.

PAU Comunitat Valenciana 2026 (extraordinaria), Ejercicio 4 (2 puntos; el apartado a es obligatorio y se elige b1 o b2). En un recipiente de 2 litros se introducen 3 moles de COBr2, 1 mol de CO y 3 moles de Br2 y se calienta a 73 °C, estableciéndose el siguiente equilibrio: $\mathrm{COBr_2\,(g) \rightleftharpoons CO\,(g) + Br_2\,(g)}$, Kp(73 °C) = 2,55, ΔH < 0. a) La mezcla de reacción, ¿está en equilibrio? Justifíquelo. Si no lo estuviera, indique el sentido en que transcurrirá la reacción. (1 punto) Conteste a una de las siguientes cuestiones: b1) Una vez alcanzado el equilibrio, deduzca si la cantidad de Br2 aumentará, disminuirá o permanecerá constante tras realizar las siguientes acciones: (0,5 punto cada subapartado) i) Un aumento de la temperatura a volumen constante. ii) Una disminución de la concentración de CO, sin modificar el volumen ni la temperatura. b2) Justifique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas: (0,5 punto cada subapartado) i) La variación de entalpía de formación estándar del CO es cero. ii) Cuando CO y Br2 reaccionan para formar COBr2, se desprende energía en forma de calor. (La hoja de datos del examen da R = 0,082 atm·L·K⁻¹·mol⁻¹.)

Solución: a) $n_T = 7$ mol; $p_T = \dfrac{7 \cdot 0{,}082 \cdot 346{,}15}{2} = 99{,}3$ atm; por Dalton, $p_{\mathrm{COBr_2}} = p_{\mathrm{Br_2}} = \frac{3}{7} \cdot 99{,}3 = 42{,}6$ atm y $p_{\mathrm{CO}} = \frac{1}{7} \cdot 99{,}3 = 14{,}2$ atm. $Q_p = \dfrac{14{,}2 \cdot 42{,}6}{42{,}6} = 14{,}2 > K_p = 2{,}55$: **no está en equilibrio** y evoluciona **hacia la izquierda** (formación de $\mathrm{COBr_2}$) hasta que $Q_p = K_p$. (Con concentraciones: $Q_c = 0{,}50$ frente a $K_c = K_p/RT = 0{,}0898$; misma conclusión.) **b1)** i) La reacción directa es exotérmica: al subir la temperatura se desplaza en el sentido endotérmico, hacia la izquierda, y la cantidad de $\mathrm{Br_2}$ **disminuye**. ii) Al quitar CO (un producto), $Q < K$ y se desplaza hacia la derecha: el $\mathrm{Br_2}$ **aumenta**. **b2)** i) Falso: la entalpía de formación estándar solo es cero para los elementos en su estado estándar; el CO es un compuesto (Tema 8). ii) Falso: con los datos del enunciado la descomposición del $\mathrm{COBr_2}$ es exotérmica, así que la reacción inversa, $\mathrm{CO + Br_2 \longrightarrow COBr_2}$, es endotérmica y absorbe calor. Criterios oficiales: 0,6 por $Q_p > K_p$ y 0,4 por el sentido de la evolución.

Fuentes

1. Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato (Química, bloque B «Reacciones químicas», saber 3: Equilibrio químico)
2. PAU País Vasco 2026, ordinaria: examen de Química
3. PAU País Vasco 2026, ordinaria: solucionario y criterios
4. PAU Castilla-La Mancha 2026, ordinaria: examen de Química
5. PAU Castilla-La Mancha 2026, ordinaria: criterios de corrección
6. PAU Aragón 2026, ordinaria: examen y criterios de Química
7. PAU Cataluña 2026, ordinaria: examen de Química (versión en castellano)
8. PAU Cataluña 2026, ordinaria: pautas de corrección (en catalán)
9. PAU Asturias 2026, extraordinaria: examen de Química
10. PAU Asturias 2026, extraordinaria: examen resuelto y criterios
11. PAU Comunitat Valenciana 2026, extraordinaria: examen de Química
12. PAU Comunitat Valenciana 2026, extraordinaria: criterios de corrección
13. Orientacions per a l'examen de la matèria Química de les PAU-2027 (Generalitat de Catalunya / Consell Interuniversitari de Catalunya; 15-10-2026, modificadas el 12-11-2026)
14. Universidad de Oviedo: Acta de la reunión de coordinación PAU 2024-2025, materia Química (22-10-2024)
15. Universidad de Oviedo: Información sobre la PAU. Curso 2025/2026. Química (ficha de la materia)
16. Decret 43/2025, d'1 d'agost, currículum del batxillerat a les Illes Balears (BOIB núm. 103), matèria Química
17. Universidad de Murcia: Consejos para el examen de Química (PAU 2026)
18. Universidad de Murcia: Orientación sobre los contenidos del examen de Química (PAU 2027)
19. Comisión de Química de la Comunitat Valenciana: Matizaciones sobre el programa (2024-25 y posteriores)
20. Decreto 108/2022, de 5 de agosto, del Consell (DOGV núm. 9404), currículo de Bachillerato de la Comunitat Valenciana
21. Acta de la reunión de coordinación de Química de la UPM (3-dic-2025), PAU Madrid 2025-26
22. Junta de Castilla y León: Guías de calificación de la PAU 2027 (la de Química, 23-10-2026, igual que la de 2026)
23. Directrices y orientaciones generales PAU – Química (2026-27), Distrito Único Andaluz
24. NIST Chemistry WebBook (entalpías estándar de formación de NH_3, SO_2, SO_3, HCl, H_2O y CO gaseosos)
25. CRC Handbook of Chemistry and Physics, «Standard Thermodynamic Properties of Chemical Substances» (entalpía estándar de formación del metanol gaseoso)
26. Gobierno de Canarias: Acta conjunta de la 2.ª reunión de coordinación de Química para la PAU (20-03-2026) · curso 2025-26
27. Gobierno de Canarias: Acta conjunta de la 1.ª reunión de coordinación de Química para la PAU (30-09-2026)
28. IUPAC, Compendium of Chemical Terminology (Gold Book): equilibrium constant y standard equilibrium constant
29. R. H. Petrucci, F. G. Herring, J. D. Madura y C. Bissonnette, Química general, 11.ª ed., Pearson (capítulo de equilibrio químico)
30. P. Atkins y L. Jones, Principios de química, 5.ª ed., Editorial Médica Panamericana (equilibrio químico y procesos industriales)

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

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 15 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.