

## Unitat 17. Equilibris iònics heterogenis

### Solubilitat i producte de solubilitat ( $K_{ps}$ )

1. La taula següent mostra els valors de la constant del producte de solubilitat ( $K_{ps}$ ) de diferents compostos iònics a 25 °C:

$K_{sp}$ Values for Some Ionic Compounds at 25°C		
Name	Formula	$K_{sp}$
Aluminum hydroxide	$Al(OH)_3$	$1.9 \times 10^{-33}$
Barium carbonate	$BaCO_3$	$2.6 \times 10^{-9}$
Calcium carbonate	$CaCO_3$	$5.0 \times 10^{-9}$
Calcium fluoride	$CaF_2$	$1.5 \times 10^{-10}$
Lead(II) chloride	$PbCl_2$	$1.2 \times 10^{-5}$
Lead(II) chromate	$PbCrO_4$	$2.8 \times 10^{-13}$
Silver chloride	$AgCl$	$1.8 \times 10^{-10}$
Silver sulfate	$Ag_2SO_4$	$1.2 \times 10^{-5}$

- Quin és el compost menys soluble de tots? Raona la resposta.
- Escriu l'equació química dels **equilibris iònics heterogenis** de dissolució d'aquests compostos.
- Escriu l'expressió de la **constant del producte de solubilitat ( $K_{ps}$ )** de tots els compostos.

### 2.1.

El producte de solubilitat d'una sal en aigua:

#### Resposta

1.  És una constant que només depèn de la temperatura.
2.  És una constant que depèn de la temperatura i el volum de la dissolució emprada.
3.  No és constant, ja que canvia si hi afegim una altra sal amb un ió comú.
4.  No és constant, ja que la solubilitat de la sal augmenta si hi posem més dissolvent.

### 2.2

Sabem que les constants del producte de solubilitat dels carbonats de ferro(II), de cobalt(II) i de manganès(II), són, respectivament:  $2,1 \cdot 10^{-11}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-10}$  i  $5 \cdot 10^{-10}$ . Podem afirmar que:

#### Resposta

1.  La sal més soluble de totes tres és el carbonat de ferro(II).
2.  La sal més insoluble és el carbonat de ferro(II).
3.  El carbonat de ferro(II) és més soluble que el de manganès(II), però menys que el de cobalt(II).
4.  La sal més insoluble és el carbonat de cobalt(II).

### 2.3.

La solubilitat del fluorur de bari en aigua pura, i a 25 °C, és  $1,315 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Quin valor té el seu producte de solubilitat, si sabem que les masses atòmiques relatives del fluor i del bari són, respectivament, 19,0 i 137,7?

#### Resposta

1.   $0,68 \cdot 10^{-6}$
2.   $1,68 \cdot 10^{-6}$
3.   $2,68 \cdot 10^{-6}$
4.   $3,68 \cdot 10^{-6}$

### 2.4.

La constant del producte de solubilitat de l'hidròxid de calci és  $7,9 \cdot 10^{-6}$ . Quina és la quantitat màxima d'hidròxid de calci (massa molecular relativa=74,1) que es pot dissoldre en 100 mL d'una solució de pH=14?

#### Resposta

1.   $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ g}$
2.   $5,85 \cdot 10^{-5} \text{ g}$
3.   $7,9 \cdot 10^{-7} \text{ g}$
4.   $5,85 \cdot 10^{-4} \text{ g}$

### 3. PAU 2008 sèrie 4

4. La fluorita és un mineral constituït per fluorur de calci ( $\text{CaF}_2$ ) que generalment es troba en massissos granítics.

4.1. Considerant que el fluorur de calci és pràcticament insoluble en aigua, calculeu, expressant el resultat en  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , la solubilitat en aigua d'aquesta sal a  $25^\circ\text{C}$ .

[1 punt]

4.2. El fluor és un element indispensable per al bon estat de les nostres dents. L'absència de fluorurs en la dieta propicia la càries, per bé que un excés no és desitjable, atès que en aquest cas les dents esdevenen fràgils i trencadisses. Per això, es recomana que l'aigua de boca presenti una concentració d'ions fluorur d' $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , sense sobrepassar la concentració d' $1,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Calculeu la concentració de fluorurs en una aigua de duresa alta, amb  $320 \text{ mg}$  de catió calci per litre, saturada de fluorur de calci. S'ajusta aquesta aigua a les recomanacions?

[1 punt]

DADES:  $K_{\text{ps}}$  (fluorur de calci,  $25^\circ\text{C}$ ) =  $4,0 \cdot 10^{-11}$ .

F = 19,0; Ca = 40,1.

*Resultats:  $16,8 \text{ mg CaF}_2 / \text{L}$  ;  $1,35 \text{ mg F/L}$  l'aigua s'ajusta a les recomanacions*

#### 4. PAU 2009 sèrie 4

4. A 25 °C, es prepara una solució saturada d'hidròxid de zinc en aigua i el seu pH és 8,5.
- 4.1. Calculeu el valor de la constant producte de solubilitat,  $K_{ps}$ , de l'hidròxid de zinc a 25 °C i la massa d'hidròxid de zinc que hi ha dissolta en 5 L d'una solució saturada d'hidròxid de zinc en aigua.  
[1,5 punts]
- 4.2. Calculeu la solubilitat de l'hidròxid de zinc en una solució de clorur de zinc  $1,5 \cdot 10^{-2}$  M.  
[0,5 punts]
- DADES: Masses atòmiques relatives: H = 1,0; O = 16,0; Zn = 65,4.

Resultats:  $K_{ps}=1,58 \cdot 10^{-17}$ ;  $7,85 \cdot 10^{-4}$  g  $Zn(OH)_2$ ;  $s' = 1,6 \cdot 10^{-8}$  M

## Reaccions de precipitació

### 1. PAU 2018 sèrie 3

Les Dolomites, als Alps italians, són unes muntanyes espectaculars, amb rutes d'escalada llargues i exigents. Estan formades per roca carbonatada molt dura composta principalment per carbonat de magnesi, a diferència de les muntanyes d'altres indrets d'Europa, en què predomina el carbonat de calci.

a) Escriviu l'equació de l'equilibri de solubilitat del carbonat de magnesi i calculeu-ne la solubilitat molar en aigua a 25 °C.

[1 punt]

b) Tenim una mostra d'aigua, procedent d'un bassal, que conté  $9,1 \times 10^{-4}$  M d'ions de magnesi i  $8,3 \times 10^{-4}$  M d'ions de calci. En agafar 100,0 mL d'aquesta mostra d'aigua i afegir-hi 1,0 mL d'una solució de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1,0 M, observem que es forma un precipitat blanc. Diguen, a partir dels càlculs que considereu necessaris, si el precipitat blanc està format per carbonat de calci, carbonat de magnesi o una barreja de tots dos, i justifiqueu la resposta.

[1 punt]

DADES: Producte de solubilitat a 25 °C:  $K_{ps}$  (carbonat de calci) =  $5,0 \times 10^{-9}$ ;  
 $K_{ps}$  (carbonat de magnesi) =  $1,0 \times 10^{-5}$ .

## 2. PAU 2013 sèrie 1

1. La fluorització de l'aigua potable consisteix en l'addició limitada i controlada d'ions fluorur en el sistema públic d'aigua potable, amb l'objectiu de reduir el risc de càries dental de la població, tot i que actualment se'n discuteix l'efectivitat. Aquest fluorur s'afegeix habitualment en forma de fluorur de sodi fins a tenir una concentració de  $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  de fluorur. Quan l'aigua potable d'una ciutat és dura, perquè conté molta quantitat d'ions  $\text{Ca}^{2+}$ , pot precipitar el fluorur de calci.

a) Quina és la concentració màxima d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  (expressada en  $\text{mol L}^{-1}$ ) que pot contenir l'aigua perquè no es produeixi un precipitat de fluorur de calci?

[1 punt]

b) Si se'ns forma un precipitat de 10,0 g de fluorur de calci, quina quantitat mínima d'aigua pura necessitarem afegir per a dissoldre'l?

[1 punt]

DADES: Producte de solubilitat del fluorur de calci:  $K_s = 3,9 \times 10^{-11}$   
Masses atòmiques relatives: F = 19; Ca = 40

Resultats: a) La concentració màxima de calci perquè no precipiti el  $\text{CaF}_2$  és  $1,56 \cdot 10^{-2} \text{ M}$   
b)  $s = 2,136 \cdot 10^{-4} \text{ mol / L}$ ; Volum mínim d'aigua: 600,2 L.

### 3. PAU 2014 sèrie 4

6. Les solucions fertilitzants a base de sulfat de zinc provoquen problemes a les plantes quan s'apliquen per via foliar. Per a evitar aquests efectes tòxics es recomana modificar el pH de la solució de sulfat de zinc fins que comenci a precipitar  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ .



Fulles afectades per l'aplicació d'un fertilitzant a base de sulfat de zinc.

- a) Calculeu la solubilitat del  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , expressada en  $\text{mol L}^{-1}$ .  
[1 punt]
- b) Si tenim una solució fertilitzant que conté  $1,8\text{ g/L}$  de sulfat de zinc, quin pH hem de fixar perquè comenci a precipitar  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ?  
[1 punt]

DADES: Constant del producte de solubilitat del  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ :  $K_{\text{ps}} = 6,87 \times 10^{-17}$   
 Massa molecular relativa del sulfat de zinc =  $161,4$   
 Constant d'ionització de l'aigua, a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ :  $K_{\text{w}} = 1,00 \times 10^{-14}$

Resultats: a)  $s = 2,58 \cdot 10^{-6}\text{ mol/L}$  b)  $[\text{OH}] = 7,84 \cdot 10^{-8}\text{ mol/L} \rightarrow \text{pOH} \rightarrow \text{pH} = 6,9$

## Factors que modifiquen la solubilitat

### 1.1.

L'hidròxid de magnesi és un compost molt poc soluble en aigua. Per dissoldre un precipitat d'aquesta substància podem:

#### Resposta

1.  Addicionar clorur de magnesi.
2.  Addicionar àcid nítric.
3.  Addicionar hidròxid de potassi.
4.  Addicionar clorur de sodi.

### 1.2.

Un precipitat de carbonat de plata està en equilibri amb una solució saturada de la sal. Quina solució concentrada s'haurà d'afegir perquè el precipitat es dissolgui, total o parcialment?

#### Resposta

1.  Hidròxid de sodi.
2.  Nitrat de plata.
3.  Àcid nítric.
4.  Carbonat de sodi.

### 1.3.

L'amoníac reacciona amb la plata formant un complex molt estable. Si a l'aigua que utilitzem per a dissoldre el clorur de plata, li afegim una solució aquosa d'amoníac:

#### Resposta

1.  Necessitarem més aigua per dissoldre-ho.
2.  Necessitarem menys aigua per dissoldre-ho.
3.  Necessitarem la mateixa quantitat d'aigua, ja que l'amoníac formarà clorur amònic.
4.  Necessitarem la mateixa quantitat d'aigua, ja que el ió amoni no forma el complex amb la plata.



## 2. PAU 2014 sèrie 3

2. Les aigües dures, a causa de la presència d'ions calci i altres ions metàl·lics, són un problema a les llars perquè poden formar fàcilment compostos insolubles com el  $\text{CaCO}_3$  que provoquen avaries en les conduccions i en els electrodomèstics.

a) Una mostra d'aigua conté 40 mg/L d'ions  $\text{Ca}^{2+}$ . Calculeu la concentració mínima d'ions carbonat que hauria de contenir aquesta aigua, en  $\text{mol L}^{-1}$ , perquè precipiti  $\text{CaCO}_3$  a 25 °C.

[1 punt]

b) La solubilitat del  $\text{CaCO}_3$  es manté, disminueix o augmenta quan la sal es dissol en una solució aquosa de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ? I si es dissol en una solució aquosa d'àcid clorhídric? Argumenteu les respostes.

[1 punt]

DADES: Constant del producte de solubilitat del  $\text{CaCO}_3$ , a 25 °C:  $K_{ps} = 4,8 \times 10^{-9}$   
Massa atòmica relativa: Ca = 40,0

Resultats: a) 40 mg/L = 0,001 mol/L ;  $[\text{CO}_3^{2-}] = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ M}$  precipitarà  $\text{CaCO}_3$

b) raonar efecte ió comú; raonar reacció àcid-base entre els ions carbonat i els  $\text{H}^+$

### 3. PAU 2008 sèrie 2

4. El sulfat d'alumini es fa servir en el tractament i la clarificació d'aigües i de solucions aquoses. Amb aquesta finalitat, es dissol el sulfat d'alumini en l'aigua, i a continuació, en addicionar hidròxid de sodi, es forma un precipitat gelatinós d'hidròxid d'alumini que s'enduu i sedimenta bona part dels contaminants que es troben en suspensió.

4.1. Escriviu la reacció corresponent a l'equilibri de solubilitat de l'hidròxid d'alumini ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) i calculeu el pH d'una solució saturada d'hidròxid d'alumini en aigua.

[1,5 punts]

4.2. Raoneu com solubilitzaríeu un precipitat d'hidròxid d'alumini.

[0,5 punts]

DADES:  $K_{ps}$  (hidròxid d'alumini, 25 °C) =  $3,7 \cdot 10^{-15}$ .

*Resultats:*

$$\text{pOH} = -\log 3,25 \cdot 10^{-4} = 3,49$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3,49 = 10,51$$

#### 4. PAU 2007 sèrie 3

4. Atesa l'abundància en l'aigua de mar, on majoritàriament es troba en forma de clorur, el magnesi és un element pràcticament inesgotable. A la mar Morta, per exemple, amb unes aigües amb un elevat contingut en sals minerals, la concentració de  $Mg^{2+}$  és  $44,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

4.1. A  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  anem afegint, gota a gota, a 1 L d'aigua procedent de la mar Morta, una solució concentrada d'hidròxid de sodi fins a arribar a un  $\text{pH} = 12,0$ . Considerant que el volum de la solució afegida és negligible, calculeu la molaritat de l'ió  $Mg^{2+}$  a aquest  $\text{pH}$  i la massa d'hidròxid de magnesi que haurà precipitat.

[1,5 punts]

4.2. Expliqueu com podríeu dissoldre, mitjançant procediments químics, un precipitat d'hidròxid de magnesi. Escriviu la reacció corresponent.

[0,5 punts]

DADES:  $K_{ps}$  (hidròxid de magnesi,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) =  $3,4 \cdot 10^{-11}$ .

Masses atòmiques: H = 1,0; O = 16,0; Mg = 24,3.

Resultats:  $[Mg^{2+}] = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ M}$ ;  $105,5 \text{ g Mg(OH)}_2$

## 5. PAU 2018 sèrie 1

L'atzurita és un mineral que conté, entre altres substàncies, hidròxid de coure(II). S'utilitza força en joieria perquè és d'un color blau intens molt característic.

a) Quina massa d'hidròxid de coure(II) podem dissoldre si una peça de joieria que conté atzurita cau en un recipient en què hi ha 1,0 L d'aigua acidulada amb un pH de 6,0? Expresseu el resultat en mil·ligrams.

[1 punt]

b) La solubilitat de l'hidròxid de coure(II) en aigua destil·lada és més alta o més baixa que en una solució aquosa de  $\text{CuCl}_2$ ? La formació de complexos de coure(II), afegint-hi per exemple  $\text{NH}_3$ , augmenta o disminueix la solubilitat de l'hidròxid de coure(II)? Justifiqueu les respostes.

[1 punt]

DADES: Masses atòmiques relatives: H = 1,0; O = 16,0; Cu = 65,5.

Constant del producte de solubilitat de l'hidròxid de coure(II) a 25 °C:

$$K_{ps} = 2,20 \times 10^{-20}.$$

Constant d'ionització de l'aigua a 25 °C:  $K_w = 1,00 \times 10^{-14}$ .