

QUÍMICA DEL AGUA

MASTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN DEL AGUA

Año de realización: 2011-2012

PROFESOR/A

Ana Karina Boltes Espínola

Índice Asignatura

1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA
2. PROCESOS DE EQUILIBRIO QUÍMICA DEL AGUA (I)
Acido Base - Producto de solubilidad
3. **PROCESOS DE EQUILIBRIO QUÍMICA DEL AGUA (II)**
Solubilidad de gases - Sistema carbonato
4. TRABAJOS EN GRUPO
5. TRANSFORMACIONES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL AGUA (I). Contaminantes más abundantes
6. **TRANSFORMACIONES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL AGUA (II).** Contaminantes minoritarios (trazas)
7. **MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN**
8. **TRABAJOS EN GRUPO**



Sesión 1

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

Más claro.... agua

(Del lat. *aqua*).

1. f. Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora.

Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.

El agua es la especie química más importante.

Esencial para la vida animal y vegetal

Estructura molecular

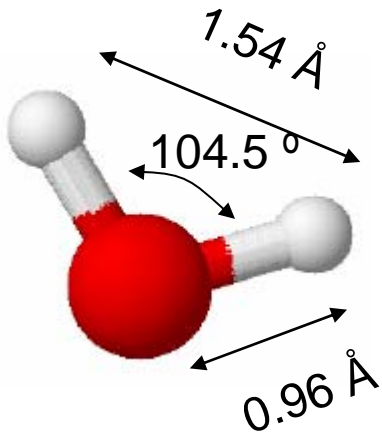
Densidad

Puntos de fusión y ebullición

Calor específico-Capacidad calorífica y Calor de vaporización

Absorción de radiación

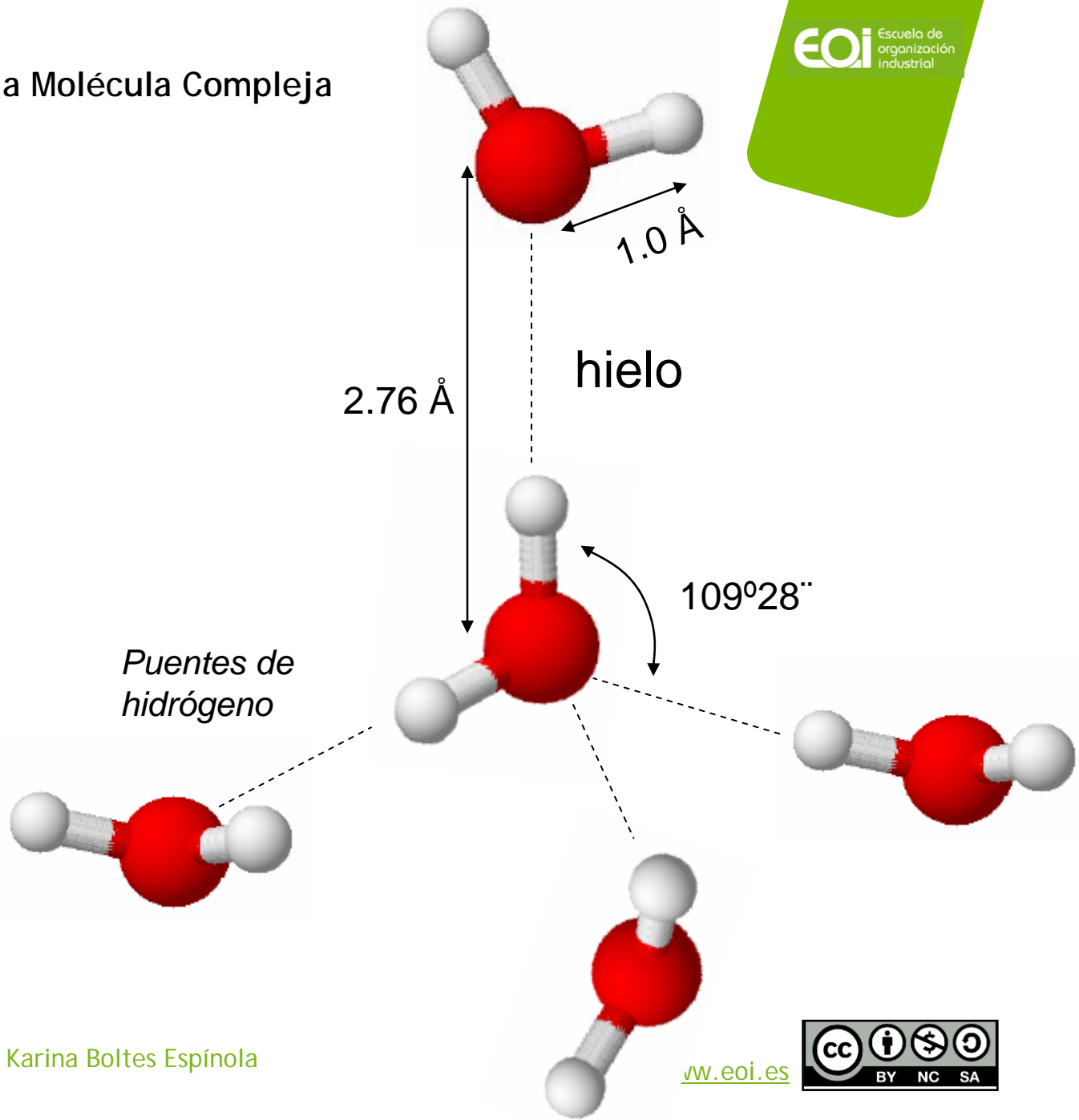
Agua Formula Sencilla Molécula Compleja



molécula de agua

polaridad del enlace y electrones no compartidos

$$\mu = 1.85 \text{ Debye}$$



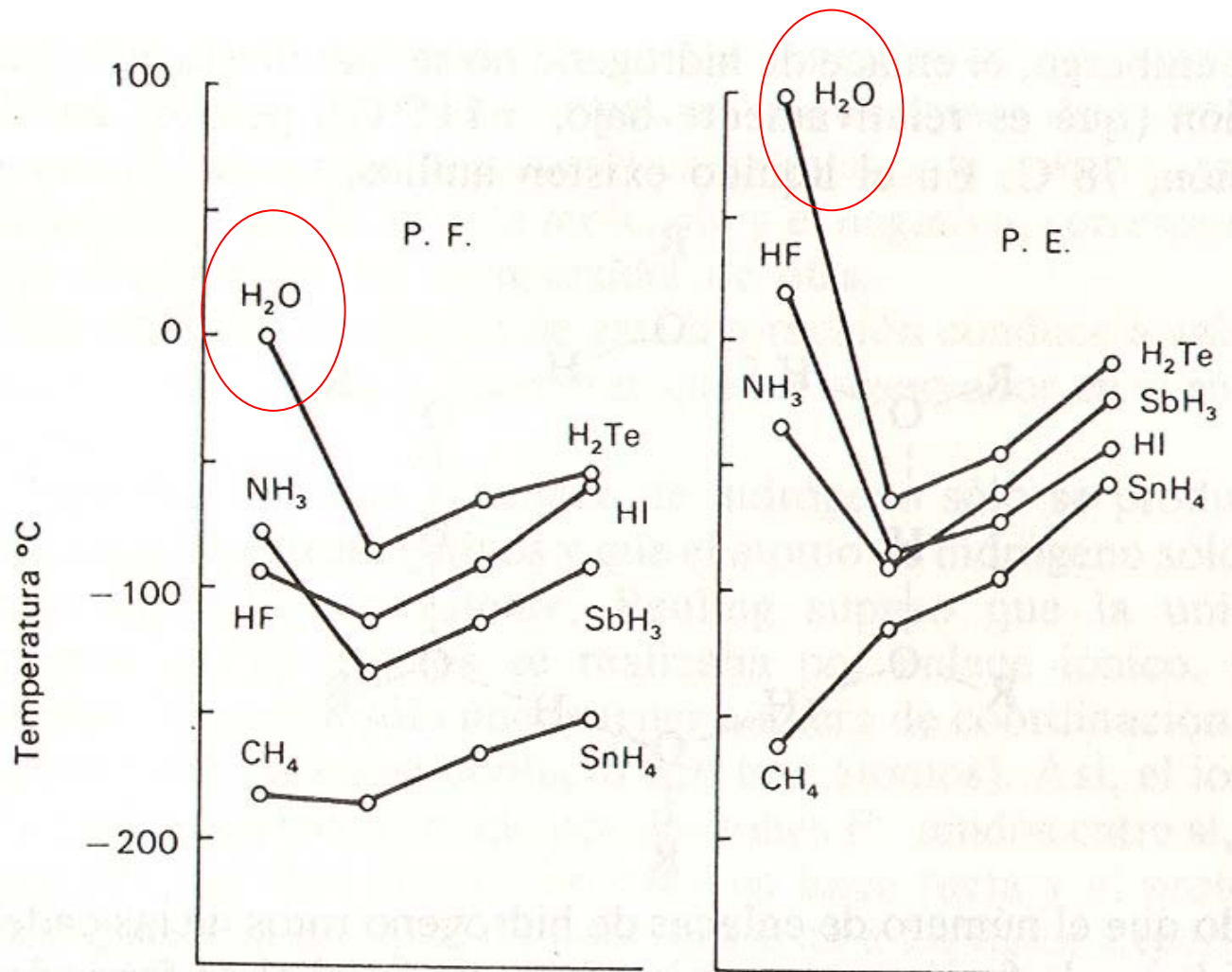
Puentes de hidrógeno

hielo

Puntos de fusión y ebullición

14	15	16	17
6 C carbon 12.0107(6)	7 N nitrogen 14.0067(2)	8 O oxygen 15.9994(3)	9 F fluorine 18.9984032(5)
14 Si silicon 28.0855(3)	15 P phosphorus 30.973762(2)	16 S sulfur 32.065(5)	17 Cl chlorine 35.453(2)
32 Ge germanium 72.64(1)	33 As arsenic 74.92160(2)	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.904(1)
50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I

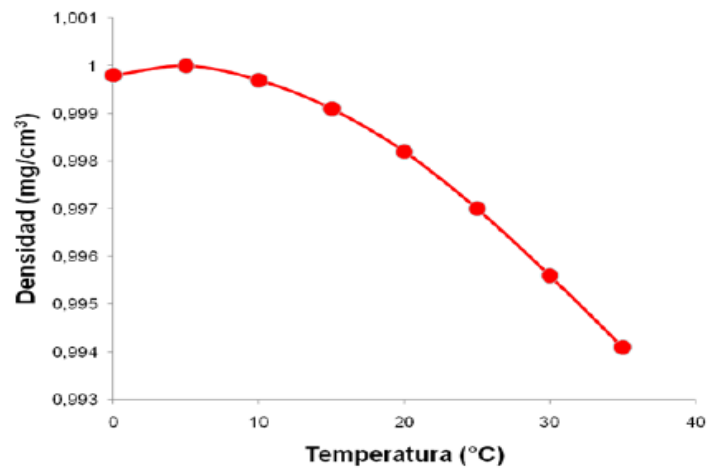
Puntos fusión y ebullición de hidruros a 1 atm (°C)		
Compuesto	Punto de fusión	Punto de ebullición
NH ₃	-77	-33.4
OH ₂	0	100
FH	-83	19.5
SH ₂	-85.5	-60.5
SeH ₂	-41.5	-66



Magnitudes dependientes de la asociación molecular: puntos de fusión y de ebullición.
Enlaces puente de hidrogeno, van der Waals

Densidad del agua

Único líquido común que se expande al congelarse



	T °C	Densidad g/cm ³
hielo	0	0.9168
agua líquida	0	0.999868
	4	1.000000
	10	0.999727
	15	0.999126
	20	0.998230
	25	0.997071

más agrupaciones moleculares con menos moléculas

moléculas aisladas que tapan huecos de agrupaciones moleculares

Viscosidad es normal
 Disminuye con aumento de presión (anormal)

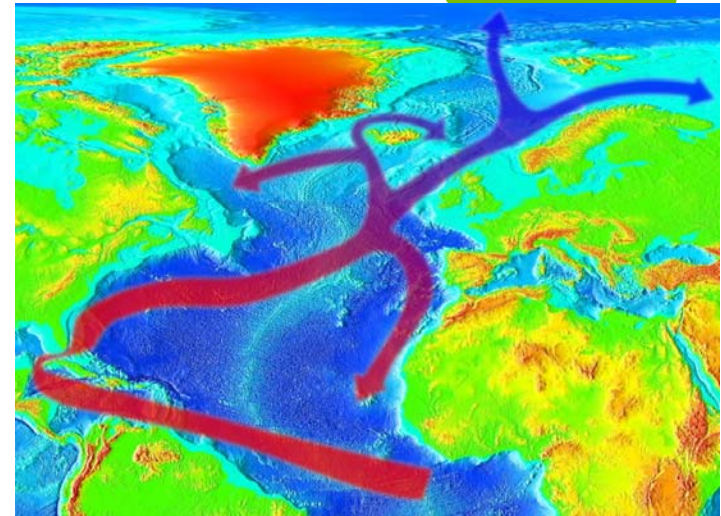
Capacidad calorífica (C)

Calor específico (Cp)

$$C_p = C/\text{masa}$$

Sustancia	Cp (J/g °C)
Arena	0.835
Madera	0.48
Asfalto	0.92
Aire	1.012
Gasolina	2.22
Acero	0.501

Agua	Cp (J/g °C)
Gas (100 °C)	2.080
Líquido (25 °C)	4.181
Sólido (0 °C)	2.114



Gulfstream 80 10^6 m³/s

Energía transferida $4.6 \cdot 10^{13}$ Kcal/h

Equivale a + 170 Ton carbón

Conductividad térmica aumenta con temp

Es máxima a 130 °C

La del hielo es 4 veces mayor que liquido

AGUA (H₂O)

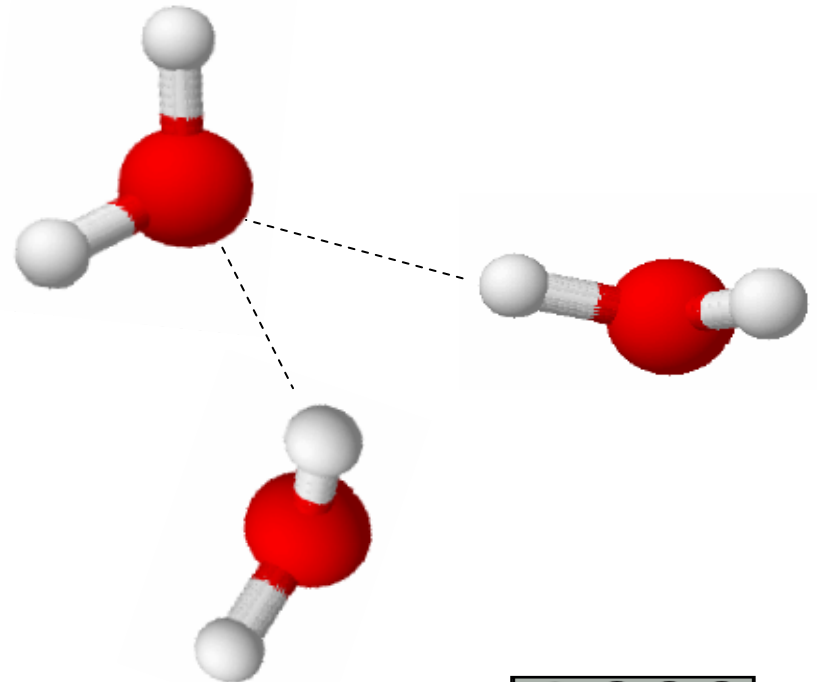
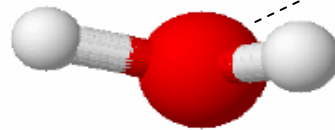
P. Molecular	18.016	ΔH fusión a T fusión y 1 atm	6.0095 kJmol ⁻¹
P. Congelación	0.00 °C	ΔH vaporización a T ebullición y 1 atm	40.656 kJmol ⁻¹
P. Ebullición	100.00 °C	ΔH^0 formación agua líquida	- 285.84 kJmol ⁻¹
T. Crítica	647.4 K	ΔH^0 formación agua vapor	- 241.83 kJmol ⁻¹
Pres. Crítica	218.3 atm	Cp (0 -100 °C)	75.4 Jmol ⁻¹ °C ⁻¹

Tensión superficial (γ)

72.75 din/cm 20°C muy elevada

Disminuye con aumento de temperatura

Se explica por pérdida de uno
de los 4 puentes de H₂

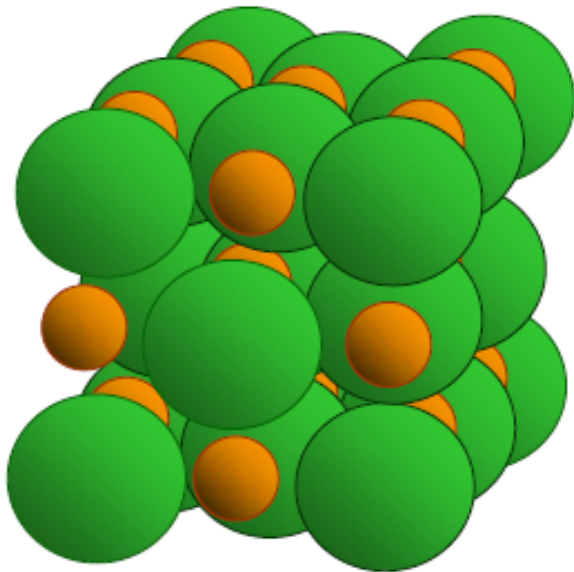


Elevados valores de γ y su naturaleza
dipolar originan *capilaridad*

La palabra **agua** se utiliza como **sinónimo** de **solución/suspensión** acuosa diluida de compuestos orgánicos e inorgánicos que constituyen los diversos tipos de sistemas acuáticos

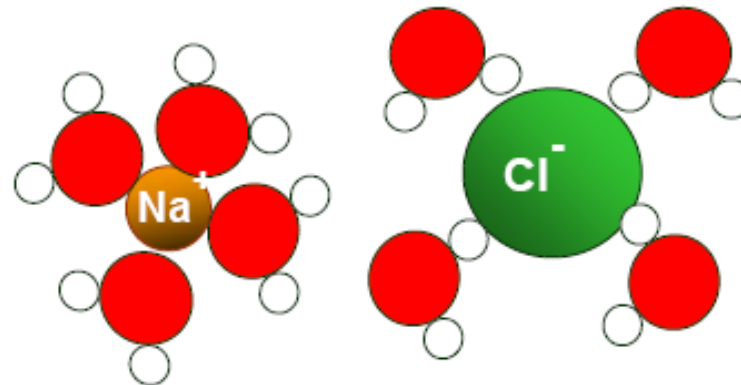
Evaporación y deposición en continentes en forma de precipitación, de composición variable en función de las sustancias presentes en la atmósfera

Buen disolvente



Energía de red 788 kJ mol^{-1}

Punto de fusión $801 \text{ }^{\circ}\text{C}$

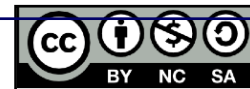


DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO

de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano



(mg/L)	Agua superficial cuenca no granítica	Agua superficial cuenca granítica	Agua de pozo
SiO ₂	1.2	9.5	10
Fe(III)	0.02	0.07	0.09
Ca ²⁺	36	4.0	92
Mg ²⁺	8.1	1.1	34
Na ⁺	6.5	2.6	8.2
K ⁺	1.2	0.6	1.4
HCO ₃ ⁻	119	18.3	339
SO ₄ ²⁻	22	1.6	84
Cl ⁻	13	2.0	9.6
NO ₃ ⁻	0.1	0.41	13
Sol. dis. total.	165	34	434
Dureza total (CaCO ₃)	123	14.6	369



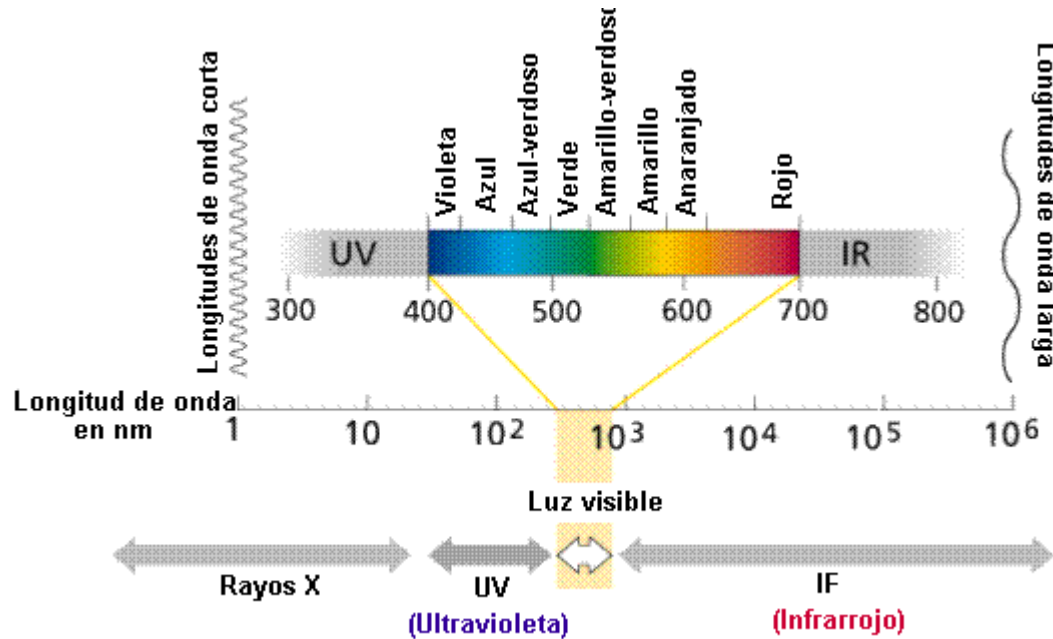
PARAMETROS	Río Henares	U080311	U080506
SS (mgL ⁻¹)	1.85	3.95	6.35
ST (mgL ⁻¹)	410.00		
Turbidez (NTU)	2.35	4.93	6.30
Conduct. (μscm ⁻¹)	797	855	962
pH	7.83	7.08	7.31
DQO (mgO ₂ L ⁻¹)	26	61	58
N-NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	5.2	4.8	<0.5
N-NH ₄ ⁺ (mgL ⁻¹)	1.3	13.4	<16
P-PO ₄ ³⁻ (mgL ⁻¹)	0.5	0.38	0.54
DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	1.99	8.10	3.8
TOC (mgL ⁻¹)	4.36	5.09	5.84
IC (mgL ⁻¹)	43.04	59.10	62.75
Alcalinidad (mgL ⁻¹ CaCO ₃)	230	200	270

TABLE 1

Compound	pKa ^a	Log Kow ^b	Influent (ng/L)			Effluent (ng/L)			Removal Efficiency (%)
			Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	
4-amino-antipyrine (4-AA)	4.3	-0.07 ^c	3325	262	1517	2253	127	676	55.4
4-methylaminoantipyrine (4-MAA)	4.3	0.39 ^c	1894	314	880	1098	34	291	66.9
Acetaminophen	9.4	0.46	37458	1571	23202	< LOQ	< LOQ	< LOQ	100
Antipyrine	1.4	0.38	72	< LOQ	40	58	< LOQ	27	32.8
Atenolol	9.6	0.16	2432	660	1197	2438	517	1025	14.4
Bezafibrate	3.3	4.25	361	48	141	280	33	128	9.1
Benzophenone-3	7.6	3.82	904	< LOQ	393	121	< LOQ	86	78.2
Caffeine	10.4	0.07	65625	5010	22849	1589	< LOQ	1176	94.9
Carbamazepine	13.9	2.30	173	106	129	173	69	117	9.5
Ciprofloxacin	8.9	-1.08	13625	160	5524	5692	< LOQ	2378	57.0
Clofibric acid	3.2	2.57	127	< LOQ	26	91	< LOQ	12	54.2
Codeine	8.2	1.14	2087	150	521	319	< LOQ	160	69.3
Diclofenac	4.2	4.51 ^d	561	< LOQ	232	431	6	220	5.0
Diuron	NA	2.78	196	30	109	81	2	42	61.5
Erythromycin	8.9	2.54	2310	< LOQ	346	760	< LOQ	331	4.3
Fenofibric acid	2.9	4.00 ^c	117	< LOQ	79	129	< LOQ	78	1.3
Fluoxetine	10.1	1.95	1827	< LOQ	585	929	34	223	61.9
Furosemide	3.9	2.03	1051	< LOQ	413	666	< LOQ	166	59.8
Galaxolide	-	5.90 ^e	24971	< LOQ	10022	2766	< LOQ	1225	87.8
Gemfibrozil	4.7	4.77 ^c	17055	415	3525	5233	3	845	76.0
Hydrochlorothiazide	7.9	-0.20	10018	617	2514	1702	679	1176	53.2
Ibuprofen	4.9	3.50	4113	< LOQ	2687	653	< LOQ	135	95.0
Indomethacin	4.5	4.27	113	< LOQ	42	59	20	37	11.1
Ketoprofen	4.5	3.12	801	< LOQ	441	539	277	392	11.2
Ketorolac	3.5	-0.27 ^f	2793	< LOQ	407	607	< LOQ	228	43.9
Mefenamic Acid	4.2	5.12	220	101	141	163	87	138	1.8
Metoprolol	9.6	1.88	52	< LOQ	20	38	< LOQ	19	6.5
Metronidazole	2.4	-0.02	165	44	90	127	< LOQ	55	38.7
N-acetyl-4-amino-antipyrine (4-AAA)	4.6	-0.13 ^c	22200	1760	8333	6745	< LOQ	4489	46.1
Naproxen	4.2	3.18	5228	1196	2363	2208	359	923	60.9
Metronidazole	2.4	-0.02	165	44	90	127	< LOQ	55	38.7
N-acetyl-4-amino-antipyrine (4-AAA)	4.6	-0.13 ^c	22200	1760	8333	6745	< LOQ	4489	46.1
Naproxen	4.2	3.18	5228	1196	2363	2208	359	923	60.9
N-formyl-4-amino-antipyrine (4-FAA)	5.0	0.50 ^c	71000	1005	17579	27444	< LOQ	5593	68.2
Nicotine	8.0	1.17	11671	< LOQ	4368	158	< LOQ	81	98.7
Ofloxacin	7.9	-0.39	5286	848	2275	1651	< LOQ	816	64.1
Omeprazole	7.1	2.23	2134	57	365	922	< LOQ	334	8.5
Paraxanthine	8.5	-0.39 ^c	98500	4547	26722	1796	< LOQ	836	96.9
Propranolol	9.4	3.09	61	12	36	57	< LOQ	36	1.0
Ranitidine	1.9	0.27	1466	< LOQ	524	942	< LOQ	360	31.2
Sulfamethoxazole	5.7	0.89	530	162	279	370	104	231	17.3
Tonalide	-	5.70 ^e	1932	< LOQ	952	315	< LOQ	146	84.7
Triclosan	7.8	4.53	2417	< LOQ	860	512	< LOQ	219	74.5
Trimethoprim	6.8	0.91	197	78	104	148	< LOQ	99	5.1

Absorción de la radiación

Es transparente a la radiación visible y UV cercano



Enlaces H-O-H resuena con radiación solar . Vapor de agua absorbe energía

Otras vibraciones moleculares absorción de radiación infrarroja (emitida por la tierra). Gas efecto invernadero más importante

Sesión 2

PROCESOS DE EQUILIBRIO QUÍMICO EN EL
AGUA (I)

Expresión de la concentración de especies en el agua

Reacciones ácido base: pH, pKa

Producto de solubilidad y precipitación se sales

Expresión de la concentración de especies en el agua

MOLARIDAD (M), MOLALIDAD (m), NORMALIDAD (N)

$$M = \frac{\text{moles soluto}}{L \text{ disolucion}} = \frac{g \text{ soluto}/M_w}{L \text{ disolucion}}$$

$$m = \frac{\text{moles soluto}}{\text{kg disolvente}} = \frac{g \text{ soluto}/M_w}{\text{kg disolvente}}$$

$$N = \frac{\text{equivalente soluto}}{L \text{ disolucion}} = \frac{g \text{ soluto}/\text{peso equivalente}}{L \text{ disolucion}} \rightarrow \text{meq/L}$$

$$\text{peso equivalente} = \frac{M_w}{\text{carga ion}} \Leftrightarrow \frac{M_w}{H^+ / OH^- \text{ transferidos}} \Leftrightarrow \frac{M_w}{e^- \text{ transferidos}}$$

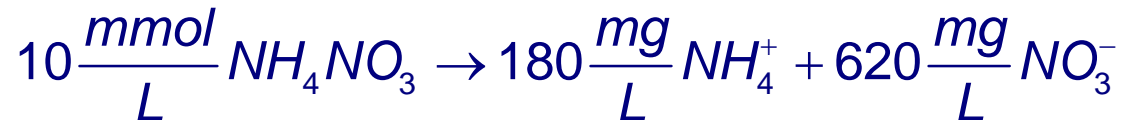
p/p: mg/kg (ppm), $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)

p/v: mg/L, $\mu\text{g}/\text{L}$, ng/L $\rightarrow \rho \cong 1 \rightarrow$ ppm, ppb, ppt

$\rho \cong 1$ aguas residuales y naturales excepto agua de mar y salmueras

v/v a T y P determinados: mezclas de gases

Cada especie química se expresa en la **forma que aparece en la solución**

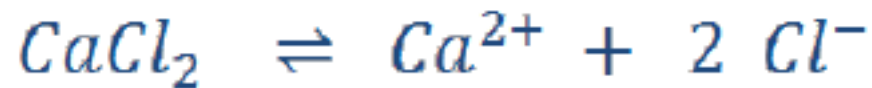


Se **desglosa la concentración de elementos** comunes a distintas especies químicas

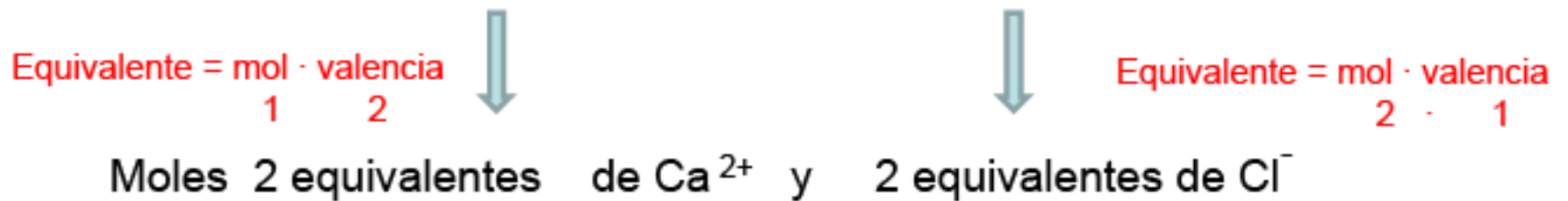
$$N - \text{NH}_4^+ = 140 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$N - \text{NO}_3^- = 140 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Normalidad



Moles 1 mol de Ca^{2+} y 2 moles de Cl^-



Numero de equivalentes de cationes = Número de equivalentes de aniones

Equilibrio Químico



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

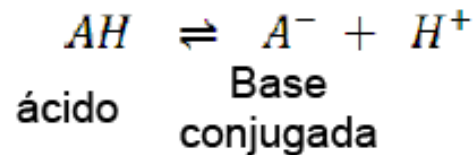
$$pX = -\log X$$

Constante de disociación o ionización

Constante del producto de solubilidad

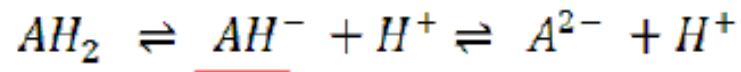
Reacciones ácido-base

Según la definición de Bronsted y Lowry, los ácidos son las sustancias capaces de ceder protones y las bases son las sustancias capaces de aceptar protones.



$$K_a = \frac{[A^{-}] \cdot [H^{+}]}{[AH]} \quad \text{Constante de disociación}$$

Ácidos polipróticos aquellos que pueden ceder varios electrones





$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

Se disocia poco. $[H_2O]$ es aprox cte

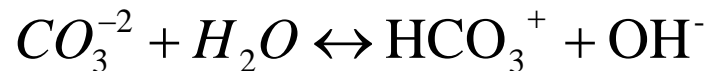
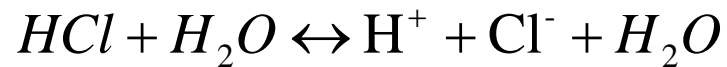
$$K_w = 1 \times 10^{-14} = [H^+][OH^-] \text{ a } 25^\circ C$$

$$pH = -\log[H^+] \quad [H^+] = 10^{-pH}$$

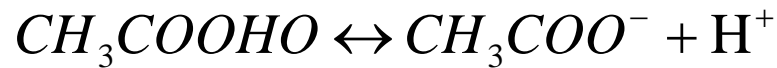


Las sustancias que pueden actuar como ácidos o bases según el medio se llaman *anfóteros*.

El agua es un anfótero



Constante de ionización



$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 10^{-4.76}$$

El grado de disociación de un ácido es función del pH

$$\frac{K_a}{[H^+]} = \frac{K_a}{10^{-pH}} = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 10^{-4.76}$$

$$pH = pK_a + \text{Log} \left(\frac{[\text{base conjugada}]}{[\text{forma no disociada}]} \right)$$

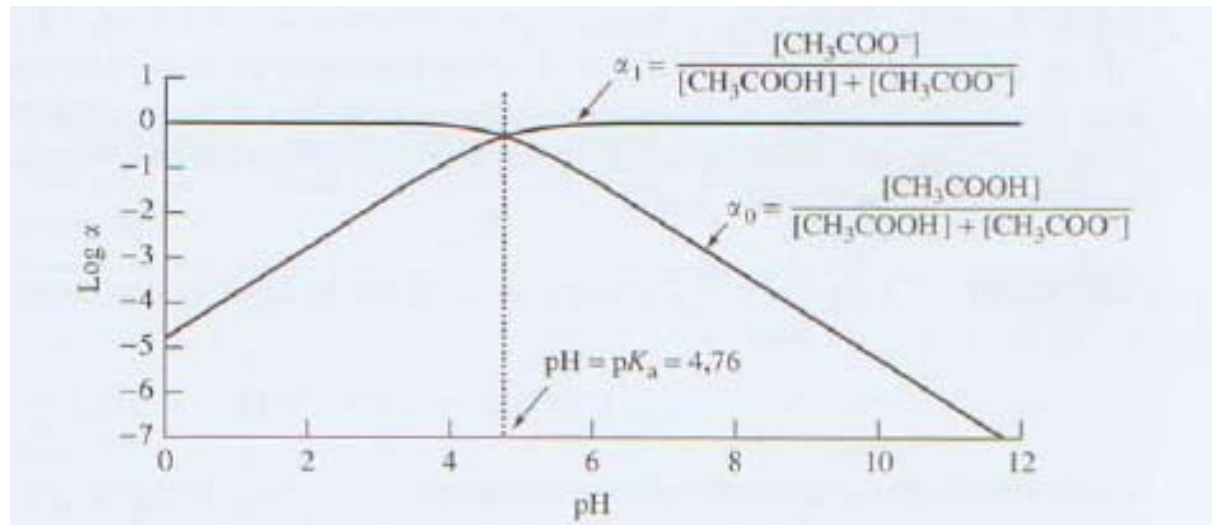


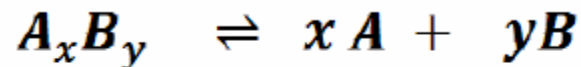
TABLA 2.2. Constantes de disociación y fórmulas químicas para algunos ácidos de importancia medioambiental

Ácido	Fórmula	$\text{p}K_{a1}$	$\text{p}K_{a2}$	$\text{p}K_{a3}$
Ácido nítrico	HNO_3	-1,30	—	—
Ácido clorhídrico	HCl	< 0	—	—
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	< 0	1,99	—
Ácido fosfórico	H_3PO_4	2,16	7,20	12,35
Ácido arsénico	H_3AsO_4	2,24	6,76	—
Ácido cítrico	$\text{C}_3\text{H}_4\text{OH}(\text{COOH})_3$	3,13	4,72	6,33
Ácido acético	CH_3COOH	4,76	—	—
Ácido carbónico	H_2CO_3	6,35	10,33	—
Ácido sulfídrico	H_2S	6,99	12,92	—
Ácido hipocloroso	HOCl	7,60	—	—
Ión amonio	NH_4^+	9,26	—	—
Ácido silícico	H_4SiO_4	9,84	13,20	—

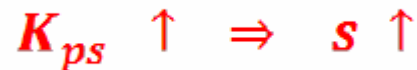
SOLUBILIDAD Y PRODUCTO DE SOLUBILIDAD

Solubilidad de un soluto. Cantidad de soluto necesaria para formar una disolución saturada en una cantidad dada de disolvente.

Producto de solubilidad. Es la constante de equilibrio para el equilibrio que se establece entre un soluto sólido y sus **iones** en una disolución saturada

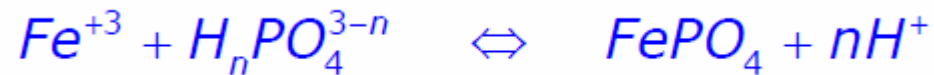


$$K_{ps} = [A]^x \cdot [B]^y$$



Compuesto	K_{ps} 25°C
CaCO_3	$5 \cdot 10^{-9}$
MgCO_3	$2 \cdot 10^{-8}$
Al(OH)_3	$5 \cdot 10^{-33}$
Fe(OH)_3	$1 \cdot 10^{-38}$
Fe(OH)_2	$2 \cdot 10^{-15}$
Mg(OH)_2	$1 \cdot 10^{-11}$
Ca(OH)_2	$5 \cdot 10^{-6}$
$\text{Fe(PO}_4)_3$	$1.3 \cdot 10^{-22}$

En tratamiento de aguas se usan las reacciones de precipitación para eliminar compuestos no deseados



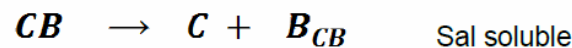
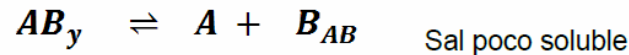
TEMPERATURA

Generalmente la solubilidad de las sales aumenta con la temperatura CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaSO_4 , FePO_4 , son sustancias importantes en la química del agua que transgreden la norma

EFEECTO ION COMUN

La solubilidad de un compuesto iónico poco soluble disminuye en presencia de un segundo soluto que proporcione un ión común.

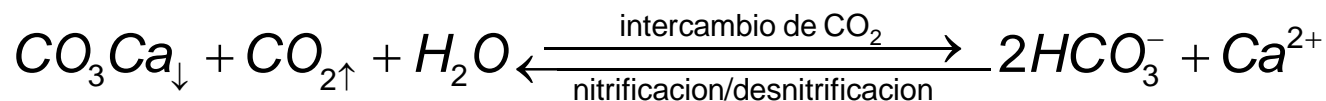
Una sal es menos soluble si unos de sus iones se encuentra ya en disolución

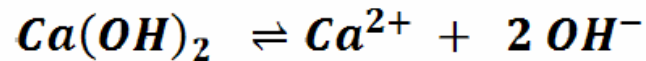


$$K_{ps} = [A] \cdot ([B]_{AB} + [B]_{CB})$$

↓
↑

PROCESOS NATURALES





$$K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2$$

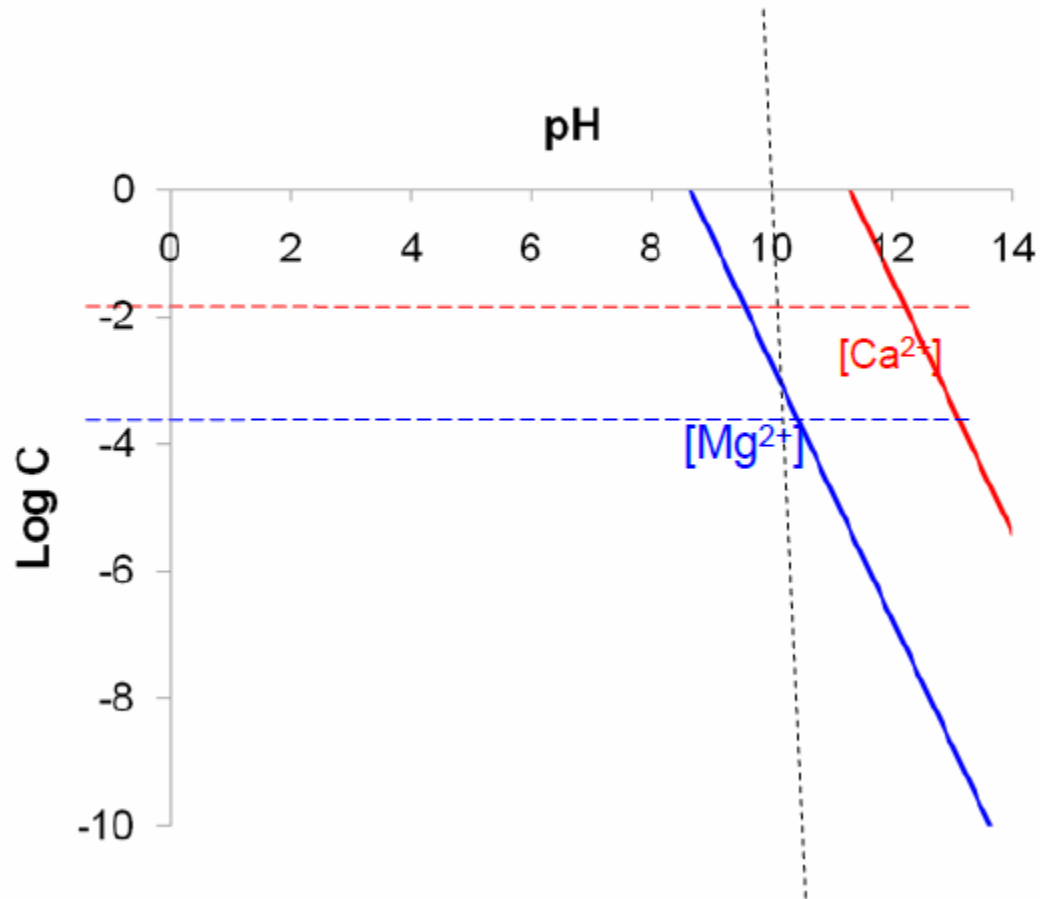
$$\log K_{ps} = \log [\text{Ca}^{2+}] + 2 \cdot \log [\text{OH}^-]$$

$$\log [\text{Ca}^{2+}] = 22.6 - 2 \cdot \text{pH}$$

$$\log [\text{Mg}^{2+}] = 17,26 - 2 \cdot \text{pH}$$

$$\log [\text{Fe}^{3+}] = 4 - 3 \cdot \text{pH}$$

VARIACIÓN DE LA SOLUBILIDAD CON pH



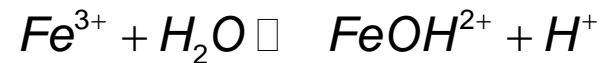
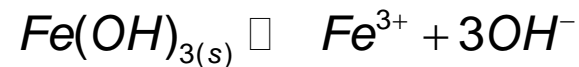
Producto de solubilidad condicionado

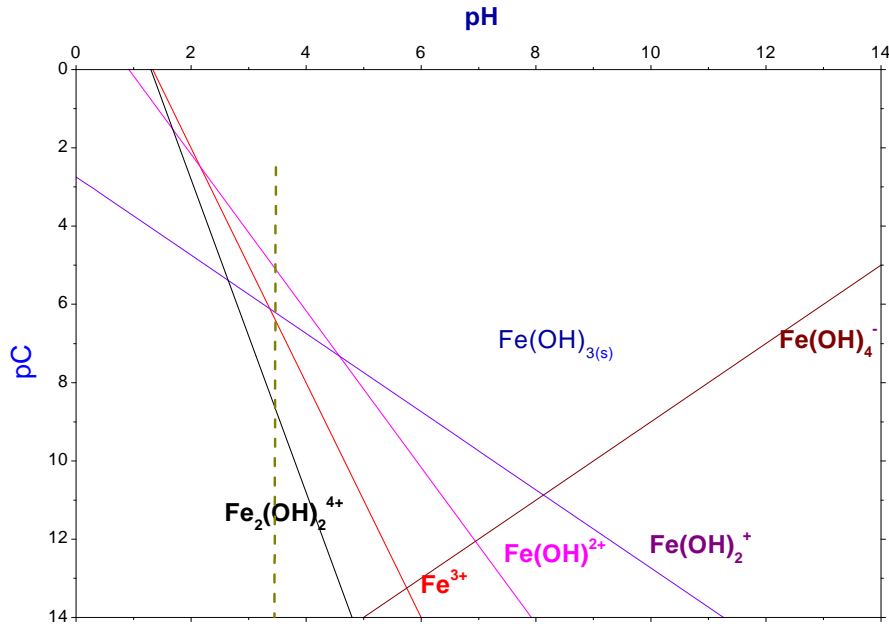
Se utiliza en la determinación de la solubilidad de precipitados cuyos iones interactúan con los constituyentes de la solución mediante reacciones como formación de complejos o hidrólisis.

En general se determina la concentración de especies (complejos) y no de los iones libres

$$K_{so} = \alpha_M \alpha_A (C_{TM})(C_{TA}) = \alpha_M \alpha_A P_s$$

$$\alpha_M = \frac{[M^+]}{(C_{TM})} // \alpha_A = \frac{[A^-]}{(C_{TA})}$$





$$pH: 3.5 \rightarrow C_{T,Fe(III)} = 8.9 \times 10^{-6} \rightarrow \alpha_{Fe} = \frac{[Fe^{3+}]}{C_{T,Fe(III)}} = 0.035$$

$$[Fe^{3+}] = 10^{-6.5}$$

$$[Fe(OH)^{2+}] = 10^{-5.1}$$

$$[Fe(OH)_2^+] = 10^{-6.2}$$

$$[Fe_2(OH)_2^{4+}] = 10^{-8.6}$$

$$C_{T,Fe(III)} = [Fe^{3+}] + [Fe(OH)^{2+}] + [Fe(OH)_2^+] + [Fe(OH)_4^-] + 2[Fe_2(OH)_2^{4+}]$$

Todas las especies en equilibrio con $Fe(OH)_{3(s)}$.

Para un pH determinado las líneas del diagrama determinan las concentraciones de saturación de cada una de las especies. Por encima de ellas: sobresaturación.

CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN - DISOLUCIÓN

nucleación, crecimiento del cristal, envejecimiento y maduración

Crecimiento de cristales (Nancollas y Reddy)

$$\frac{dC}{dt} = -kS(C - C^*)^n \rightarrow \frac{d[Ca^{2+}]}{dt} = -kS([Ca^{2+}] - [Ca^{2+}]^*)^2$$

Disolución (Walton)

$$\frac{dC}{dt} = kS(C^* - C)$$

El alcance de la precipitación/disolución dependerá de la cinética del proceso y del tiempo de residencia. Además de otros factores como tamaño de partículas, envejecimiento, formación de complejos, adsorción, etc.

TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS

Adición de sustancias para alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión y facilitar su eliminación por sedimentación

Tiene un interés creciente por el hecho de mejorar la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes

		Mw	Densidad, kg/L	
			Seca	Líquida
Sulfato de alumina	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	666.7	0.961 – 1.201	1.250 – 1.281 (49%)
	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$	594.3	0.961 – 1.201	1.330 – 1.361 (49%)
Cloruro férrico	FeCl_3	162.1		1.345 – 1.490
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400		
	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	454		1.120 – 1.153
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	278.0	0.993 – 1.057	
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	56 como CaO	0.560 – 0.800	

CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN - DISOLUCIÓN

nucleación, crecimiento del cristal, envejecimiento y maduración

Crecimiento de cristales (Nancollas y Reddy)

$$\frac{dC}{dt} = -kS(C - C^*)^n \rightarrow \frac{d[Ca^{2+}]}{dt} = -kS([Ca^{2+}] - [Ca^{2+}]^*)^2$$

Disolución (Walton)

$$\frac{dC}{dt} = kS(C^* - C)$$

El alcance de la precipitación/disolución dependerá de la cinética del proceso y del tiempo de residencia. Además de otros factores como tamaño de partículas, envejecimiento, formación de complejos, adsorción, etc.

Coloides

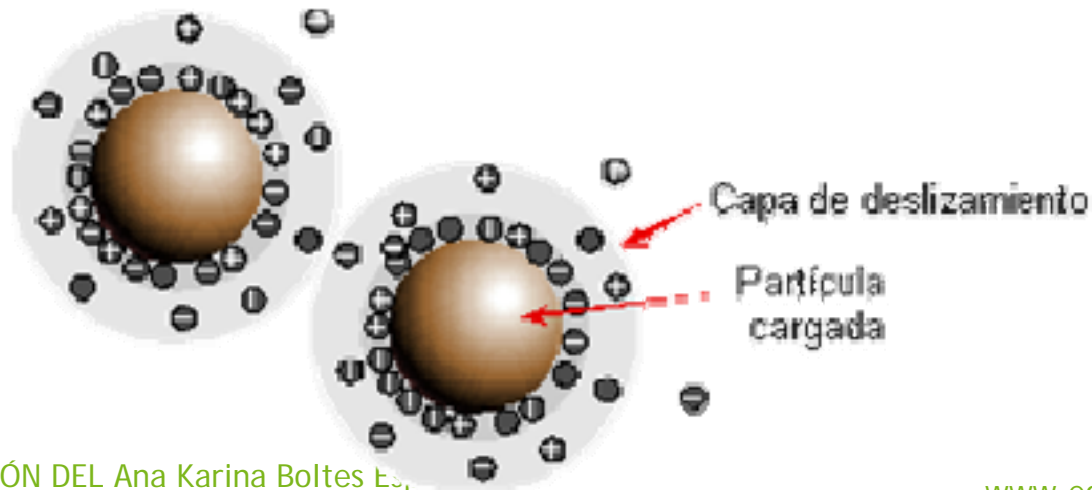
Materia particulada en suspensión de tamaño muy

Pequeño < 1 micra

Mayoritariamente de naturaleza mineral, además de compuestos orgánicos y microorganismos

Espontáneamente no pueden sedimentar por cargas electrostáticas (repulsión)

Las micelas se encuentran solvatadas, cargadas electricamente y con capacidad para desplazarse bajo la acción de un campo eléctrico



Proceso de precipitación de coloides

1- **Coagulación.** proceso químico de neutralización de cargas (desestabilización de partículas). Rápido. Se agregan coagulantes químicos

2- **Floculación.** proceso físico de aumento de volumen del microflóculo inicial. Lento. Se agregan coadyuvantes

3- **Precipitación.** proceso físico de sedimentación de los flóculos de mayor tamaño. Lento

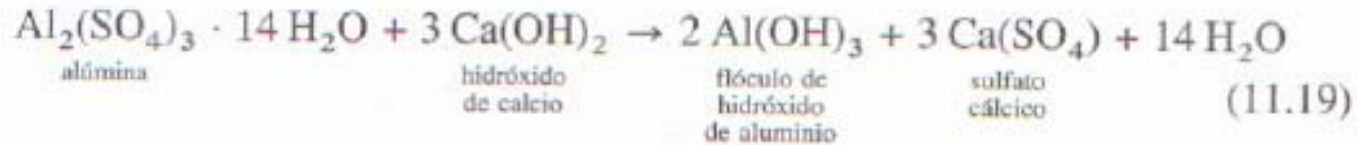


TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS

Adición de sustancias para alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión y facilitar su eliminación por sedimentación

Tiene un interés creciente por el hecho de mejorar la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes

		Mw	Densidad, kg/L	
			Seca	Líquida
Sulfato de alumina	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	666.7	0.961 – 1.201	1.250 – 1.281 (49%)
	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$	594.3	0.961 – 1.201	1.330 – 1.361 (49%)
Cloruro férrico	FeCl_3	162.1		1.345 – 1.490
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400		
	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	454		1.120 – 1.153
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	278.0	0.993 – 1.057	
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	56 como CaO	0.560 – 0.800	



Formación de flóculos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ con agregado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal) como coadyuvante

Otros coadyuvantes muy utilizados **polielectrolitos** (catiónicos y aniónicos). Muy caros. Dosis 1:200 respecto al coagulante

Uso de coagulantes y polielectrolitos para eliminación de turbidez

Clase de agua	Descripción del agua	Alúmina	Sulfato ferroso	Polielectrólito
A	Alta turbidez > 5 NTU Alta alcalinidad > 250 mg/l HCO ₃ (fácil de tratar)	Efectiva si pH 5-7	Efectiva si pH 5-7	No necesario
B	Alta turbidez Baja alcalinidad > 50 mg/l HCO ₃	Efectiva si pH 5-7 + cal	Efectiva si pH 5-7 + cal	No necesario
C	Baja turbidez Alta alcalinidad	Ayuda de polielectrólito esencial	Ayuda de polielectrólito esencial	Esencial
D	Baja turbidez < 1 NTU Baja alcalinidad < 50 mg/l HCO ₃ (difícil de tratar)	Sólo posible con cal y polielectrólito	Sólo posible con cal y polielectrólito	Esencial

Fuerza iónica

Ejercicio

$$I = \frac{1}{2} \cdot \sum c_B \cdot z_B^2$$

c : concentración molar o molal (no ideales)

z : carga de ión

Composición media de los ríos del mundo

ion	mg/kg
Ca ²⁺	15
Mg ²⁺	4.1
Na ⁺	6.3
K ⁺	2.3
ion	mg/kg
HCO ₃ ⁻	58.4
SO ₄ ²⁻	11.2
Cl ⁻	7.8
NO ₃ ⁻	1

Ejercicio

Determinar el contenido de N y P total de las aguas analizadas en tres épocas del año

	N-NO ₃ (mg/l) †	
rio henares	5.2	P 30.97 g/mol
U080311	4.8	N 14 g/mol
U080506	0.5	
	N-NH ₄ (mg/l)	
rio henares	1.3	
U080311	13.4	
U080506	16	
	P-PO ₄ (mg/l)	
rio henares	0.5	
U080311	0.38	
U080506	0.54	

Ejercicios resueltos en clase

1- Determinar las concentraciones de H^+ y OH^- del zumo de tomate con pH 4.1. Resp: $[H^+] 7.94 \cdot 10^{-5} M$; $[OH^-] 1.26 \cdot 10^{-10} M$

2- El cloro se utiliza como ingrediente activo en la mayoría de los blanqueantes caseros y muy empleado en la desinfección del agua. El cloro se halla en forma de ácido hipocloroso ($HOCl$), un desinfectante mucho más fuerte que el hipoclorito (OCl^-), su radical. Si se utiliza un blanqueante para desinfectar agua, determinar por debajo de qué pH debe mantenerse el agua para que al menos el 95% del cloro añadido esté en forma de ácido hipocloroso. Resp: pH 6.32

3- Determinar el pH de una disolución que contiene $3 \cdot 10^{-4}$ ppm de OH^- a $25^\circ C$ Resp: 6.24

4- El HCl se ioniza en agua completamente en agua, calcular el pH de una disolución que contiene 25 ppm del ácido. Resp: 3.1

5- El ácido hipocloroso se ioniza parcialmente según la siguiente expresión:



Considerando que la cantidad de ácido no dissociado es función del pH, determinar la fracción de $HOCl$ (α_0) a los valores de pH de 6, 8 y 10. Resp: 0.97; 0.26 y $3.45 \cdot 10^{-3}$