

6

Equilibri químic

PROJECTE
**SABER
FER**

 **SANTILLANA**
GRUP PROMOTOR

Equilibri químic

PER COMENÇAR (pàgina 195)

- La resposta és oberta, però s'ha d'esmentar Ilya Prigogine (Илья Романович Пригожин), que va rebre el premi Nobel de Química el 1977 per crear el concepte d'estructures dissipatives. Aquest concepte relaciona la química i la fletxa del temps.
- Determina la velocitat amb què transcorre una reacció, i concretament el temps que triga a arribar a l'equilibri. D'aquesta manera, coneguts els paràmetres inicials, es podria determinar el temps transcorregut des que va començar la reacció fins que va arribar a l'equilibri. També com les condicions ambientals (pressió, concentració, temperatura...) afavoreixen l'equilibri en un sentit o en un altre.

PRACTICA (pàgina 196)

1. Troba la massa molar de cada substància:

$$M(\text{CO}_2) = 12,01 + 16,00 \cdot 2 = 44,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{CO}) = 12,01 + 16,00 = 28,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Calcula el nombre de mols de CO i de CO₂ que hi ha en el recipient:

$$n_{\text{CO}_2} = 1 \text{ g de CO}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol de CO}_2}{44,01 \text{ g de CO}_2} = 0,0227 \text{ mol de CO}_2$$

$$n_{\text{CO}} = 4 \text{ g de CO} \cdot \frac{1 \text{ mol de CO}}{28,01 \text{ g de CO}} = 0,1428 \text{ mol de CO}$$

Suma la quantitat dels gasos per obtenir la quantitat de partícules total que hi ha en el recipient:

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} = 0,1655 \text{ mol}$$

Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla el volum i substitueix les dades en unitats del sistema internacional:

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0,1655 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (17 + 273) \text{ K}}{0,1 \text{ atm}} = 39,36 \text{ L} \approx \mathbf{39,4 \text{ L}}$$

Calcula les pressions parcials:

$$p_{\text{CO}_2} = \chi_{\text{CO}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,0227 \text{ mol de CO}_2}{0,1655 \text{ mol del total}} \cdot 0,1 \text{ atm} = 0,0137 \text{ atm de CO}_2$$

$$p_{\text{CO}} = \chi_{\text{CO}} \cdot p_T = \frac{n_{\text{CO}}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,1428 \text{ mol de CO}}{0,1655 \text{ mol del total}} \cdot 0,1 \text{ atm} = 0,0863 \text{ atm de CO}$$

Converteix els valors de pressió a mm de Hg:

$$p_{\text{CO}_2} = 0,0137 \text{ atm} \cdot \frac{760 \text{ mm de Hg}}{1 \text{ atm}} = \mathbf{10,4 \text{ mm de Hg}}$$

$$p_{\text{CO}} = 0,0863 \text{ atm} \cdot \frac{760 \text{ mm de Hg}}{1 \text{ atm}} = \mathbf{65,6 \text{ mm de Hg}}$$

ACTIVITAT (pàgina 201)
2.

a) Ordena les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$2 \text{ NO}(g) + 2 \text{ H}_2(g) \rightleftharpoons \text{N}_2(g) + 2 \text{ H}_2\text{O}(g)$			
Inicial	0,1	0,05	0	0,1
En reacció	$-2x$	$-2x$	x	$2x$
En equilibri	$0,1 - 2x$	$0,05 - 2x$	x	$0,1 + 2x$

La definició de concentració molar per a una substància A es defineix com:

$$[A] = \frac{n_A (\text{mol})}{V (\text{L})}$$

Conegut el volum de la dissolució 2 L, calcula en primer lloc la quantitat de mols de NO que hi ha en l'equilibri:

$$n_{\text{NO}} = [\text{NO}] \cdot V (\text{L}) = 0,031 \text{ mol} \cdot \cancel{\text{L}^{-1}} \cdot 2 \text{ L} = 0,062 \text{ mol de NO}$$

Iguala-ho amb la quantitat de NO en l'equilibri per aïllar x:

$$0,062 = 0,1 - 2x \Rightarrow x = \frac{0,1 - 0,062}{2} = 0,019 \text{ mol}$$

Conegut x, calcula la quantitat de molècules de la resta de les espècies en equilibri:

$$n_{\text{H}_2} = 0,05 - 2x = 0,05 - 2 \cdot 0,019 = 0,012 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2} = x = 0,019 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1 + 2x = 0,1 + 2 \cdot 0,019 = 0,138 \text{ mol}$$

Substitueix en l'expressió de la concentració molar i calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri:

$$[\text{H}_2] = \frac{n_{\text{H}_2}}{V (\text{L})} = \frac{0,012 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,006 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{N}_2] = \frac{n_{\text{N}_2}}{V (\text{L})} = \frac{0,019 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,0095 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{V (\text{L})} = \frac{0,138 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,069 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

 b) En l'expressió de K_C substitueix els valors de les concentracions i opera:

$$K_C = \frac{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{H}_2]^2} = \frac{(0,0095) \cdot (0,069)^2}{(0,031)^2 \cdot (0,006)^2} = 1.307,36 \approx \mathbf{1.307}$$

ACTIVITATS (pàgina 202)

3. Tenint en compte la definició de concentració molar per a una substància i suposant que el volum de la dissolució és d' 1 L, calcula la quantitat de mols de HI que hi ha inicialment:

$$[HI] = \frac{n_{HI} \text{ (mol)}}{V \text{ (L)}} \Rightarrow n_{HI} = [HI] \cdot V \text{ (L)} = 1 \text{ mol} \cdot 1 \text{ L} = 1 \text{ mol de HI}$$

Ordena les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	2 HI(g)	⇌	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)
Inicial	1		0		0
En reacció	-2x		x		x
En equilibri	1 - 2x		x		x

Com que s'assoleix l'equilibri amb $K_c = 0,02$, escriu l'expressió de la constant d'equilibri i substitueix les dades conegudes.

En aquest cas, en suposar que el volum de la dissolució és 1 L, les concentracions en l'equilibri coincideixen amb les quantitats en l'equilibri:

$$K_c = \frac{[H_2] \cdot [I_2]}{[HI]^2} = \frac{x \cdot x}{(1 - 2x)^2} = 0,02$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els possibles valors de x són: $x_1 = -0,197 \text{ mol}$ i $x_2 = 0,110 \text{ mol}$. Descarta el primer valor ja que no pot ser un valor negatiu, per això l'únic valor amb sentit és $x = 0,110 \text{ mol}$.

Calcula les concentracions de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[HI] = \frac{n_{HI}}{V} = \frac{(1 - 2x) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{(1 - 2 \cdot 0,110) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \mathbf{0,78 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[H_2] = \frac{n_{H_2}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{0,110 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \mathbf{0,11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[I_2] = \frac{n_{I_2}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{0,110 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \mathbf{0,11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

4. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	SbCl ₅ (g)	⇌	Cl ₂ (g)	+	SbCl ₃ (g)
Inicial	0,5		0		0
En reacció	-x		x		x
En equilibri	0,5 - x		x		x

Coneguda la quantitat de SbCl₅ en l'equilibri, substitueix i calcula el valor de x:

$$0,5 - x = 0,436 \Rightarrow x = 0,064 \text{ mol}$$

Calcula les concentracions de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[\text{SbCl}_5] = \frac{n_{\text{SbCl}_5}}{V} = \frac{0,436 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,218 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{Cl}_2] = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{0,064 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,032 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{SbCl}_3] = \frac{n_{\text{SbCl}_3}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{0,064 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,032 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Substitueix en l'expressió de K_c i opera per calcular la constant d'equilibri:

$$K_c = \frac{[\text{Cl}_2] \cdot [\text{SbCl}_3]}{[\text{SbCl}_5]} = \frac{0,032 \cdot 0,032}{0,218} = 4,697 \cdot 10^{-3}$$

b) Suma les quantitats de mols dels gasos per obtenir la quantitat total en el recipient:

$$n_T = n_{\text{SbCl}_5} + n_{\text{Cl}_2} + n_{\text{SbCl}_3} = 0,436 \text{ mol} + 0,064 \text{ mol} + 0,064 \text{ mol} = 0,564 \text{ mol}$$

Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la pressió, substitueix les dades i opera:

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,564 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (200 + 273) \text{ K}}{2 \text{ L}} = 10,94 \text{ atm}$$

5. Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$			
Inicial	1	1	1	0
En reacció	-x	-x	x	x
En equilibri	1-x	1-x	1+x	x
Concentració en equilibri (mol · L ⁻¹)	$\frac{1-x}{5}$	$\frac{1-x}{5}$	$\frac{1+x}{5}$	$\frac{x}{5}$

Calcula el valor de x a partir del valor de la constant d'equilibri K_c . ESCRIU l'expressió, substitueix les dades conegudes i simplifica:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{CO}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]} = \frac{\left(\frac{1+x}{5}\right) \cdot \left(\frac{x}{5}\right)}{\left(\frac{1-x}{5}\right) \cdot \left(\frac{1-x}{5}\right)} = \frac{x \cdot (1+x)}{(1-x)^2} = 4,41$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els possibles valors de x són: $x_1 = 0,5567 \text{ mol}$ i $x_2 = 2,323 \text{ mol}$. Descarta el segon valor ja que no pot ser un valor més gran que la quantitat inicial, per això l'únic valor amb sentit és $x = 0,5567 \text{ mol}$.

Calcula la quantitat de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$n_{\text{H}_2} = 1 - x = 1 - 0,5567 = \mathbf{0,443 \text{ mol de H}_2}$$

$$n_{\text{CO}_2} = 1 - x = 1 - 0,5567 = \mathbf{0,443 \text{ mol de CO}_2}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 1 + x = 1 + 0,5567 = \mathbf{1,557 \text{ mol de H}_2\text{O}}$$

$$n_{\text{CO}} = x = \mathbf{0,557 \text{ mol de CO}}$$

ACTIVITATS (pàgina 204)

- 6.** El grau de dissociació és el quocient entre la quantitat de reactiu que va reaccionar i la quantitat de reactiu inicial:

$$\alpha = \frac{x}{n_0} \Rightarrow x = n_0 \cdot \alpha$$

En l'equilibri tindrem:

Quantitat (mol)	$\text{N}_2 (g)$	+	$\text{O}_2 (g)$	\rightleftharpoons	$2 \text{NO} (g)$
Inicial	0,92		0,51		0
Reaccionen	$-0,92 \alpha$		$-0,92 \alpha$		$2 \cdot 0,92 \alpha$
En equilibri	$0,92 \cdot (1 - \alpha)$		$0,51 - 0,92 \alpha$		$2 \cdot 0,92 \alpha$
Molaritat en equilibri (mol/L)	$\frac{0,92 \cdot (1 - \alpha)}{5}$		$\frac{0,51 - 0,92 \alpha}{5}$		$\frac{2 \cdot 0,92 \alpha}{5}$

Tens la dada $\alpha = 0,0109$, respecte del nitrogen inicial. Substitueix el valor del grau de dissociació i després calcula la concentració de totes les espècies en l'equilibri:

$$[\text{N}_2] = \frac{0,92 \cdot (1 - \alpha) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{0,92 \cdot (1 - 0,0109) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,182 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{O}_2] = \frac{0,51 - 0,92 \alpha \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{0,51 - 0,92 \cdot 0,0109 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{NO}] = \frac{2 \cdot 0,92 \alpha \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{2 \cdot 0,92 \cdot 0,0109 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{4,01 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

Escriu l'expressió de la constant d'equilibri i substitueix els valors:

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]} = \frac{(4,01 \cdot 10^{-3})^2}{0,182 \cdot 0,10} = \mathbf{8,84 \cdot 10^{-4}}$$

- 7.** a) El grau de dissociació és el quocient entre la quantitat de reactiu que va reaccionar i la quantitat de reactiu inicial:

$$\alpha = \frac{x}{n_0} \Rightarrow x = n_0 \cdot \alpha$$

Ordena les quantitats de cada espècie en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{N}_2\text{O}_4 (g)$	\rightleftharpoons	$2 \text{NO}_2 (g)$
Inicial	0,1		0
En reacció	$-0,1 \alpha$		$2 \cdot 0,1 \alpha$
En equilibri	$0,1 \cdot (1 - \alpha)$		$2 \cdot 0,1 \alpha$

Aplica l'equació general dels gasos ideals:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la quantitat total de mols, substitueix les dades i opera:

$$n_T = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{3,18 \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (45 + 273) \text{ K}} = 0,122 \text{ mol}$$

La quantitat total de mols en l'equilibri serà la suma de les quantitats de totes les espècies:

$$n_T = n_{\text{N}_2\text{O}_4} + n_{\text{NO}_2} = 0,1 \cdot (1 - \alpha) + 0,2 \alpha = 0,1 \cdot (1 + \alpha) \text{ mol}$$

Aïlla el grau de dissociació i substitueix el valor de la quantitat total de molècules:

$$\alpha = \frac{n_T}{0,1} - 1 = \frac{0,122}{0,1} - 1 = \mathbf{0,220}$$

- b) A continuació, calcula les pressions parcials exercides per cada component. Per això, conegut el valor del grau de dissociació, calcula primer els mols que hi ha en l'equilibri de cada espècie:

$$n_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,1 \cdot (1 - \alpha) = 0,1 \cdot (1 - 0,220) = 0,078 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NO}_2} = 0,2 \alpha = 0,2 \cdot 0,220 = 0,044 \text{ mol}$$

Calcula les pressions parcials:

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \chi_{\text{N}_2\text{O}_4} \cdot p_T = \frac{n_{\text{N}_2\text{O}_4}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,078 \text{ mol}}{0,122 \text{ mol}} \cdot 3,18 \text{ atm} = \mathbf{2,034 \text{ atm}}$$

$$p_{\text{NO}_2} = \chi_{\text{NO}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{NO}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,044 \text{ mol}}{0,122 \text{ mol}} \cdot 3,18 \text{ atm} = \mathbf{1,146 \text{ atm}}$$

ACTIVITATS (pàgina 206)

8. Calcula el quocient de reacció en les condicions de l'enunciat:

$$Q_c = \frac{[\text{MX}_3] \cdot [\text{X}_2]}{[\text{MX}_5]} = \frac{0,40 \cdot 0,20}{0,04} = 2$$

Com que es compleix que $(Q_c = 2) > (K_c = 0,022)$, el sistema **no està en equilibri**. Com que hi ha més concentració de productes en l'equilibri, la reacció **evolucionarà cap a l'esquerra** per assolir-lo.

9. a) Calcula les concentracions de cada espècie:

$$[\text{A}]_{\text{inicial}} = \frac{n_A}{V(\text{L})} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{B}]_{\text{inicial}} = \frac{n_B}{V(\text{L})} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{C}]_{\text{inicial}} = \frac{n_C}{V(\text{L})} = \frac{0,2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{D}]_{\text{inicial}} = \frac{n_D}{V(\text{L})} = \frac{0,3 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Calcula el valor del quocient de reacció per comprovar si el sistema està en equilibri:

$$Q_c = \frac{[\text{C}]_{\text{inicial}} \cdot [\text{D}]_{\text{inicial}}}{[\text{A}]_{\text{inicial}} \cdot [\text{B}]_{\text{inicial}}} = \frac{0,1 \cdot 0,15}{0,5 \cdot 1} = 0,03 = 3 \cdot 10^{-2}$$

$Q_c \neq K_c$: llavors, la reacció **no està en equilibri**.

- b) ($Q_c = 0,03$) < ($K_c = 0,04$): en haver-hi menys concentració de productes que en l'equilibri, la reacció evolucionarà cap a la dreta per assolir-lo; és a dir, **cap als productes**.
- c) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	A	+	B	⇌	C	+	D
Inicial	1		2		0,2		0,3
En reacció	-x		-x		x		x
En equilibri	1-x		2-x		0,2+x		0,3+x
Concentració en equilibri (mol · L ⁻¹)	$\frac{1-x}{2}$		$\frac{2-x}{2}$		$\frac{0,2+x}{2}$		$\frac{0,3+x}{2}$

Escriu l'expressió de la constant d'equilibri i substitueix les expressions de les concentracions. Simplifica i substitueix el valor de la constant d'equilibri:

$$K_c = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]} = \frac{\left(\frac{0,2+x}{2}\right) \cdot \left(\frac{0,3+x}{2}\right)}{\left(\frac{1-x}{2}\right) \cdot \left(\frac{2-x}{2}\right)} = \frac{(0,2+x) \cdot (0,3+x)}{(1-x) \cdot (2-x)} = 4 \cdot 10^{-2}$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els possibles valors de x són: $x_1 = -0,6766$ mol i $x_2 = 0,0308$ mol. Descarta el primer valor ja que el resultat negatiu no té sentit. Llavors, $x = 0,0308$ mol.

Calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[A] = \frac{n_A}{V(L)} = \frac{(1-x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{(1-0,0308) \text{ mol de A}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,485 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[B] = \frac{n_B}{V(L)} = \frac{(2-x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{(2-0,0308) \text{ mol de B}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,985 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[C] = \frac{n_C}{V(L)} = \frac{(0,2+x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{(0,2+0,0308) \text{ mol de C}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,115 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[D] = \frac{n_D}{V(L)} = \frac{(0,3+x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{(0,3+0,0308) \text{ mol de D}}{2 \text{ L}} = \mathbf{0,165 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

ACTIVITATS (pàgina 209)

- 10.** a) Ordena les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	CO ₂ (g)	+	H ₂ S(g)	⇌	COS(g)	+	H ₂ O(g)
Inicial	0,1		y		0		0
En reacció	-x		-x		x		x
En equilibri	0,1-x		y-x		x		x

En l'enunciat diuen que en l'equilibri hi ha 0,01 mol d'aigua, per tant, $x = 0,01$ mol.

Aplica l'equació general dels gasos ideals per calcular el nombre total de mols en l'equilibri:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la quantitat de molècules, substitueix els valors i opera:

$$n_T = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{10 \text{ atm} \cdot 2,5 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (337 + 273) \text{ K}} = 0,5 \text{ mol}$$

La quantitat total de mols en l'equilibri serà la suma de totes les espècies:

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{S}} + n_{\text{COS}} + n_{\text{H}_2\text{O}} = (0,1 - x) + (y - x) + x + x = (0,1 + y) \text{ mol} = 0,5 \text{ mol}$$

Aïlla i resol:

$$y = 0,5 - 0,1 = 0,4 \text{ mol}$$

Coneguts els valors de x i y, calcula les quantitats de totes les espècies en l'equilibri:

$$n_{\text{CO}_2} = 0,1 - x = 0,1 - 0,01 = \mathbf{0,09 \text{ mol}}$$

$$n_{\text{H}_2\text{S}} = y - x = 0,4 - 0,01 \text{ mol} = \mathbf{0,39 \text{ mol}}$$

$$n_{\text{COS}} = x = \mathbf{0,01 \text{ mol}}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = x = \mathbf{0,01 \text{ mol}}$$

b) Per calcular κ_p primer troba la pressió parcial de cada una de les espècies en l'equilibri:

$$p_{\text{CO}_2} = \chi_{\text{CO}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,09 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} \cdot 10 \text{ atm} = 1,8 \text{ atm}$$

$$p_{\text{H}_2\text{S}} = \chi_{\text{H}_2\text{S}} \cdot p_T = \frac{n_{\text{H}_2\text{S}}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,39 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} \cdot 10 \text{ atm} = 7,8 \text{ atm}$$

$$p_{\text{COS}} = \chi_{\text{COS}} \cdot p_T = \frac{n_{\text{COS}}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,01 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} \cdot 10 \text{ atm} = 0,2 \text{ atm}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \chi_{\text{H}_2\text{O}} \cdot p_T = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,01 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} \cdot 10 \text{ atm} = 0,2 \text{ atm}$$

Substitueix en l'expressió de κ_p i opera:

$$K_p = \frac{p_{\text{COS}} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}_2} \cdot p_{\text{H}_2\text{S}}} = \frac{0,2^2}{1,8 \cdot 7,8} = \mathbf{2,85 \cdot 10^{-3}}$$

11.

a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)	⇌	2 HI (g)
Inicial	0,5		0,5		0
Reaccionen	-x		-x		2x
En equilibri	0,5 - x		0,5 - x		2x

Com que s'assoleix l'equilibri amb $K_c = 54,3$ escriurem l'expressió de la constant d'equilibri i substituïrem les dades conegudes. En aquest cas, com que el volum de la dissolució és 1 L, les concentracions en l'equilibri coincideixen amb les quantitats en l'equilibri:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{n_{\text{HI}}}{V}\right)^2}{\frac{n_{\text{H}_2}}{V} \cdot \frac{n_{\text{I}_2}}{V}} = \frac{n_{\text{HI}}^2}{n_{\text{H}_2} \cdot n_{\text{I}_2}} = \frac{(2x)^2}{(0,5-x)^2} = 54,3$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Tens que els possibles valors de x són: $x_1 = 0,3933 \text{ mol}$ i $x_2 = 0,6863 \text{ mol}$.

Descarta el segon valor ja que la quantitat que reacciona no pot ser més gran que la inicial. Per tant, $x = 0,3933 \text{ mol}$.

Calcula les concentracions de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x :

$$[\text{H}_2] = \frac{n_{\text{H}_2}}{V} = \frac{(0,5-x) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{(0,5-0,3933) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,1067 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx \mathbf{0,11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{I}_2] = \frac{n_{\text{I}_2}}{V} = \frac{(0,5-x) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{(0,5-0,3933) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,1067 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx \mathbf{0,11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{HI}] = \frac{n_{\text{HI}}}{V} = \frac{2x \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{2 \cdot 0,3933 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,7866 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx \mathbf{0,79 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

- b) Conegut el valor de x , calcula la quantitat de mols en l'equilibri com la suma de les quantitats de mols de totes les espècies:

$$n_T = n_{\text{H}_2} + n_{\text{I}_2} + n_{\text{HI}} = (0,5-x) + (0,5-x) + 2x = 2 \cdot (0,5-0,3933+0,3933) = 1 \text{ mol}$$

Per calcular la pressió total en l'equilibri, apliquem l'equació general dels gasos ideals:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la pressió, substitueix els valors i opera:

$$p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (430+273) \text{ K}}{1 \text{ L}} = 57,646 \text{ atm}$$

Amb les dades obtingudes, calcula la pressió parcial de totes les espècies en l'equilibri:

$$p_{\text{H}_2} = \chi_{\text{H}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,11 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \cdot 57,646 \text{ atm} = 6,34 \text{ atm}$$

$$p_{\text{I}_2} = \chi_{\text{I}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{I}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,11 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \cdot 57,646 \text{ atm} = 6,34 \text{ atm}$$

$$p_{\text{HI}} = \chi_{\text{HI}} \cdot p_T = \frac{n_{\text{HI}}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,79 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \cdot 57,646 \text{ atm} = 45,54 \text{ atm}$$

Per acabar, substitueix en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{p_{\text{HI}}^2}{p_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{I}_2}} = \frac{45,54^2}{6,34 \cdot 6,34} = \mathbf{51,60}$$

ACTIVITATS (pàgina 210)

12.

- a) Troba la massa molar:

$$M(\text{I}_2) = 126,9 \cdot 2 = 253,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Calcula el nombre de mols de I_2 que hi ha en el recipient:

$$n_{\text{I}_2} = 2,538 \text{ g de } \text{I}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol de } \text{I}_2}{253,8 \text{ g de } \text{I}_2} = 0,01 \text{ mol de } \text{I}_2$$

Atès que el grau de dissociació és igual al quocient entre la quantitat de reactiu que ha reaccionat i la quantitat de reactiu inicial:

$$\alpha = \frac{x}{n_0} \Rightarrow x = n_0 \cdot \alpha$$

En l'equilibri tindràs:

Quantitat (mol)	$I_2(g)$	\rightleftharpoons	$2I(g)$
Inicial	0,01		0
En reacció	$-0,01 \alpha$		$2 \cdot 0,01 \alpha$
En equilibri	$0,01 \cdot (1 - \alpha)$		$2 \cdot 0,01 \alpha$

Aplica l'equació general dels gasos ideals:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la quantitat total de mols en estat gasós, substitueix les dades i opera:

$$n_T = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,3 \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (1.200 + 273) \text{ K}} = 0,011 \text{ mol}$$

La quantitat de partícules gasoses en l'equilibri és la suma de les partícules de totes dues espècies en l'equilibri:

$$n_T = n_{I_2} + n_I = 0,01 \cdot (1 - \alpha) + 0,02 \cdot \alpha = 0,01 + 0,01 \cdot \alpha = [0,01 \cdot (1 + \alpha)] \text{ mol}$$

Aïlla el grau de dissociació i substitueix el valor del nombre total de mols:

$$\alpha = \frac{n_T}{0,01} - 1 = \frac{0,011}{0,01} - 1 = \mathbf{0,104}$$

- b) A continuació, calcula les pressions parcials exercides per cada gas en la mescla. Per fer-ho, conegut el valor del grau de dissociació, calcula primer la quantitat de mols de cada espècie en l'equilibri:

$$n_{I_2} = 0,01 \cdot (1 - \alpha) = 0,01 \cdot (1 - 0,104) = 8,96 \cdot 10^{-3} \text{ mol de } I_2(g)$$

$$n_I = 0,02 \cdot \alpha = 0,02 \cdot 0,104 = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol de } I(g)$$

Calcula les pressions parcials:

$$p_{I_2} = \chi_{I_2} \cdot p_T = \frac{n_{I_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{8,96 \cdot 10^{-3} \text{ mol de } I_2}{0,011 \text{ mol total}} \cdot 1,3 \text{ atm} = 1,082 \text{ atm}$$

$$p_I = \chi_I \cdot p_T = \frac{n_I}{n_T} \cdot p_T = \frac{2,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol de } I}{0,011 \text{ mol total}} \cdot 1,3 \text{ atm} = 0,251 \text{ atm}$$

Substitueix en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{p_I^2}{p_{I_2}} = \frac{(0,251)^2}{1,082} = \mathbf{0,058}$$

Calcula K_c . En aquest cas, com que el volum de la dissolució és 1 L, els valors de les concentracions en l'equilibri coincideixen amb les quantitats de mols en l'equilibri:

$$K_c = \frac{[I]^2}{[L_2]} = \frac{\left(\frac{n_1}{V}\right)^2}{\frac{n_2}{V}} = \frac{\left(\frac{2,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{1 \text{ L}}\right)^2}{\frac{8,96 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{1 \text{ L}}} = 4,82 \cdot 10^{-4}$$

13. Estableix les condicions inicials i en l'equilibri tindràs:

Quantitat (mol)	$N_2O_4 (g)$	\rightleftharpoons	$2 NO_2 (g)$
Inicial	0,375		0
Reaccionen	-x		$2 \cdot x$
En equilibri	$0,375 - x$		$2 \cdot x$

Aplica l'equació general dels gasos ideals per calcular la quantitat de mols gasosos en l'equilibri:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la quantitat total de mols, substitueix les dades i opera:

$$n_T = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{3,3 \text{ atm} \cdot 5 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (50 + 273) \text{ K}} = 0,629 \text{ mol}$$

El nombre total de mols en l'equilibri és la suma de la quantitat de partícules gasoses de totes les espècies en l'equilibri:

$$n_T = n_{N_2O_4} + n_{NO_2} = (0,375 - x) + (2 \cdot x) = 0,629 \text{ mol}$$

Resolent en x:

$$0,375 + x = 0,629 \Rightarrow x = 0,629 - 0,375 = 0,254 \text{ mol}$$

Conegut x, calcula la quantitat de molècules de cada espècie en l'equilibri:

$$n_{N_2O_4} = 0,375 - x = 0,375 - 0,254 = 0,121 \text{ mol}$$

$$n_{NO_2} = 2 \cdot x = 2 \cdot 0,254 = 0,508 \text{ mol}$$

Troba la pressió parcial de cada espècie en l'equilibri:

$$p_{N_2O_4} = \chi_{N_2O_4} \cdot p_T = \frac{n_{N_2O_4}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,121 \text{ mol de } N_2O_4}{0,629 \text{ mol total}} \cdot 3,3 \text{ atm} = 0,640 \text{ atm}$$

$$p_{NO_2} = \chi_{NO_2} \cdot p_T = \frac{n_{NO_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,508 \text{ mol de } NO_2}{0,629 \text{ mol total}} \cdot 3,3 \text{ atm} = 2,694 \text{ atm}$$

ACTIVITAT (pàgina 213)

14. L'equació de Van't Hoff és:

$$\ln \frac{K_p(T_2)}{K_p(T_1)} = \frac{\Delta H^0}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Si $T_1 < T_2$, en ser temperatures sempre per damunt del zero absolut, es compleix que $\frac{1}{T_1} > \frac{1}{T_2}$; i $\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} > 0$.

- En una reacció exotèrmica es compleix que $\Delta H^0 < 0$. Per això, en multiplicar per la diferència dels inversos de les temperatures absolutes, tenim que:

$$\ln \frac{K_p(T_2)}{K_p(T_1)} < 0 \Rightarrow \frac{K_p(T_2)}{K_p(T_1)} < 1 \Rightarrow K_p(T_2) < K_p(T_1)$$

En una reacció exotèrmica **la constant d'equilibri decreix** si augmenta la temperatura.

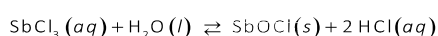
- En una reacció endotèrmica es compleix que $\Delta H^0 > 0$. Per això en multiplicar per la diferència dels inversos de les temperatures absolutes tenim que:

$$\ln \frac{K_p(T_2)}{K_p(T_1)} > 0 \Rightarrow \frac{K_p(T_2)}{K_p(T_1)} > 1 \Rightarrow K_p(T_2) > K_p(T_1)$$

En una reacció endotèrmica **la constant d'equilibri creix** si augmenta la temperatura.

ACTIVITATS (pàgina 214)

- 15.** Escriu la reacció ajustada:



- a) Des del punt de vista del principi de Le Châtelier, si augmentem la concentració d'una de les espècies, el sistema contrarestarà aquesta modificació, i afavorirà la reacció en què es consumeixi aquesta espècie. Per tant, un augment en la quantitat de HCl, en ser un producte, afavorirà el desplaçament de l'equilibri cap a la formació dels reactius, és a dir, el sistema evolucionarà de dreta a esquerra.

Això **fa que disminueixi la quantitat de SbOCl**.

- b) Un augment en la quantitat de SbCl_3 , en ser un reactiu, desplaçarà l'equilibri cap a la dreta, cap a la formació dels productes.

Això **fa que augmenti la quantitat de SbOCl**.

- c) En ser un equilibri heterogeni en què tenim un líquid, un sòlid i dos compostos dissolts només tindrem en compte per calcular la constant d'equilibri la concentració dels elements dissolts, ja que els sòlids i els líquids amb prou feines varien. Per tant, escrivim K_c :

$$K_c = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{SbCl}_3]}$$

- 16.** a) Calcula K_c en el primer equilibri:

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{0,4}{0,2 \cdot 0,1} = 20$$

Estableix les quantitats en el nou equilibri.

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_3(g)$	+	$\text{Cl}_2(g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_5(g)$
Inicial	0,2		0,1		0,4
Afegit			0,1		
Suma	0,2		0,2		0,4
Reaccionen	-x		-x		+x
En equilibri	0,2 - x		0,2 - x		0,4 + x

Substitueix els nous valors en l'expressió de K_c si sabem que el volum és 1 L i la concentració es pot substituir per la quantitat.

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{\frac{0,4+x}{1\text{ L}}}{\frac{0,2-x}{1\text{ L}} \cdot \frac{0,2-x}{1\text{ L}}} = \frac{0,4+x}{(0,2-x)^2} = 20$$

Resol l'equació de segon grau en x . Els possibles valors de x són: $x_1 = 0,4 \text{ mol}$ i $x_2 = 0,05 \text{ mol}$. Descarta el primer valor ja que no té sentit que el nombre de mols que reaccionen sigui més gran que el nombre de mols inicials. Per tant, $x = 0,05 \text{ mol}$.

Calcula les concentracions de PCl_5 substituint el valor de x :

$$[\text{PCl}_5] = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{V} = \frac{(0,4+x) \text{ mol}}{1\text{ L}} = \frac{(0,4+0,05) \text{ mol}}{1\text{ L}} = \mathbf{0,45 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

- b) Si es produeix una variació de pressió en el sistema en equilibri, segons el principi de Le Châtelier, el sistema respon assolint un nou equilibri que contraresta parcialment l'efecte de la variació de pressió. Amb menys nombre de mols hi haurà menys pressió. Per això, si augmentem la pressió, l'equilibri es desplaçarà cap a la dreta de reactius a productes.

ACTIVITAT (pàgina 215)

17.

- a) En tractar-se d'un equilibri heterogeni, no cal tenir en compte el HgO ni el Hg , que es troben en estat sòlid, per a l'expressió de K_c i K_p . Segons l'estequiometria de la reacció, en l'equilibri, es compleix:

$$K_c = [\text{O}_2] = \frac{n_{\text{O}_2}}{V} \quad \text{i} \quad K_p = p_{\text{O}_2} = p_{\text{Total}} = \mathbf{0,51 \text{ atm}}$$

Com que l'únic element en estat gasós que intervé en la reacció és l'oxigen, s'aplica l'equació general dels gasos ideals per calcular la concentració de O_2 en l'equilibri:

$$p \cdot V = n_{\text{O}_2} \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n_{\text{O}_2}}{V} \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{n_{\text{O}_2}}{V} = \frac{p}{R \cdot T}$$

Substitueix les dades i opera:

$$K_c = \frac{n_{\text{O}_2}}{V} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{0,51 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot (420 + 273) \text{ K}} = \mathbf{8,97 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

- b) Estableix les condicions inicials i en l'equilibri tindràs:

Quantitat (mol)	2 HgO (s)	\rightleftharpoons	2 Hg (s)	+	O ₂ (g)
Inicial	y		0		0
En reacció	-2x		+2x		+x
En equilibri	y-2x		2x		x

La massa de HgO que s'ha descompost és la massa que reacciona. Seguint l'estequiometria de la reacció, si s'han format $x \text{ mol}$ d'oxigen és perquè s'han descompost $2x \text{ mol}$ de HgO .

Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals per calcular la quantitat d'oxigen gasós, x , que s'ha format en un matràs de 5 L.

$$p \cdot V = n_{\text{O}_2} \cdot R \cdot T \Rightarrow n_{\text{O}_2} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

Substitueix les dades i opera:

$$x = n_{O_2} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0,51 \text{ atm} \cdot 5 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (420 + 273) \text{ K}} = 0,04487 \text{ mol}$$

Per tant, han reaccionat $n_{\text{HgO}} = 2 \cdot x = 2 \cdot 0,04487 \text{ mol} = 0,0897 \text{ mol}$ de HgO .

Calcula la massa (en grams) emprant la massa molar de HgO:

$$M(\text{HgO}) = 200,6 + 16,00 = 216,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$m_{\text{HgO}} = n_{\text{HgO}} \cdot M(\text{HgO}) = 0,0897 \text{ mol de HgO} \cdot \frac{216,6 \text{ g de HgO}}{1 \text{ mol de HgO}} = \mathbf{19,44 \text{ g de HgO}}$$

ACTIVITATS (pàgina 219)

18. Escriu la reacció de la dissolució aquosa ajustada:

	CaF ₂	⇌	Ca ²⁺	+	2 F ⁻
Quantitat de substància (mol)			s		2 s

La solubilitat de l'ió F⁻ és el doble que la de l'ió Ca²⁺; per tant, el producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{F}^{-}]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3$$

Conegut el valor del producte de solubilitat, aïlla, substitueix les dades i calcula la solubilitat:

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{ps}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{3,9 \cdot 10^{-11}}{4}} = \mathbf{2,14 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

19. En primer lloc expressa la solubilitat en unitats de molaritat mol · L⁻¹, emprant per fer-ho la massa molar del CaCO₃:

$$M(\text{CaCO}_3) = 40,08 + 12,00 + 16,00 \cdot 3 = 100,08 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$s = 7,08 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{100,08 \text{ g}} = 7,074 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Segons l'estequiometria de la reacció:

	CaCO ₃	⇌	Ca ²⁺	+	CO ₃ ²⁻
Quantitat de substància (mol)			s		s

Calcula el valor de la constant del producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = s \cdot s = s^2$$

Substitueix el valor de solubilitat:

$$K_{ps} = s^2 = (7,074 \cdot 10^{-5})^2 = \mathbf{5,00 \cdot 10^{-9}}$$

20. Escriu els volums en litres:

$$V_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 80 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ mL}}{1 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ L}}{1.000 \text{ mL}} = 0,08 \text{ L}; \quad V_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} = 120 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ mL}}{1 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ L}}{1.000 \text{ mL}} = 0,12 \text{ L}$$

Calcula les quantitats que intervien de cada espècie:

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4] = \frac{n_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{V_{\text{Na}_2\text{SO}_4}} \Rightarrow n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = [\text{Na}_2\text{SO}_4] \cdot V_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,08 \text{ L} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4$$

$$[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] = \frac{n_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2}}{V_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2}} \Rightarrow n_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} = [\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] \cdot V_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,12 \text{ L} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2$$

El sulfat de sodi és soluble i aporta els ions sulfat. El nitrat de bari també és soluble i aporta els ions bari:

$$n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4 \Rightarrow \begin{cases} n_{\text{Na}^+} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4 \cdot \frac{2 \text{ mol de Na}^+}{1 \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4} = 16 \cdot 10^{-4} \text{ mol de Na}^+ \\ n_{\text{SO}_4^{2-}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4 \cdot \frac{1 \text{ mol de SO}_4^{2-}}{1 \text{ mol de Na}_2\text{SO}_4} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de SO}_4^{2-} \end{cases}$$

$$n_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2 \Rightarrow \begin{cases} n_{\text{Ba}^{2+}} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2 \cdot \frac{1 \text{ mol de Ba}^{2+}}{1 \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}^{2+} \\ n_{\text{NO}_3^-} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2 \cdot \frac{2 \text{ mol de NO}_3^-}{1 \text{ mol de Ba}(\text{NO}_3)_2} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol de NO}_3^- \end{cases}$$

Segons l'estequiometria de la reacció, en l'equilibri:

	BaSO ₄	↔	Ba ²⁺	+	SO ₄ ²⁻
Quantitat de substància (mol)			2,4 · 10 ⁻³		8 · 10 ⁻⁴

Suposant els volums additius, calcula la concentració de cada ió:

$$[\text{Ba}^{2+}] = \frac{n_{\text{Ba}^{2+}}}{V} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de Ba}^{2+}}{(0,12 + 0,08) \text{ L}} = 0,012 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{n_{\text{SO}_4^{2-}}}{V} = \frac{8 \cdot 10^{-4} \text{ mol de SO}_4^{2-}}{(0,12 + 0,08) \text{ L}} = 0,004 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Per saber si es produeix precipitat de BaSO₄ en mesclar dues dissolucions que contenen els seus ions, calcula el producte iònic i compara amb el K_{ps}.

$$Q = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 0,012 \cdot 0,004 = 4,8 \cdot 10^{-5}$$

Q és molt més gran que K_{ps}. Es tracta d'una dissolució sobresaturada i l'excés de sal precipitarà fins que Q = K_{ps}.

És la condició necessària perquè una sal precipiti.

ACTIVITATS (pàgina 220)

21. Segons l'estequiometria de la reacció:

	PbI_2	\rightleftharpoons	Pb^{2+}	+	$2 I^-$
Quantitat de substància (mol)			s		$2s$

Calcula el valor de la constant del producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3$$

Conegut el valor del producte de solubilitat, aïlla, substitueix les dades i calcula la solubilitat:

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{ps}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,4 \cdot 10^{-8}}{4}} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

22. Si afegim a l'equilibri CaI_2 , sal soluble en aigua, la concentració de I^- augmenta i, per tant, $Q > K_{ps}$. El sistema es desplaça cap a l'esquerra para restablir l'equilibri, disminuint la solubilitat del compost. És el que s'anomena *efecte del ió comú*.

ACTIVITAT (pàgina 222)

- 23.** a) **Falsa.** Si en augmentar la temperatura, augmenta el producte de solubilitat, és perquè la reacció s'està desplaçant a la formació de reactius; és a dir, a la dreta. I si una reacció es desplaça a la dreta quan augmenta la temperatura, la reacció és endotèrmica, ja que es desplaça en el sentit en què es consumeix calor i contraresta l'augment de temperatura.
- b) **Falsa.** Segons l'estequiometria de la reacció:

	$Cd(OH)_2$	\rightleftharpoons	Cd^{2+}	+	$2 OH^-$
Quantitat de substància (mol)			s		$2s$

Calcula el valor de la constant del producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [Cd^{2+}] \cdot [OH^-]^2 = s \cdot (2s)^2 = 4s^3$$

Substitueix el valor de solubilitat:

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{ps}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{7,2 \cdot 10^{-15}}{4}} = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

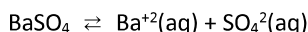
Expressa la solubilitat en unitats de $g \cdot L^{-1}$, utilitzant per fer-ho la massa molar del $Cd(OH)_2$:

$$M(Cd(OH)_2) = 112,4 + (16,00 + 1,008) \cdot 2 = 146,416 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

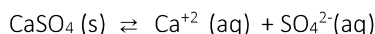
$$s = \frac{1,22 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{L} \cdot \frac{146,416 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \neq 1,24 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

- c) **Certa.** Si disminueix el pH, augmenta la concentració de H_3O^+ , el que provoca que els ions OH^- reaccionin neutralitzant i formin aigua. L'efecte final serà la disminució de la concentració d'ions OH^- . Així, $Q < K_{ps}$ i, per tant, es produirà un desplaçament cap a la dreta, amb la qual cosa augmentarà la solubilitat del $Cd(OH)_2$.

24. a) Per saber quina sal precipita primer convé saber la concentració de ions sulfat que necessiten per precipitar cada una de les dues sals.



$$K_{ps} = [\text{SO}_4^{2-}] [\text{Ba}^{+2}] \text{ per tant } [\text{SO}_4^{2-}] = \frac{K_{ps}}{[\text{Ba}^{+2}]} = \frac{1,08 \cdot 10^{-10}}{0,1} = 1,08 \cdot 10^{-9} \text{ M}$$



$$K_{ps} = [\text{SO}_4^{2-}] [\text{Ca}^{+2}] \text{ per tant } [\text{SO}_4^{2-}] = \frac{K_{ps}}{[\text{Ca}^{+2}]} = \frac{4,93 \cdot 10^{-5}}{0,1} = 4,93 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

Precipitarà primer el BaSO₄, ja que la concentració de sulfat que necessita és menor.

- b) Quan comença a precipitar el CaSO₄, la concentració de ions sulfat al medi ha de ser de 4,93 · 10⁻⁴ M, per tant hem de calcular la concentració de ions bari que hi ha en aquell moment en el medi.

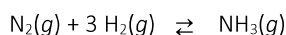
$$K_{ps} = [\text{SO}_4^{2-}] [\text{Ba}^{+2}] \text{ per tant } [\text{Ba}^{+2}] = \frac{1,08 \cdot 10^{-10}}{4,93 \cdot 10^{-4}} = 2,19 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

25. Mirant les taules de solubilitats, veurem que en afegir NaCl es forma PbCl₂, precipitat de color blanc. Quan filtrem, queden en dissolució els ions bari i ferro (II). El sulfur reacciona amb els ions ferro (II) formant FeS. Finalment el Ba⁺² forma una sal insoluble amb els ions sulfat, i per tant precipita el BaSO₄.

ACTIVITAT (pàgina 228)

26. a) En tractar-se d'una reacció on disminueixen els mols gasosos, un augment de pressió afavorirà el desplaçament cap a la formació d'amoníac. Una disminució de volum provocarà un augment de concentració i també desplaçarà l'equilibri cap a on hi hagi menys mols gasosos; és a dir, cap a la formació d'amoníac. Una disminució de temperatura afavoreix el sentit en què la reacció és exotèrmica. La reacció és exotèrmica. per la qual cosa en disminuir la temperatura s'afavoreix la síntesi de l'amoníac.
- b) A inicis de segle xx, la font natural de compostos nitrogenats era el NaNO₃, que resulta de la transformació d'excrements d'aus marines. Aquesta font no era suficient per mantenir el consum anual de compostos nitrogenats. Per produir a gran escala aquest tipus de compostos calia trobar una altra font de nitrogen.

Aquesta molècula és el component majoritari de l'aire que ens envolta, però és molt estable (conté un enllaç triple) i molt difícil de trencar. Això representa una dificultat inicial per formar qualsevol compost nitrogenat. Aquest problema el va resoldre el 1990 el químic alemany Fritz Haber amb la síntesi industrial de l'amoníac, molècula precursora de la resta de compostos nitrogenats:



Aquest procés va ser perfeccionat industrialment en anys següents pel també alemany Carl Bosch. Per això aquesta reacció és coneguda com a *síntesi de Haber-Bosch*.

ACTIVITATS FINALS (pàgina 235)

Expressions de les constants d'equilibri K_c i K_p. Relació entre totes dues

27. Calcula el quocient de reacció en les condicions de l'enunciat:

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3} = \frac{\left(\frac{1 \text{ mol de NH}_3}{2 \text{ L}}\right)^2}{\left(\frac{1 \text{ mol de N}_2}{2 \text{ L}}\right) \cdot \left(\frac{3 \text{ mol de H}_2}{2 \text{ L}}\right)^3} = 0,148$$

(Q_c = 0,148) < (K_c = 0,9): el sistema no està en equilibri. En haver-hi menys concentració de productes que en l'equilibri, **la reacció evolucionarà cap a la dreta** per augmentar la concentració de productes i així assolir l'equilibri.

28. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{CO}(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{CO}_2(g)$			
Inicial	10	5	0	0
En reacció	-x	-x	x	x
En equilibri	10-x	5-x	x	x
Concentració en equilibri ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\frac{10-x}{125}$	$\frac{5-x}{125}$	$\frac{x}{125}$	$\frac{x}{125}$

Escriu l'expressió de la constant d'equilibri, ordena-la i substitueix els valors:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = \frac{\left(\frac{x}{125}\right) \cdot \left(\frac{x}{125}\right)}{\left(\frac{10-x}{125}\right) \cdot \left(\frac{5-x}{125}\right)} = \frac{x^2}{(10-x) \cdot (5-x)} = 8,25$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els possibles valors de x són: $x_1 = -12,527 \text{ mol}$ i $x_2 = 4,542 \text{ mol}$. Descarta el primer valor ja que no poden reaccionar un valor negatiu de mols. Per tant, $x = 4,542 \text{ mol}$.

Calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[\text{CO}] = \frac{n_{\text{CO}}}{V(\text{L})} = \frac{(10-x) \text{ mol}}{125 \text{ L}} = \frac{(10-4,542) \text{ mol}}{125 \text{ L}} = 4,37 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{V(\text{L})} = \frac{(5-x) \text{ mol}}{125 \text{ L}} = \frac{(5-4,542) \text{ mol}}{125 \text{ L}} = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{H}_2] = \frac{n_{\text{H}_2}}{V(\text{L})} = \frac{x \text{ mol}}{125 \text{ L}} = \frac{4,542 \text{ mol}}{125 \text{ L}} = 3,63 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{n_{\text{CO}_2}}{V(\text{L})} = \frac{x \text{ mol}}{125 \text{ L}} = \frac{4,542 \text{ mol}}{125 \text{ L}} = 3,63 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

b) Conegut el valor de x, calcula la quantitat total de partícules com la suma de les quantitats que intervenen de cada espècie en l'equilibri:

$$n_T = n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2} + n_{\text{CO}_2} = (10-x) + (5-x) + x + x = 15 \text{ mol}$$

Aplica l'equació general dels gasos ideals per calcular la pressió total de la mescla:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la pressió, substitueix les dades conegudes i opera:

$$p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{15 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (900 + 273) \text{ K}}{125 \text{ L}} = 11,54 \text{ atm}$$

29. Calcula els mols que hi ha de cada substància a partir de la massa molar:

$$M(\text{PCl}_5) = 30,97 + 5 \cdot 35,45 = 208,22 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{PCl}_3) = 30,97 + 3 \cdot 35,45 = 137,32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$n_{\text{PCl}_5} = 1,5 \text{ g de PCl}_5 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{208,22 \text{ g de PCl}_5} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol de PCl}_5$$

$$n_{\text{PCl}_3} = 15 \text{ g de PCl}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{137,32 \text{ g de PCl}_3} = 0,109 \text{ mol de PCl}_3$$

Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_5 (g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3 (g)$	+	$\text{Cl}_2 (g)$
Inicial	$7,2 \cdot 10^{-3}$		0,109		0
En reacció	-x		x		x
En equilibri	$7,2 \cdot 10^{-3} - x$		$0,109 + x$		x
Concentració en equilibri ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\frac{7,2 \cdot 10^{-3} - x}{0,03}$		$\frac{0,109 + x}{0,03}$		$\frac{x}{0,03}$

Escriu l'expressió de la constant d'equilibri i substitueix els valors:

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\left(\frac{0,109 + x}{0,03}\right) \cdot \left(\frac{x}{0,03}\right)}{\frac{7,2 \cdot 10^{-3} - x}{0,03}} = \frac{x \cdot (0,109 + x)}{7,2 \cdot 10^{-3} - x} = 33,3$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els possibles valors de x són: $x_1 = -1,11$ i $x_2 = 0,00645$. Descarta el primer valor ja que no poden reaccionar un valor negatiu de mols. Per tant, $x = 0,00645 \text{ mol}$.

Calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[\text{PCl}_5] = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{V} = \frac{(7,2 \cdot 10^{-3} - x) \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \frac{(7,2 \cdot 10^{-3} - 6,45 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \mathbf{0,025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{PCl}_3] = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{V} = \frac{(0,109 + x) \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \frac{(0,109 + 6,45 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \mathbf{3,85 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

$$[\text{Cl}_2] = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \frac{6,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,03 \text{ L}} = \mathbf{0,215 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

30. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	A (g)	+	B (g)	\rightleftharpoons	2 C (g)
Inicial	2		2		0
En reacció	-x		-x		2x
En equilibri	$2 - x$		$2 - x$		2x
Concentració en equilibri ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\frac{2 - x}{2,4}$		$\frac{2 - x}{2,4}$		$\frac{2x}{2,4}$

Calcula la quantitat total de partícules sumant el nombre de mols de cada espècie que intervenen en l'equilibri:

$$n_T = n_A + n_B + n_C = (2 - x) + (2 - x) + 2x = 4 \text{ mol}$$

Dedueix el valor de x a partir del valor de la fracció molar de C en l'equilibri.

$$\chi_c = \frac{n_c}{n_T} = \frac{2x}{4} = 0,6 \Rightarrow x = 1,2 \text{ mol}$$

Conegut el valor de x, substitueix i calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri:

$$[A] = \frac{n_A}{V} = \frac{(2-x) \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \frac{(2-1,2) \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \widehat{0,3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[B] = \frac{n_B}{V} = \frac{(2-x) \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \frac{(2-1,2) \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \widehat{0,3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[C] = \frac{n_C}{V} = \frac{2x \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \frac{2 \cdot 1,2 \text{ mol}}{2,4 \text{ L}} = \mathbf{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

b) Calcula el valor de la constant d'equilibri, K_c , substituint els valors que has trobat en l'apartat anterior:

$$K_c = \frac{[C]^2}{[A] \cdot [B]} = \frac{1^2}{(0,3) \cdot (0,3)} = \mathbf{9}$$

Utilitza la relació entre K_c i K_p :

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 9 \cdot [0,082 \cdot (500 + 273)]^{2-(1+1)} = 9 \cdot (63,386)^0 = \mathbf{9}$$

c) Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals per calcular la pressió total de la mescla:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T$$

Aïlla la pressió, substitueix les dades i opera:

$$p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{4 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{K}}{\text{mol}} \cdot (500 + 273) \text{ K}}{2,4 \text{ L}} = \mathbf{105,6 \text{ atm}}$$

31. a) $4 \text{ NH}_3(g) + 5 \text{ O}_2(g) \rightleftharpoons 4 \text{ NO}(g) + 6 \text{ H}_2\text{O}(l)$.

$$b) K_c = \frac{[\text{NO}]^4 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 \cdot [\text{O}_2]^5}$$

c) En augmentar la pressió i mantenir constant la temperatura, disminueix el volum, amb la qual cosa augmenta la concentració. L'equilibri es desplaçarà cap a on hi ha menys mols gasosos per compensar aquest augment. En aquest cas hi ha 9 mols gasosos en els reactius i 4 mols en els productes, per la qual cosa es desplaçarà **cap a la formació de productes**.

d) **Modificant la temperatura**, que és l'únic factor que influeix en K_c . En ser una reacció exotèrmica, K_c augmentarà si disminuïm la temperatura, ja que l'equilibri es desplaçarà cap a la formació de productes.

32. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_5(g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(g)$	+	$\text{Cl}_2(g)$
Inicial	n_0		0		0
En reacció	$-n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$
En equilibri	$n_0 \cdot (1 - \alpha)$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$

La quantitat total és la suma dels mols de cada substància en l'equilibri:

$$n_T = n_{\text{PCl}_5} + n_{\text{PCl}_3} + n_{\text{Cl}_2} = n_0 \cdot (1 - \alpha) + n_0 \cdot \alpha + n_0 \cdot \alpha = n_0 \cdot (1 + \alpha) \text{ mol}$$

Aïlla la quantitat inicial:

$$n_T = n_0 \cdot (1 + \alpha) \Rightarrow n_0 = \frac{n_T}{1 + \alpha}$$

Calcula el valor dels mols totals emprant l'equació d'estat dels gasos ideals. Aïlla, substitueix i opera:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T \Rightarrow n_T = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0,85 \text{ atm} \cdot 0,75 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (250 + 273) \text{ K}} = 0,0149 \text{ mol}$$

Calcula la quantitat inicial substitueix els valors coneguts:

$$n_0 = \frac{0,0149}{1 + 0,8} = 0,00826 \text{ mol} = \mathbf{8,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}$$

b) En primer lloc, calcula les pressions parcials en l'equilibri:

$$p_{\text{PCl}_5} = \chi_{\text{PCl}_5} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot (1 - \alpha)}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T = \frac{1 - 0,8}{1 + 0,8} \cdot 0,85 \text{ atm} = 0,094 \hat{\text{atm}}$$

$$p_{\text{PCl}_3} = \chi_{\text{PCl}_3} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot \alpha}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T = \frac{0,8}{1 + 0,8} \cdot 0,85 \text{ atm} = 0,37 \hat{\text{atm}}$$

$$p_{\text{Cl}_2} = \chi_{\text{Cl}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot \alpha}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T = \frac{0,8}{1 + 0,8} \cdot 0,85 \text{ atm} = 0,37 \hat{\text{atm}}$$

Substitueix en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{(0,37)^2}{0,094} = \mathbf{1,51}$$

33. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_5 (g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3 (g)$	+	$\text{Cl}_2 (g)$
Inicial	2,1		1,4		0
En reacció	-x		x		x
En equilibri	2,1 - x		1,4 + x		x

Escriu l'expressió de la constant d'equilibri, substitueix les expressions de les concentracions i ordena. Per acabar, substitueix el valor de la constant d'equilibri:

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\left(\frac{n_{\text{PCl}_3}}{V}\right) \cdot \left(\frac{n_{\text{Cl}_2}}{V}\right)}{\frac{n_{\text{PCl}_5}}{V}} = \frac{n_{\text{PCl}_3} \cdot n_{\text{Cl}_2}}{V \cdot n_{\text{PCl}_5}} = \frac{(1,4 + x) \cdot x}{2,5 \cdot (2,1 - x)} = 0,042$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els valors de x són: $x_1 = -1,639$ i $x_2 = 0,1345$. Descarta el primer valor ja que no pot ser un valor negatiu.

Per tant, $x = 0,1345 \text{ mol}$.

Calcula la concentració del clor en l'equilibri substituint el valor de x:

$$[\text{Cl}_2] = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{2,5 \text{ L}} = \frac{0,1345 \text{ mol}}{2,5 \text{ L}} = 0,0538 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \mathbf{5,38 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

b) Per trobar K_p utilitza l'expressió que relaciona K_C i K_p , tenint en compte que, per l'estequiometria de l'equació,

$$\Delta n = (n_{\text{PCl}_5} + n_{\text{Cl}_2}) - n_{\text{PCl}_5} = (1 + 1) - 1 = 1.$$

Substitueix les dades i opera:

$$K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 0,042 \cdot [0,082 \cdot (250 + 273)]^1 = \mathbf{1,8}$$

c) Donat que el grau de dissociació és igual al quocient entre la quantitat de reactiu que ha reaccionat i la quantitat de reactiu inicial:

$$\alpha = \frac{x}{n_0} = \frac{0,1345}{2,1} = \mathbf{0,064}$$

ACTIVITATS FINALS (pàgina 236)

34. Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_5 (g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3 (g)$	+	$\text{Cl}_2 (g)$
Inicial	n_0		0		0
En reacció	$-n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$
En equilibri	$n_0 \cdot (1 - \alpha)$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$
Concentració en l'equilibri ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\frac{n_0}{V} \cdot (1 - \alpha)$		$\frac{n_0}{V} \cdot \alpha$		$\frac{n_0}{V} \cdot \alpha$

Substitueix en l'expressió de K_C :

$$K_C = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\left(\frac{n_0}{V} \cdot \alpha\right)^2}{\frac{n_0}{V} \cdot (1 - \alpha)} = \frac{n_0 \cdot \alpha^2}{V \cdot (1 - \alpha)}$$

La quantitat total de mols és la suma dels mols de cada substància en l'equilibri:

$$n_T = n_{\text{PCl}_5} + n_{\text{PCl}_3} + n_{\text{Cl}_2} = n_0 \cdot (1 - \alpha) + n_0 \cdot \alpha + n_0 \cdot \alpha = n_0 \cdot (1 + \alpha)$$

D'on s'aïlla la quantitat inicial:

$$n_0 = \frac{n_T}{1 + \alpha}$$

Substituint i ordenant en l'expressió de la constant d'equilibri:

$$K_C = \frac{n_0 \cdot \alpha^2}{V \cdot (1 - \alpha)} = \frac{\frac{n_T}{1 + \alpha} \cdot \alpha^2}{V \cdot (1 - \alpha)} = \frac{n_T \cdot \alpha^2}{V \cdot (1 - \alpha^2)} = \frac{n_T}{V} \cdot \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2}$$

Aïlla de l'equació d'estat dels gasos:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n_T}{V} \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{n_T}{V} = \frac{p}{R \cdot T}$$

Se substitueix aquesta igualtat en l'expressió de la constant d'equilibri:

$$K_C = \frac{n_T}{V} \cdot \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} = \frac{p}{R \cdot T} \cdot \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2}$$

Substitueix els valors coneguts i opera:

$$K_C = \frac{1}{0,082 \cdot (200 + 273)} \cdot \frac{0,495^2}{1 - 0,495^2} = \mathbf{8,37 \cdot 10^{-3}}$$

Per trobar K_p utilitza l'expressió que relaciona K_C i K_p , tenint en compte que, per l'estequiometria de l'equació,

$$\Delta n = (n_{\text{PCl}_5} + n_{\text{Cl}_2}) - n_{\text{PCl}_3} = (1 + 1) - 1 = 1.$$

Substitueix les dades i opera: $K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 8,37 \cdot 10^{-3} \cdot [0,082 \cdot (200 + 273)]^1 = \mathbf{0,3245}$

Escriu les pressions parcials:

$$p_{\text{PCl}_5} = \chi_{\text{PCl}_5} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot (1 - \alpha)}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T$$

$$p_{\text{PCl}_3} = \chi_{\text{PCl}_3} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot \alpha}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T$$

$$p_{\text{Cl}_2} = \chi_{\text{Cl}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{n_0 \cdot \alpha}{n_0 \cdot (1 + \alpha)} \cdot p_T = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T$$

Substitueix en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{\left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T \right)^2}{\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T} = \frac{\frac{\alpha^2}{(1 + \alpha)^2} \cdot p_T^2}{\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \cdot p_T} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} \cdot p_T$$

Aïlla α :

$$K_p = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} \cdot p_T \Rightarrow \frac{K_p}{p_T} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} \Rightarrow \frac{K_p}{p_T} \cdot (1 - \alpha^2) = \alpha^2 \Rightarrow \frac{K_p}{p_T} - \frac{K_p}{p_T} \cdot \alpha^2 = \alpha^2$$

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

Substitueix; si sabem que la temperatura no canvia, tampoc ho fa el valor de la constant d'equilibri, i opera:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_p}{p_T + K_p}} = \sqrt{\frac{0,3245}{10 + 0,3245}} = 0,177 \Rightarrow \alpha = \mathbf{17,7\%}$$

35. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)	⇌	2 HI (g)
Inicial	7,94		5,30		0
Reaccionen	-x		-x		2x
En equilibri	7,94 - x		5,30 - x		2x

Com que s'assoleix l'equilibri es formen 9,52 mol de iodur d'hidrogen, aïlla per calcular el valor de x:

$$2x = 9,52 \Rightarrow x = 4,76 \text{ mol}$$

Calcula ara la constant d'equilibri. En aquest cas, com que el volum de la dissolució és 1 L:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{n_{\text{HI}}}{V}\right)^2}{\frac{n_{\text{H}_2}}{V} \cdot \frac{n_{\text{I}_2}}{V}} = \frac{\left(\frac{2x}{1\text{ L}}\right)^2}{\frac{7,94-x}{1\text{ L}} \cdot \frac{5,30-x}{1\text{ L}}} = \frac{(9,52)^2}{(7,94-4,76) \cdot (5,30-4,76)} = 52,78$$

b) Estableix les noves condicions:

Quantitat (mol)	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)	⇌	2 HI (g)
Inicial	4		2		0
Reaccionen	-x		-x		2x
En equilibri	4 - x		2 - x		2x

Com que s'assoleix l'equilibri amb $K_c = 52,78$, escriu l'expressió de la constant d'equilibri i substitueix les dades conegudes:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{(2 \cdot x)^2}{(4-x) \cdot (2-x)} = 52,78$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els valors de x són: $x_1 = 1,875$ i $x_2 = 4,617$. Descarta el segon valor ja que la quantitat que reacciona no pot ser més gran que la inicial. Per tant, $x = 1,875$ mol.

Per tant, en l'equilibri hi haurà $n_{\text{HI}} = 2x = 2 \cdot 1,875 = 3,75$ mol de iodur d'hidrogen.

36. Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	SO ₃ (g)	⇌	SO ₂ (g)	+	$\frac{1}{2}$ O ₂ (g)
Inicial	n_0		0		0
En reacció	$-n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$		$\frac{1}{2} \cdot n_0 \cdot \alpha$
En equilibri	$n_0 \cdot (1-\alpha)$		$n_0 \cdot \alpha$		$\frac{1}{2} \cdot n_0 \cdot \alpha$

La quantitat total de mols és la suma dels mols de cada substància en l'equilibri:

$$n_T = n_{\text{SO}_3} + n_{\text{SO}_2} + n_{\text{O}_2} = n_0 \cdot (1-\alpha) + n_0 \cdot \alpha + \frac{1}{2} \cdot n_0 \cdot \alpha = n_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha\right)$$

Calcula les pressions parcials de cada gas en l'equilibri:

$$p_{\text{SO}_3} = \chi_{\text{SO}_3} \cdot p_T = \frac{n_{\text{SO}_3}}{n_T} \cdot p_T = \frac{\cancel{n_0} \cdot (1-\alpha)}{\cancel{n_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha\right)} \cdot p_T = \frac{2 \cdot (1-\alpha)}{2 + \alpha} \cdot p_T = \frac{2 \cdot (1-0,69)}{2 + 0,69} \cdot 0,25 \text{ atm} = \mathbf{0,0576 \text{ atm}}$$

$$p_{\text{SO}_2} = \chi_{\text{SO}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{SO}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{\cancel{n_0} \cdot \alpha}{\cancel{n_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha\right)} \cdot p_T = \frac{2 \cdot \alpha}{2 + \alpha} \cdot p_T = \frac{2 \cdot 0,69}{2 + 0,69} \cdot 0,25 \text{ atm} = \mathbf{0,1283 \text{ atm}}$$

$$p_{\text{O}_2} = \chi_{\text{O}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{O}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{\frac{1}{2} \cdot \cancel{n_0} \cdot \alpha}{\cancel{n_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha\right)} \cdot p_T = \frac{\alpha}{2 + \alpha} \cdot p_T = \frac{0,69}{2 + 0,69} \cdot 0,25 \text{ atm} = \mathbf{0,0641 \text{ atm}}$$

b) Substitueix els valors calculats en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{p_{\text{SO}_2} \cdot (p_{\text{O}_2})^{\frac{1}{2}}}{p_{\text{SO}_3}} = \frac{0,1283 \cdot (0,0641)^{\frac{1}{2}}}{0,0576} = \mathbf{0,5638}$$

Per trobar K_C utilitza l'expressió que relaciona K_C i K_p . Tenint en compte que la variació del nombre de mols

gasosos és: $\Delta n = (n_{\text{SO}_2} + n_{\text{O}_2}) - n_{\text{SO}_3} = \left(1 + \frac{1}{2}\right) - 1 = \frac{1}{2}$. Aïlla, substitueix les dades i opera:

$$K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \Rightarrow K_C = \frac{K_p}{(R \cdot T)^{\Delta n}} = \frac{0,564}{[0,082 \cdot (720 + 273)]^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{0,0625}$$

- 37.** a) Per trobar K_C utilitza l'expressió que relaciona K_C i K_p . Tenint en compte que la variació del nombre de mols gasosos és: $\Delta n = (n_{\text{PCl}_3} + n_{\text{Cl}_2}) - n_{\text{PCl}_5} = (1 + 1) - 1 = 1$, aïlla, substitueix les dades i opera:

$$K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \Rightarrow K_C = \frac{K_p}{(R \cdot T)^{\Delta n}} = \frac{1,05}{[0,082 \cdot (250 + 273)]^1} = \mathbf{0,0245}$$

- b) Conegudes les pressions amb les condicions inicials, per saber cap a on evoluciona la reacció calcula el quocient de reacció:

$$Q_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{0,223 \cdot 0,111}{0,177} = 0,1398$$

Com que $(Q_p = 0,14) < (K_p = 1,05)$, la reacció evoluciona cap a la formació de productes. Estableix les pressions amb les condicions en l'equilibri:

Pressió (atm)	$\text{PCl}_5 (g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3 (g)$	+	$\text{Cl}_2 (g)$
Inicial	0,177		0,223		0,111
En equilibri	$0,177 - x$		$0,223 + x$		$0,111 + x$

En l'equilibri K_p :

$$K_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{(0,223 + x) \cdot (0,111 + x)}{(0,177 - x)} = 1,05$$

Resol l'equació de segon grau anterior.

Els valors de x són: $x_1 = -1,4919$ i $x_2 = 0,10798$.

Descarta el primer valor ja que la pressió no pot ser negativa.

Per això $x = 0,10798$ atm.

Per tant, els valors de les pressions en l'equilibri són:

$$p_{\text{PCl}_5} = (0,177 - x) \text{ atm} = (0,177 - 0,10798) \text{ atm} = 0,069 \text{ atm}$$

$$p_{\text{PCl}_3} = (0,223 + x) \text{ atm} = (0,223 + 0,10798) \text{ atm} = 0,331 \text{ atm}$$

$$p_{\text{Cl}_2} = (0,111 + x) \text{ atm} = (0,111 + 0,10798) \text{ atm} = 0,219 \text{ atm}$$

Aplica l'equació d'estat gasos ideals a cada substància per calcular la concentració en l'equilibri de cada una d'elles.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{n}{V} = \frac{p}{R \cdot T}$$

Substitueix els valors i opera:

$$[\text{PCl}_5] = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{V} = \frac{p_{\text{PCl}_5}}{R \cdot T} = \frac{0,069 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (250 + 273) \text{ K}} = 1,61 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{PCl}_3] = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{V} = \frac{p_{\text{PCl}_3}}{R \cdot T} = \frac{0,331 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (250 + 273) \text{ K}} = 7,72 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{Cl}_2] = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{V} = \frac{p_{\text{Cl}_2}}{R \cdot T} = \frac{0,219 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (250 + 273) \text{ K}} = 5,11 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

38. a) En primer lloc calcula la quantitat que hi ha en cada substància (en mol):

$$n_{\text{H}_2} = 0,004 \text{ g de H}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol de H}_2}{2,016 \text{ g de H}_2} = 1,98 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{I}_2} = 0,371 \text{ g de I}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol de I}_2}{253,8 \text{ g de I}_2} = 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{HI}} = 0,283 \text{ g de HI} \cdot \frac{1 \text{ mol de HI}}{127,908 \text{ g de HI}} = 2,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Calcula la quantitat total en l'equilibri:

$$n_{\text{T}} = n_{\text{H}_2} + n_{\text{I}_2} + n_{\text{HI}} = 1,98 \cdot 10^{-3} \text{ mol} + 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ mol} + 2,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 5,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

A través de l'equació dels gasos ideals calcula la pressió total:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} = \frac{5,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (227 + 273) \text{ K}}{1 \text{ L}} = 0,232 \text{ atm}$$

Calcula ara les pressions parcials:

$$p_{\text{HI}} = \chi_{\text{HI}} \cdot p_{\text{T}} = \frac{n_{\text{HI}}}{n_{\text{T}}} \cdot p_{\text{T}} = \frac{2,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{5,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} \cdot 0,226 \text{ atm} = 0,0906 \text{ atm}$$

$$p_{\text{I}_2} = \chi_{\text{I}_2} \cdot p_{\text{T}} = \frac{n_{\text{I}_2}}{n_{\text{T}}} \cdot p_{\text{T}} = \frac{1,46 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{5,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} \cdot 0,226 \text{ atm} = 0,0598 \text{ atm}$$

$$p_{\text{H}_2} = \chi_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{T}} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{T}}} \cdot p_{\text{T}} = \frac{1,98 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{5,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} \cdot 0,226 \text{ atm} = 0,0813 \text{ atm}$$

b) Substitueix els valors calculats en l'expressió de K_p :

$$K_p = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{I}_2} \cdot p_{\text{H}_2}} = \frac{(0,0906)^2}{(0,0598) \cdot (0,0813)} = 1,69$$

39. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{H}_2(g) + \text{CO}_2(g) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g) + \text{CO}(g)$			
Inicial	0,8	0,8	0	0
En reacció	-x	-x	x	x
En equilibri	0,8-x	0,8-x	x	x
Concentració en equilibri (mol · L ⁻¹)	$\frac{0,8-x}{5}$	$\frac{0,8-x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$

Calcula el valor de x a partir del valor de la constant d'equilibri K_c .
Substitueix les expressions de les concentracions, ordena i simplifica:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{CO}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]} = \frac{\left(\frac{x}{5}\right) \cdot \left(\frac{x}{5}\right)}{\left(\frac{0,8-x}{5}\right) \cdot \left(\frac{0,8-x}{5}\right)} = \frac{x^2}{(0,8-x)^2} = 4,2$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els valors de x són: $x_1 = 0,5376$ i $x_2 = 1,5623$.

Descarta el segon valor ja que no pot ser més gran el nombre de mols que reaccionen que l'existent inicialment.
Per això: $x = 0,5376$ mol.

Calcula la concentració de cada espècie en l'equilibri substituint el valor de x :

$$\begin{aligned} [\text{H}_2\text{O}] &= \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{0,5376 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,108 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \\ [\text{CO}] &= \frac{n_{\text{CO}}}{V} = \frac{x \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{0,5376 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,108 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \\ [\text{H}_2] &= \frac{n_{\text{H}_2}}{V} = \frac{(0,8-x) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{(0,8-0,5376) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,0524 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \\ [\text{CO}_2] &= \frac{n_{\text{CO}_2}}{V} = \frac{(0,8-x) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \frac{(0,8-0,5376) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = \mathbf{0,0524 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \end{aligned}$$

- b) Per trobar K_c utilitza l'expressió que relaciona K_c i K_p .
Tenint en compte que la variació del nombre de mols gasosos és:

$$\Delta n = (n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{CO}}) - (n_{\text{H}_2} + n_{\text{CO}_2}) = (1+1) - (1+1) = 0,$$

aïlla, substitueix les dades i opera:

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} \Rightarrow K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^0 \Rightarrow K_p = K_c = \mathbf{4,2}$$

ACTIVITATS FINALS (pàgina 237)

- 40.** a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	$\text{PCl}_5(g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(g)$	+	$\text{Cl}_2(g)$
Inicial	n_0		0		0
En reacció	$-n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$
En equilibri	$n_0 \cdot (1 - \alpha)$		$n_0 \cdot \alpha$		$n_0 \cdot \alpha$
Concentració en l'equilibri ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\frac{n_0}{V} \cdot (1 - \alpha)$		$\frac{n_0}{V} \cdot \alpha$		$\frac{n_0}{V} \cdot \alpha$

La quantitat total és la suma dels mols de cada substància en l'equilibri:

$$n_T = n_{\text{PCl}_5} + n_{\text{PCl}_3} + n_{\text{Cl}_2} = n_0 \cdot (1 - \alpha) + n_0 \cdot \alpha + n_0 \cdot \alpha = n_0 \cdot (1 + \alpha)$$

Per al recipient A tenim que: la quantitat inicial de pentaclorur de fòsfor és $n_0 = 0,1 \text{ mol}$, i el grau de dissociació és $\alpha = 50\% = 0,5$. Per això la quantitat de mols totals en l'equilibri és:

$$n_T = 0,1 \cdot (1 + 0,5) = 0,15 \text{ mol}$$

Amb l'equació d'estat dels gasos ideals calcula la pressió en l'equilibri. Aïlla, substitueix i opera:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,15 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 532 \text{ K}}{1,5 \text{ L}} = \mathbf{4,36 \text{ atm}}$$

b) Substitueix en l'expressió de K_c :

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\left(\frac{n_0}{V_A} \cdot \alpha_A\right) \cdot \left(\frac{n_0}{V_A} \cdot \alpha_A\right)}{\frac{n_0}{V_A} \cdot (1 - \alpha_A)} = \frac{n_0 \cdot \alpha_A^2}{V_A \cdot (1 - \alpha_A)} = \frac{0,1 \cdot 0,5^2}{1,5 \cdot (1 - 0,5)} = \mathbf{0,03}$$

c) Tenint en compte que en el recipient B el grau de dissociació és del 90%, calcula la quantitat de cada espècie en l'equilibri:

$$n'_{\text{PCl}_5} = n_0 \cdot (1 - \alpha_B) = 0,1 \cdot (1 - 0,9) = 0,01 \text{ mol}$$

$$n'_{\text{PCl}_3} = n_0 \cdot \alpha_B = 0,1 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ mol}$$

$$n'_{\text{Cl}_2} = n_0 \cdot \alpha_B = 0,1 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ mol}$$

Substitueix en l'expressió de K_c i calcula el volum del recipient B:

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\left(\frac{0,09}{V_B}\right)^2}{\frac{0,01}{V_B}} = \frac{(0,09)^2}{V_B \cdot 0,01} = 0,03$$

Resol l'equació. El volum del recipient B és $V_B = \mathbf{24,3 \text{ L}}$.

d) Calcula la quantitat de mols totals a B quan s'assoleix l'equilibri:

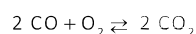
$$n_T = n'_{\text{PCl}_5} + n'_{\text{PCl}_3} + n'_{\text{Cl}_2} = n_0 \cdot (1 + \alpha_B) = 0,1 \cdot (1 + 0,9) = 0,19 \text{ mol}$$

Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals per calcular la pressió en l'equilibri. Aïlla, substitueix els valors i opera:

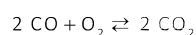
$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,19 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 532 \text{ K}}{24,3 \text{ L}} = \mathbf{0,341 \text{ atm}}$$

Factors que afecten l'equilibri. Principi de Le Châtelier

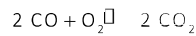
- 41.** a) Un augment de temperatura desplaça l'equilibri en el sentit endotèrmic de la reacció. Com que es tracta d'una reacció exotèrmica, un augment de temperatura desplaçarà l'equilibri **cap a l'esquerra**.



- b) Si disminueix la pressió, augmenta el volum i disminuirà la concentració de les espècies reaccionants. L'equilibri compensarà el canvi evolucionant cap a on es produeix un nombre més gran de mols gasosos. En aquest cas, evolucionarà **cap a l'esquerra**, cap a la formació de reactius.



- c) Donat que $Q_c = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}$, en augmentar la concentració de O_2 , Q_c disminuirà, per la qual cosa $Q_c < K_c$ i la reacció es desplaçarà **cap a la dreta**, fins que recuperi de nou el valor de la constant d'equilibri.



- 42.** a) Si s'afegeix a l'equilibri un àcid fort com el HCl, la concentració d'ions H_3O^+ augmenta. Part d'aquests reaccionen amb l'amoníac per produir l'amoní i aigua, i recuperen així l'equilibri alterat. Per la qual cosa **augmenta la concentració** de l'àcid feble amoni, NH_4^+ .
- b) Si s'afegeix a l'equilibri una base com el NaOH, la concentració de OH^- augmenta. Part d'aquests reaccionarà amb els ions H_3O^+ per formar aigua. En desaparèixer aquesta espècie, el sistema evoluciona desplaçant-se cap a la dreta. Per la qual cosa **disminueix la concentració** de l'àcid feble amoni, NH_4^+ .
- c) Si s'afegeix NH_3 a l'equilibri, se n'incrementarà la concentració. El sistema evolucionarà cap a l'esquerra per tornar a recuperar l'equilibri. Per la qual cosa **augmenta la concentració** de l'àcid feble amoni, NH_4^+ .
- d) Si s'afegeix NaCl, es dissociarà completament i no afectarà g l'equilibri. Per la qual cosa **no canvia la concentració** de l'àcid feble amoni, NH_4^+ .
- e) Si s'augmenta la temperatura del sistema, en ser un sistema endotèrmic, aquest absorbeix la calor i es desplaça cap a la formació de productes. Per la qual cosa **disminueix la concentració** de l'àcid feble amoni, NH_4^+ .

- 43.** a) **Certa.** Si augmenta la pressió, disminueix el volum i augmentarà la concentració de les espècies reaccionants. L'equilibri compensarà el canvi evolucionant cap a on es produeixi un nombre inferior de mols gasosos. En aquest cas, evolucionarà d'esquerra a dreta, cap a la formació de SO_3 .
- b) **Falsa.** Es tracta d'un equilibri dinàmic on entre les molècules continua produint-se la reacció, tant en sentit directe com invers. Considerant el sentit en conjunt, sembla com si la reacció s'hagués aturat, ja que, en un interval de temps donat, es produeixen tantes molècules de reactiu o producte com molècules de reactiu o producte es consumeixen en els processos inversos. L'efecte final és que les quantitats de reactius i productes romanen constants.
- c) **Falsa.** Es compleix que: $K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n}$. Com que a temperatura ambient ($R \cdot T = 24,6$) > 1 , i segons l'estequiometria de la reacció $\Delta n = n_{\text{SO}_3} - (n_{\text{SO}_2} + n_{\text{O}_2}) = 2 - (2 + 1) = -1$.

Per tant: $(24,6^{-1} < 1) \Rightarrow (K_p < K_c)$.

- d) **Falsa.** En la constant d'equilibri s'expressa un quocient que situa en el numerador els productes, i en el denominador, els reactius:

$$K_p = \frac{p_{\text{SO}_3}^2}{p_{\text{SO}_2}^2 \cdot p_{\text{O}_2}}$$

- 44.** a) Escriu l'expressió, substitueix els valors coneguts i opera:

$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{\left(\frac{75 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right)}{\left(\frac{7,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right) \cdot \left(\frac{7,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right)} = 6,6 \approx \mathbf{6,67}$$

- b) Ara tindrà 7,5 mol de CO; en afegir més gas clor, $7,5 + 2,5 = 10$ mol de Cl_2 ; i 75 mol de COCl_2 . Amb aquests nous valors calcula el quocient de reacció:

$$Q_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{\left(\frac{75 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right)}{\left(\frac{7,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right) \cdot \left(\frac{10 \text{ mol}}{5 \text{ L}}\right)} = \mathbf{5}$$

Com que $Q_c < K_c$, significa que hi ha més reactius o menys productes que en l'equilibri, i el sistema, per compensar-ho, evolucionarà cap a la dreta.

45. a) És cert que l'entalpia de reacció és negativava; és fals que l'energia d'activació sempre és negativa, al contrari sempre és positiva.
- b) Totes dues falses, totes dues constants tenen unitats encara que no s'emprin.
- c) És cert que la constant de velocitat augmenta amb la temperatura; és fals que la constant d'equilibri augmenti sempre, si la reacció directa és exotèrmica, pot disminuir la constant (vegeu equació de Van't Hoff).
- d) És cert que la presència de catalitzadors augmenta la velocitat de la reacció; és fals que la constant d'equilibri augmenti, roman igual en presència de catalitzadors.

46. Fals. En una reacció on únicament són gasos els productes, $A(s) + B(s) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$, la constant d'equilibri és directament proporcional a les concentracions dels productes $K_c = [C] \cdot [D]$.

En cas de disminuir el volum del recipient, la concentració augmenta i, per tant, la constant d'equilibri també augmentarà:

$$K_c = [C] \cdot [D] = \frac{n_c}{V} \cdot \frac{n_D}{V}$$

ACTIVITATS FINALS (pàgina 238)

47. a) Estableix les quantitats amb les condicions inicials i en l'equilibri:

Quantitat (mol)	2 HI(g)	\rightleftharpoons	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)
Inicial	3		0		0
En reacció	-2x		x		x
En equilibri	3 - 2x		x		x
Concentració en l'equilibri (mol · L ⁻¹)	$\frac{3 - 2x}{5}$		$\frac{x}{5}$		$\frac{x}{5}$

Com que s'assoleix l'equilibri amb $K_c = 0,0183$, escriu l'expressió de la constant d'equilibri, substitueix les expressions de les concentracions, ordena l'expressió i substitueix el valor de la constant.

$$K_c = \frac{[H_2] \cdot [I_2]}{[HI]^2} = \frac{\left(\frac{x}{5}\right) \cdot \left(\frac{x}{5}\right)}{\left(\frac{3 - 2x}{5}\right)^2} = \frac{x^2}{(3 - 2x)^2} = 0,0183$$

Resol l'equació de segon grau anterior. Els valors de x són: $x_1 = -0,556$ i $x_2 = 0,3194$. Descarta el primer valor ja que no pot ser un valor negatiu. Per tant, $x = 0,3194$ mol.

Per tant, la quantitat de I₂ que es forma en l'equilibri és:

$$n_{I_2} = \mathbf{0,3194 \text{ mol}}$$

- b) Calcula la quantitat total de mols. És la suma dels mols de cada substància en l'equilibri:

$$n_T = n_{HI} + n_{H_2} + n_{I_2} = (3 - 2x) + x + x = 3 \text{ mol}$$

Aplica l'equació d'estat dels gasos ideals per calcular la pressió en l'equilibri. Aïlla la pressió, substitueix i opera:

$$p \cdot V = n_T \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n_T \cdot R \cdot T}{V} = \frac{3 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 700 \text{ K}}{5 \text{ L}} = 34,44 \text{ atm}$$

- c) Com que $\Delta n = 0$, un augment de volum (a temperatura constant) no afectarà l'equilibri. Sí que afectarà la concentració de HI, ja que el volum passa de 5 a 10 L:

$$[\text{HI}] = \frac{n_{\text{HI}}}{V} = \frac{(3 - 2x) \text{ mol}}{10 \text{ L}} = \frac{(3 - 2 \cdot 0,3194) \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0,236 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

- 48.** En disminuir la temperatura, l'equilibri es desplaçarà en el sentit en què la reacció sigui exotèrmica. En aquest cas veiem que es tracta d'una reacció exotèrmica en el seu sentit directe, ja que presenta una entalpia negativa. En **disminuir la temperatura**, s'afavorirà la formació de SO_3 .

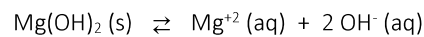
En augmentar la pressió, augmentarà la concentració de les espècies reaccionants. L'equilibri compensarà el canvi evolucionant cap a on es produeixi un nombre inferior de mols gasosos. Així, en augmentar **la pressió**, evolucionarà d'esquerra a dreta (menys mols gasosos), cap a la formació de SO_3 .

El mateix efecte anterior tindriem en **disminuir el volum**.

Una altra manera seria **eliminar quantitat de SO_3** . Si hi ha menys triòxid de sofre, en disminueix la concentració i l'equilibri es desplaça cap a la dreta. Tota reacció que usi el SO_3 com a reactiu redueix la presència en aquesta espècie disminuint la quantitat present en l'equilibri.

Reaccions de precipitació

- 49.** a) El MgCl_2 és una sal soluble que es dissocia en els seus ions Mg^{+2} i 2Cl^- . En haver-hi medi bàsic, significa que hi ha OH^- lliures que en contacte amb el Mg^{+2} formen $\text{Mg}(\text{OH})_2$.
b) L'equilibri que es forma és:



Per tant, $K_{ps} = [\text{Mg}^{+2}] \cdot [\text{OH}^-]^2$

La $[\text{Mg}^{+2}]$ la calculem a partir de la massa de MgCl_2

$$\frac{1,35 \text{ g } \text{MgCl}_2}{250 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{MgCl}_2}{95,1 \text{ g } \text{MgCl}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol } \text{Mg}^{+2}}{1 \text{ mol } \text{MgCl}_2} \cdot \frac{1.000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 0,0568 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentració de OH^- la trobarem a partir del pH.

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}, \text{ per tant, } \text{pOH} = 5 \text{ i } [\text{OH}^-] = 10^{-5}$$

Operem l'expressió de la K_{ps} i calculem

$$K_{ps} = [\text{Mg}^{+2}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = (5,68 \cdot 10^{-2}) \cdot (10^{-5})^2 = 5,68 \cdot 10^{-12}$$

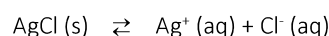
- 50.** a) Els compostos que precipiten, AgCl , AgBr i AgI tenen equilibris equimoleculars; per tant, la concentració de ió plata necessària per precipitar és directament proporcional a la K_s .

D'aquesta manera, el que té menys K_s precipitarà primer i així successivament.

L'ordre de precipitació, doncs, serà: 1r AgI , 2n AgBr i en 3r lloc AgCl

- b) Per calcular la $[\text{Ag}^+]$ cal fer-ho a partir dels equilibris de precipitació.

1r) AgCl



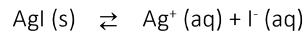
$$\text{Per tant, } \left[\text{Ag}^+ \right] = \frac{K_s}{[\text{Cl}^-]} = \frac{1,6 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

2n) AgBr



$$\text{Per tant, } \left[\text{Ag}^+ \right] = \frac{K_s}{[\text{Br}^-]} = \frac{7,76 \cdot 10^{-13}}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,7 \cdot 10^{-10} \text{ M}$$

3r) AgI



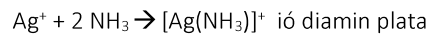
$$\text{Per tant, } [\text{Ag}^+] = \frac{K_s}{[\text{I}^-]} = \frac{8,3 \cdot 10^{-17}}{1 \cdot 10^{-3}} = 8,3 \cdot 10^{-14} \text{ M.}$$

c) Quan comença a precipitar el Br, la $[\text{Ag}^+] = 7,7 \cdot 10^{-10} \text{ M}$, per tant, a partir d'aquí i amb el K_s del AgI, calcularem la concentració de ió I⁻ que queda en dissolució

$$[\text{I}^-] = \frac{K_s}{[\text{Ag}^+]} = \frac{8,3 \cdot 10^{-17}}{7,7 \cdot 10^{-10}} = 1,08 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

d) Per poder dissoldre el precipitat d'AgBr tenim tres possibilitats:

- Augmentar la quantitat de dissolvent de manera que la concentració de ions disminueix i $Q < K_s$ i, per tant, l'equilibri es desplaça cap a productes i dissol el precipitat.
- Afegint medi àcid a la dissolució per tal que els ions H_3O^+ reaccionin amb els ions Br^- i en disminueixin la concentració. Així, $Q < K_s$ i es dissol el precipitat.
- Formant un complex de coordinació amb el ió Ag^+ i, per tant, disminuint la concentració dels ions i dissolent el precipitat.



51. a) $\text{AlPO}_4 \text{(s)} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} \text{(aq)} + \text{PO}_4^{3-} \text{(aq)}$

b) Per calcular la solubilitat, ho farem a partir del valor de K_{ps} i de l'estequiometria de la reacció:

$$K_{ps} = [\text{Al}^{3+}][\text{PO}_4^{3-}] = s^2$$

$$s = \sqrt{K_{ps}} = 1,14 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

c) Amb la concentració de ions Al^{3+} i la K_{ps} calcularem la concentració de ions fosfat que queden presents a la dissolució:

$$K_{ps} = [\text{Al}^{3+}][\text{PO}_4^{3-}]$$

Per tant:

$$[\text{PO}_4^{3-}] = \frac{K_{ps}}{[\text{Al}^{3+}]} = \frac{1,3 \cdot 10^{-20}}{2,6 \cdot 10^{-15}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Per poder comparar-ho amb la concentració permesa ho passarem a mg/L

$$5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol PO}_4^{3-}}{\text{L}} \cdot \frac{95 \text{ g PO}_4^{3-}}{1 \text{ mol PO}_4^{3-}} \cdot \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,475 \frac{\text{mg}}{\text{L}} > 0,20 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Per tant, la concentració no és permesa i l'aigua residual no compleix les exigències legals per ser abocada.

52. Segons l'estequiometria de la reacció:

	$\text{PbF}_2 \text{(s)}$	\rightleftharpoons	$\text{Pb}^{2+} \text{(aq)}$	+	$2 \text{F}^- \text{(aq)}$
Concentració (mol · L ⁻¹)			s		$2s$

Calcula l'expressió de la constant del producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{F}^-]^2 = s \cdot (2s)^2 = 4s^3$$

Coneguda l'expressió, aïlla, substitueix les dades i opera:

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{ps}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{3,2 \cdot 10^{-8}}{4}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Les concentracions en la dissolució saturada a 18 °C és:

$$[\text{Pb}^{2+}] = s = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{F}^{-}] = 2s = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

53. Segons l'estequiometria de la reacció:

	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	\rightleftharpoons	Cu^{2+}	+	2OH^{-}
Concentració ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)			s		$2s$

Calcula l'expressió de la constant del producte de solubilitat:

$$K_{ps} = [\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{OH}^{-}]^2 = s \cdot (2s)^2 = 4s^3$$

Conegut el valor del producte de solubilitat, aïlla, substitueix les dades i calcula la solubilitat:

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{ps}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{2,1 \cdot 10^{-20}}{4}} = 1,74 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Per expressar la solubilitat en grams per litres, calcula primer la massa molar:

$$M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 63,55 + (16,00 + 1,008) \cdot 2 = 97,566 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$s = 1,74 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \frac{97,566 \text{ g}}{\text{mol}} = 1,70 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

54 a) Segons l'estequiometria de la reacció:

	$\text{PbCl}_2(\text{s})$	\rightleftharpoons	$\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$	+	$2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$
Concentració ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)			s		$2s$

Coneguda la concentració de Pb^{2+} en l'equilibri:

$$[\text{Pb}^{2+}] = s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Substitueix el valor de s i opera:

$$[\text{Cl}^{-}] = 2s = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

b) Calcula el valor de la constant del producte de solubilitat

$$K_{ps} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^{-}]^2 = s \cdot (2s)^2 = 4s^3 = 4 \cdot (1,6 \cdot 10^{-2})^3 = 1,64 \cdot 10^{-5}$$

c) Si s'afegeix NaCl (sal soluble) augmentarà la concentració de l'ió comú, Cl^{-} , llavors la reacció es desplaçarà cap a l'esquerra per restablir l'equilibri; és a dir, cap a la formació de PbCl_2 . Disminueix així la solubilitat de clorur de plom.

El procés de Haber-Bosch

55. Escriu l'expressió de la constant d'equilibri, substitueix les dades conegudes i opera:

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3} = \frac{\left(\frac{0,80 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right)^2}{\left(\frac{0,40 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right) \cdot \left(\frac{0,50 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right)^3} = 51,2$$

56. a) En augmentar la pressió, disminueix el volum i augmentarà la concentració de les espècies reaccionants. L'equilibri compensarà el canvi evolucionant cap a on es produeixi un nombre de mols gasosos inferior. En aquest cas evolucionarà d'esquerra a dreta (menys mols gasosos), **cap a la formació d'amoníac**.
- b) En augmentar la concentració d'un dels reactius, el quocient de reacció disminuirà i el sistema evolucionarà cap a la dreta per restablir l'equilibri, **cap a la formació d'amoníac**.
- c) En augmentar la temperatura, l'equilibri es desplaçarà en el sentit en què la reacció sigui endotèrmica. En aquest cas veiem que es tracta d'una reacció exotèrmica en el seu sentit directe, ja que presenta una entalpia negativa. Així, en augmentar la temperatura, l'equilibri evolucionarà de dreta a esquerra, cap a la formació dels reactius, **cap al consum d'amoníac**.
- d) Un catalitzador no afectarà l'equilibri, però sí que **augmentarà la velocitat de síntesi de l'amoníac**. En la indústria s'usa com a catalitzador Fe_3O_4 mesclat amb promotors de catàlisi, com ara catàlisi KOH , SiO_2 , Al_2O_3 , etc.

QUÍMICA A LA TEVA VIDA (pàgina 240)

INTERPRETA

1. En augmentar la concentració d'un dels reactius, el quocient de reacció disminuirà i el sistema evolucionarà cap a la dreta (formant oxihemoglobina) per restablir l'equilibri.
2. Si la pressió parcial de l'oxigen en l'atmosfera disminueix a 60 mm de Hg fa que l'equilibri [1] es desplaçarà cap a l'esquerra.

OPINA

3. Resposta lliure.

