

6. El sulfat de bari ( $\text{BaSO}_4$ ) és un compost poc soluble en aigua que s'utilitza com a contrast radiològic en anàlisis de raigs X de l'esòfag, l'estómac i els intestins. Generalment, cal beure una suspensió de sulfat de bari una o dues vegades abans de l'anàlisi radiològica.

a) Calculeu la solubilitat molar del sulfat de bari en aigua. Calculeu quina quantitat d'ió bari ( $\text{Ba}^{2+}$ ), en mg, s'ingereix si es prenen 200 mL d'una solució saturada de sulfat de bari abans d'una anàlisi radiològica.

[1,25 punts]

b) Alguns estudis indiquen que aproximadament el 2 % de la població és al·lèrgica a l'ió bari. En el cas que un pacient sigui al·lèrgic a l'ió bari, raoneu si afegir una certa quantitat de sulfat de sodi ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) a la suspensió de sulfat de bari que cal prendre seria bo per a disminuir els efectes de l'allèrgia. A les persones al·lèrgiques a l'ió bari, quina suspensió els provocarà més al·lèrgia: una de sulfat de bari o una de carbonat de bari ( $\text{BaCO}_3$ )? Justifiqueu la resposta.

[1,25 punts]

DADES: Constants del producte de solubilitat a 25 °C:  $K_{ps}(\text{BaSO}_4) = 1,1 \times 10^{-10}$ ;

$$K_{ps}(\text{BaCO}_3) = 3,2 \times 10^{-9}.$$

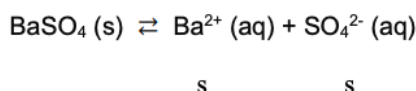
Masses atòmiques relatives: Ba = 137,3; S = 32,1; O = 16,0.

## Solució:

### Pregunta 6a

Càlcul de la solubilitat del sulfat de bari

A partir de l'equilibri de solubilitat del sulfat de bari:



[0,10 p.]

$$K_{ps} (\text{BaSO}_4) = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] = 1,1 \times 10^{-10}$$

$$K_{ps} (\text{BaSO}_4) = [\text{s}] [\text{s}] = 1,1 \times 10^{-10}$$

[0,25 p.]

$$s^2 = 1,1 \times 10^{-10} \Rightarrow s = 1,05 \times 10^{-5} \text{ M}$$

[0,20 p.]

Càlcul de la quantitat d'ió bari en 200 mL d'una solució saturada

Aquest càlcul es pot resoldre per factors de conversió (a) o per factors successius (b).

(a) Per factors de conversió:

La solubilitat del  $\text{BaSO}_4$  és d' $1,05 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ . Per tant, en 200 mL (0,20 L) de solució saturada hi ha:

$$\begin{aligned} 0,20 \text{ L solució saturada} & \frac{1,05 \times 10^{-5} \text{ mol BaSO}_4}{1 \text{ L}} \frac{1 \text{ mol Ba}^{2+}}{1 \text{ mol BaSO}_4} \frac{137,3 \text{ g}}{1 \text{ mol Ba}^{2+}} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \\ & = 0,288 \text{ mg Ba}^{2+} \end{aligned}$$

⇒ En **200 mL** d'una **solució saturada de  $\text{BaSO}_4$**  hi ha **0,288 mg d'ió bari**.

[0,70 p.]

(b) Per factors successius:

En 200 mL (0,20 L) d'aigua només se solubilitzaran  $2,1 \times 10^{-6}$  mols  $\text{BaSO}_4$ . Per tant, només hi hauran dissolts  $2,1 \times 10^{-6}$  mols  $\text{Ba}^{2+}$ (aq):

$$0,20 \text{ L solució saturada} \frac{1,05 \times 10^{-5} \text{ mol BaSO}_4}{1 \text{ L}} \frac{1 \text{ mol Ba}^{2+}}{1 \text{ mol BaSO}_4} = 2,1 \times 10^{-6} \text{ mol Ba}^{2+}$$

[0,35 p.]

Si transformem mols d'ió bari en mg d'ió bari, s'obté:

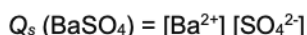
$$2,1 \times 10^{-6} \text{ mol Ba}^{2+} \frac{137,3 \text{ g}}{1 \text{ mol Ba}^{2+}} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,288 \text{ mg Ba}^{2+}$$

⇒ En **200 mL** d'una **solució saturada de  $\text{BaSO}_4$**  hi ha **0,288 mg d'ió bari**.

[0,35 p.]

### Problema 6b

#### Addició de sulfat de sodi



Si  $Q_s > K_{ps}$  es formarà precipitat i si  $Q_s < K_{ps}$  no es formarà precipitat.

Si s'addiciona **sulfat de sodi** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), estem afegint l'ió comú ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), això farà que  $Q_s > K_{ps}$ .

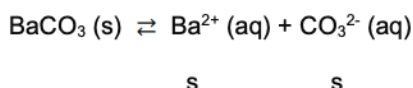
Segons el principi de Le Châtelier, el sistema evolucionarà cap a l'**esquerra reduint la solubilitat de  $\text{BaSO}_4$  i augmentant la quantitat de sòlid**. Per tant, **disminuirà la quantitat de  $\text{Ba}^{2+}$  en solució**.

⇒ **Seria beneficiós afegir sulfat de sodi per a les persones al·lèrgiques al  $\text{Ba}^{2+}$  perquè la concentració d'ió bari serà menor.**

[0,50 p.]

#### Qui provoca més al·lèrgia: el sulfat de bari o el carbonat de bari?

Raonament 1. Càlcul de la solubilitat del carbonat de bari



[0,10 p.]

$$K_{ps} (\text{BaCO}_3) = [\text{Ba}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = 3,2 \times 10^{-9}$$

$$K_{ps} (\text{BaCO}_3) = [s] [s] = 3,2 \times 10^{-9}$$

[0,25 p.]

$$s^2 = 3,2 \times 10^{-9} \Rightarrow s = 5,65 \times 10^{-5} \text{ M}$$

[0,20 p.]

⇒ La concentració de l'ió  $\text{Ba}^{2+}$  en el carbonat de bari és  $5,65 \times 10^{-5} \text{ M}$ .

La concentració de l'ió  $\text{Ba}^{2+}$  en el sulfat de bari és  $1,05 \times 10^{-5} \text{ M}$  i la concentració de l'ió  $\text{Ba}^{2+}$  en el carbonat de bari és  $5,65 \times 10^{-5} \text{ M}$ .

⇒ El carbonat de bari serà més soluble en aigua. Per tant, hi haurà més ions  $\text{Ba}^{2+}$  en solució i provocarà més al·lèrgia.

[0,20 p.]

#### Raonament 2. Relació $K_{ps}$ i solubilitat

Les dues sals són del tipus AB amb estequiometria 1:1 i, per tant, la seva relació entre la  $K_{ps}$  i la solubilitat és la mateixa.

Així, el carbonat de bari, que té major  $K_{ps}$  serà més soluble en aigua i provocarà més al·lèrgia:

⇒  $K_{ps} \uparrow \Rightarrow [\text{Ba}^{2+}] \uparrow$  perquè són sals amb la mateixa estequiometria.

⇒ El carbonat de bari serà més soluble en aigua. Per tant, hi haurà més ions  $\text{Ba}^{2+}$  en solució i provocarà més al·lèrgia.

[0,75 p.]

7. La litiasi urinària consisteix en la presència de càlculs al ronyó o a les vies urinàries deguts a concentracions altes de certes substàncies que hauríem d'eliminar per l'orina. En la litiasi càlcica, que és la més freqüent, aquests càlculs es formen a causa d'un augment de la concentració de calci en l'orina, que provoca la precipitació de diverses sals, com ara el fosfat de calci,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

a) Podem dissoldre, a  $25^\circ\text{C}$ , un càlcul d'1,25 mg de fosfat de calci en 10,0 L d'aigua? Raoneu-ho quantitativament.

[1,25 punts]

b) En quatre tubs d'assaig hi posem una mica de fosfat de calci sòlid en contacte amb 10 mL de solució aquosa saturada d'aquesta sal. Afegim a cadascun dels tubs uns mil·lilitres de les solucions que es mostren a la taula següent:

Tub	Tub 1	Tub 2	Tub 3	Tub 4
Substància afegida	$\text{CaCl}_2(\text{aq})$	$\text{HCl}(\text{aq})$	$\text{EDTA}(\text{aq})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Expliqueu, raonadament i qualitativament, què observarem en cada tub.

[1,25 punts]

NOTA: EDTA (àcid etilendiaminotetraacètic): lligand orgànic que forma complexos solubles amb molts ions metàl·lics (inclosos els alcalinoterris).

DADES: Masses atòmiques relatives: O = 16,0; P = 31,0; Ca = 40,1.

Producte de solubilitat del fosfat de calci a  $25^\circ\text{C}$ :  $K_{ps} = 2,07 \times 10^{-33}$ .

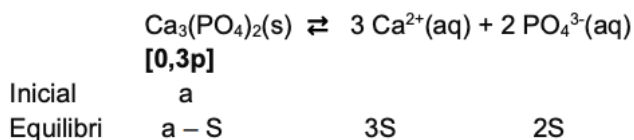
## Solució:

### Pregunta 7a

#### Raonar, quantitativament, la possible dissolució del fosfat de calci

##### Càlcul de la solubilitat del fosfat de calci

Equilibri de solubilitat: (S és la solubilitat en mol/L)



L'expressió del producte de solubilitat és:  $K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]^2$

[0,3 p]

D'aquí deduïm que:  $K_{ps} = (3S)^3 \cdot (2S)^2 = 108 S^5$

Aïllem:  $S = (K_{ps} / 108)^{1/5} = (2,07 \times 10^{-33} / 108)^{1/5}$

$S = 1,1389 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

⇒ es poden dissoldre, com a màxim,  $1,1389 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  de fosfat de calci

[0,3 p]

##### Calculem quina quantitat màxima podem dissoldre en 10,0 L:

Massa molecular fosfat de calci =  $(3 \times 40,1) + (2 \times 31,0) + (8 \times 16,0) = 310,3 \text{ g/mol}$

$10 \text{ L} \times (1,1389 \times 10^{-7} \text{ mol} / 1 \text{ L}) \times (310,3 \text{ g} / 1 \text{ mol}) \times (1000 \text{ mg} / 1 \text{ g}) =$   
**= 0,353 mg fosfat de calci**

[0,2 p]

##### Comparació

Tenim 1,25 mg de fosfat de calci; aquest valor és superior a la quantitat màxima soluble en 10,0 L (**0,353 mg fosfat de calci**).

⇒ no podem dissoldre 1,25 mg de fosfat de calci en 10,0 L d'aigua

[0,15 p]

### Pregunta 7b

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$  en contacte amb 10 mL de solució saturada.

Reacció de solubilitat:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) \rightleftharpoons 3 \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{PO}_4^{3-}(\text{aq})$

#### Què succeeix en el tub 1: afegim $\text{CaCl}_2(\text{aq})$

[0,35 p]

Afegim una sal que ens aporta més ions  $\text{Ca}^{2+}$ . La reacció de solubilitat es desplaçarà cap a l'esquerra (reactius) per arribar a un nou estat d'equilibri.

⇒ observarem la formació de més precipitat de fosfat de calci.

#### Què succeeix en el tub 2: afegim $\text{HCl}(\text{aq})$

[0,3 p]

Afegim un àcid. Aquest reaccionarà amb l'ió fosfat (base feble) per formar hidrogenfosfat. Aquesta reacció desplaça l'equilibri de solubilitat del fosfat de calci cap a la dreta (solubilització).

Reacció (*opcional*):  $\text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{HPO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$

⇒ observarem que es dissolt una part del fosfat de calci (o tot)

#### Què succeeix en el tub 3: afegim $\text{EDTA}(\text{aq})$

[0,3 p]

Afegim un reactiu (liligand EDTA) que forma un complex soluble amb l'ió  $\text{Ca}^{2+}$ . El reactiu reacciona amb l'ió calci i desplaça l'equilibri de solubilitat del fosfat de calci cap a la dreta (solubilització).

Reacció (*opcional*):  $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{R}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaR}^{2+}(\text{aq})$   
( $\text{R} = \text{EDTA}$ ; la càrrega del complex depèn de la càrrega del reactiu)

⇒ observarem que es dissolt una part del fosfat de calci (o tot).

#### Què succeeix en el tub 4: afegim aigua

[0,3 p]

Afegim més aigua (dissolvent). La solubilitat ens diu la quantitat màxima de mols (o grams) que es pot dissoldre en un volum determinat de dissolvent. Com més dissolvent tinguem, més quantitat de fosfat de calci dissoldrem.

⇒ observarem que es dissolt una part del fosfat de calci (o tot).