

4 | Mescles i solucions



Les solucions o dissolucions són mescles homogènies de composició variable. Un compost químic també és un sistema homogeni però la seva composició és invariable.

Les solucions juguen un paper important en la naturalesa i en la nostra vida: l'aigua del mar i la dels rius quan són transparents, l'aigua que bevem i el petroli en són exemples.

Per a molts processos naturals és indispensable que la matèria es trobi en forma de solució. Així, les arrels de les plantes prenen els aliments de terra en forma de solució; els aliments que ingerim primer s'han de solubilitzar durant la digestió per passar a la sang i de la sang als diversos teixits del cos.

Igualment, en els laboratoris i en la indústria química, els reactius que s'utilitzen es troben, la majoria de vegades, en forma de solució. La causa que es procedeixi així és que una reacció química entre substàncies sòlides és molt lenta, ja que la reacció només es produeix en la superfície de contacte entre els reactius. En canvi, si els sòlids a reaccionar es dissolen en el mateix dissolvent, en trobar-se en forma de molècules o ions, amb llibertat de moviment, xocaran sovint entre ells i reaccionaran més ràpidament.



1. Un cristall de quars pur és una substància homogènia composta exclusivament de diòxid de silici.



2. El granit es compon de tres fases que es diferencien a simple vista: els minerals quars, feldspat i mica.



4. El sulfat de níquel hidratat és un sòlid de color verd. En afegir uns cristalls a l'aigua, es trenquen o disgreguen en partícules petitíssimes —que en aquest cas són ions— i s'obté una solució de color verd.

1 | Mescles homogènies i heterogènies

La matèria que ens envolta no sol estar constituïda per substàncies pures, sinó que habitualment està formada per **mescles de substàncies**. El petroli, l'oli, la llet, la terra, les roques estan formades per una mescla de substàncies diferents. També l'aigua dels rius, la del mar i la que bevem conté substàncies dissoltes.

Les mescles poden ser **homogènies** o **heterogènies**, paraules que deriven del grec, en què *homós* significa igual i *héteros*, diferent.

Una matèria és **homogènia** quan apareix com un tot uniforme i, per tant, presenta les mateixes propietats i la mateixa composició en tots els punts de la seva massa.

Qualsevol mescla de gasos és homogènia: per diferenciar les molècules gasoses en la mescla, cal descendir al nivell molecular. L'aigua de l'aixeta i l'aigua ensucrada són exemples de mescles homogènies.

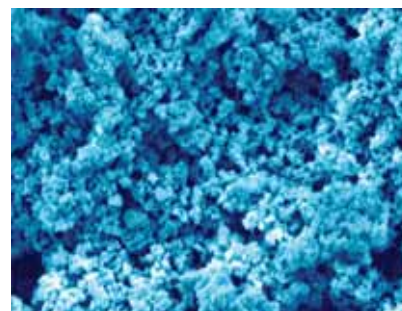
Totes les **substàncies pures**, és a dir, les formades per una sola classe de matèria, són homogènies. Metalls com el ferro, l'or i l'argent, gasos com l'oxigen i el nitrogen, líquids com l'aigua destil·lada són exemples de substàncies pures i cadascuna és homogènia.

Hi ha altres classes de matèria que, a ull nu, amb una lupa o amb un microscopi òptic, podem observar que estan formades per dues o més classes de matèries diferents. Quan això passa, la matèria examinada rep el nom de **mescla heterogènia** o simplement **mescla**.

Cada part homogènia d'un sistema heterogeni s'anomena **fase**.

Les mescles de l'aire, que contenen partícules sòlides de pols en suspensió, o la mescla de sal i de sucre, són exemples de mescles heterogènies.

L'abast de l'homogeneïtat depèn de l'escala d'observació, que convé especificar. No és el mateix «homogeni a la vista» que «homogeni al microscopi».



3. Pasta de dents homogènia a simple vista i heterogènia al microscopi.

2 | Dispersions

Un tipus molt freqüent de mescles són les **dispersions**. En aquestes es distingeix un **medi dispersant**, generalment més abundant, en què es troben dispersos els altres components. El medi dispersant pot trobar-se en qualsevol dels tres estats: sòlid, líquid o gasós.

Les dispersions en què el component dispers, igual que el medi dispersant, es troba repartit a nivell molecular, atòmic o iònic, es denominen **solucions**.

Les partícules que formen una solució són tan petites que no es distingeixen ni utilitzant els més potents microscopis òptics. Les solucions són **mescles homogènies de composició variable**. Les més corrents són aquelles en què el medi dispersant és un líquid. (Figs. 4 i 5).

El vas de la figura 6 conté aigua i argila. En agitar, les partícules d'argila no es dissolen sinó que resten «suspeses» a l'aigua, la qual cosa dóna lloc a un líquid tèrbol. És el que s'anomena una **suspensió**.

Les suspensions són dispersions en què els components dispersos tenen un diàmetre més gran que 1 μm . Les partícules disperses, en alguns casos, no són visibles a ull nu però ho són utilitzant una lupa o un microscopi ordinari. A causa de la seva grandària, no passen a través d'un paper de filtre. Per les seves característiques, una suspensió és una mescla heterogènia. Si una suspensió es deixa d'agitar, al cap d'un cert temps les seves partícules es dipositen al fons. Es diu que **sedimenta**.



6. El líquid tèrbol, mescla d'argila i d'aigua és una suspensió. Al cap d'un cert temps, si no s'agita, l'argila es diposita al fons del vas.



5. El iode, sòlid de color gris, es dissol en alcohol. La solució, de color marró fosc, està formada per molècules de iode i d'alcohol. Aquesta solució es coneix amb el nom de tintura de iode.

En aquest text s'utilitza la paraula **dissolució** per referir-se al procés en el qual una substància es dispersa en una altra, i la paraula **solució**, per designar el líquid transparent obtingut en l'esmentat procés. Tanmateix, les paraules **dissolució** i **solució** són sinònims i poden utilitzar-se indistintament.

Un altre tipus de dispersions conté partícules disperses en un medi en què tampoc no es dissolen i la seva grandària és intermèdia entre el de les suspensions i el de les dissolucions. Les partícules «suspeses» poden quedar en aquesta situació indefinidament, és a dir, no se sedimenten per l'acció de la gravetat. Una mescla d'aquest tipus s'anomena dispersió **col·loïdal** o **col·loide**.

Moltes dispersions col·loïdals tenen un aspecte nebulós o lletós i les seves partícules no es veuen a ull nu ni amb un microscopi corrent, però la seva presència es reconeix amb l'anomenat ultramicroscopi. En les dispersions col·loïdals, els components dispersos tenen diàmetres entre 1 i 100 nm, aproximadament. Les propietats de les dispersions col·loïdals no coincideixen del tot amb les de les dissolucions ni amb les pròpies de les suspensions.

Alguns exemples de dispersions col·loïdals o col·loides són les dissolucions de macromolècules: la maionesa, la clara d'ou, la nata, les pintures, els fums, les boires, les geles o els esprais.

El coneixement profund de les propietats físiques i químiques dels col·loides és actualment molt important perquè l'estructura de la majoria dels teixits del nostre cos és de naturalesa col·loïdal. La nutrició, la digestió i altres funcions del nostre organisme estan relacionades amb els col·loides.

3 | Solucions

Ja hem indicat que una solució (o dissolució) és una mescla homogènia de composició variable, formada per dos o més components.

Els components d'una solució s'anomenen solut i dissolvent. El **solut** és la substància que es dissol, és a dir, la que es disgrega o es dispersa en una altra substància, que és el **dissolvent**.

En el cas de solucions de sòlids en líquids, com el cas del sucre dissolt en aigua, no hi ha cap dubte que el sucre és el solut i l'aigua el dissolvent.

En el cas de solucions entre líquids o entre gasos, la distinció entre el solut i el dissolvent és arbitrària. Així, l'alcohol i l'aigua es dissolen l'un en l'altre en totes proporcions.

En aquests casos, se sol anomenar dissolvent el component que es troba en una quantitat més gran.

4 | Tipus de solucions

El tipus més corrent de solució és el d'un sòlid dissolt en un líquid. Atès que el solut pot ser un sòlid, un líquid o un gas i el mateix passa amb el dissolvent, hi ha tipus diferents de solucions: gasoses, líquides i sòlides.



7. La gasosa és una beguda carbònica, solució líquida en la qual el solut dissolt és el diòxid de carboni (gas).

| Solucions gasoses

Com que els gasos estan formats per molècules separades les unes de les altres, tots els gasos es dispersen o es difonen fàcilment entre ells. El resultat és una mescla homogènia, és a dir, una solució. Els gasos es dissolen entre ells en qualsevol proporció.

Així, per exemple, l'aire és una dissolució de diferents gasos: dioxigen, dinitrogen, argó, diòxid de carboni, vapor d'aigua, etc.

| Solucions líquides

a) Gas dissolt en un líquid

Per exemple, l'amoníac, que és un gas que, si el fem bombollear dins l'aigua, s'hi dissol. El mateix passa amb el diòxid de carboni. Totes les begudes carbòniques contenen diòxid de carboni dissolt.

b) Líquid dissolt en un altre líquid

Per exemple l'alcohol i l'aigua. També la gasolina és una solució formada per diversos líquids.

c) Sòlid dissolt en un líquid

Per exemple la sal dissolta en aigua o el sofre en sulfur de carboni.

Entre les solucions líquides, les més freqüents són les que tenen com a dissolvent l'aigua, i s'anomenen **solucions aquoses**.

Quan parlem d'una solució, si no s'esmenta el dissolvent, se sobreentén que és l'aigua.

| Solucions sòlides

Per exemple, si es fonen conjuntament coure (sòlid de color rogenç) i zinc (sòlid de color gris) i es deixa solidificar la mescla, s'obté una massa sòlida de color groc, que s'anomena llautó. En aquest, no s'hi poden distingir a ull nu, ni amb els microscopis més potents, partícules grises de zinc ni rogenques de coure. S'ha obtingut una solució d'un sòlid en un altre sòlid, anomenada **aliatge**.

El mateix passa si es fon or i argent, or i platí o cobalt i níquel.



8. El llautó té nombroses aplicacions entre les quals destaca la bijuteria i l'ornamentació (pel color i la brillantor). Es fabriquen amb aquest aliatge (per la seva ductilitat) instruments i peces de rellotgeria.

5 | Composició de les solucions

Per identificar una solució s'ha d'indicar no tan sols els components que la formen sinó també la proporció en què es troben.

Una dissolució s'anomena **diluïda** quan la quantitat de solut dissolt és petita en comparació amb la quantitat de dissolvent. Quan poc dissolvent conté molt solut, la solució s'anomena **concentrada**. Diluïda i concentrada són dues formes imprecises de donar la composició d'una solució.

A continuació, estudiarem maneres més precises d'expressar la composició de les solucions. Aquestes són: el tant per cent en massa, el tant per cent en volum, la concentració en massa, la concentració (o concentració molar), la molalitat i la fracció molar.

Tant per cent en massa

El **tant per cent en massa** de solut (o simplement tant per cent de solut) és el nombre de grams de solut dissolts en 100 grams de solució.

Si utilitzem com a unitat de massa el kilogram, el tant per cent en massa de solut és el nombre de kilograms de solut dissolts en 100 kilograms de solució.

Per norma general, si la composició d'una solució s'indica senzillament mitjançant un valor en tant per cent, sempre se sobreentén que es refereix al tant per cent en massa de solut i que el dissolvent és aigua.



9. Solució de glucosa a l'1 %. El flascó conté 1 g de glucosa dissolta en cada 99 g d'aigua; és a dir, 1 g de glucosa per cada 100 g de solució.

EXEMPLE

1. Es prepara una solució amb 2 kg de sucre, 1 kg de glucosa i 100 kg d'aigua destil·lada. Calcula el tant per cent en massa de cada solut en la solució obtinguda.

$$\% \text{ de sucre} = \frac{2 \text{ kg de sucre}}{(100 + 2 + 1) \text{ kg de solució}} \times 100 \text{ kg de solució} = \mathbf{1,94 \%}$$

$$\% \text{ de glucosa} = \frac{1 \text{ kg de glucosa}}{103 \text{ kg de solució}} \times 100 \text{ kg de solució} = \mathbf{0,97 \%}$$

Aquests resultats ens indiquen que en 100 kg de solució hi ha dissolts 1,94 kg de sucre i 0,97 kg de glucosa.

Dels càlculs fets deduïm que en general:

$$\% \text{ de solut} = \frac{\text{massa de solut}}{\text{massa de solució}} \times 100$$

Aquesta manera d'expressar la composició d'una solució és molt utilitzada a la pràctica.

Preparació d'una solució, la composició de la qual ve expressada en tant per cent en massa de solut

En els laboratoris i en la indústria s'utilitzen molt les solucions d'una composició determinada i, per tant, és molt important saber-les preparar.

Ens interessa preparar 500 g d'una solució al 10% de nitrat de potassi, KNO_3 . Vegem com s'ha de procedir per preparar-la.

Primer hem de calcular la massa de solut i la massa de dissolvent necessàries.

$$m(\text{KNO}_3) = 500 \text{ g de solució} \times \frac{10 \text{ g de KNO}_3}{100 \text{ g de solució}} = 50 \text{ g de KNO}_3$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ g de solució} - 50 \text{ g de solut} = 450 \text{ g de H}_2\text{O}$$

En una balança, es pesen 50 g de nitrat de potassi i es col·loquen en un vas de precipitats d'uns 600 cm^3 .

Com que és més còmode mesurar amb la proveta un volum de líquid que no pesar-lo en una balança, es mesuren, de la manera més exacta possible, 450 cm^3 d'aigua destil·lada utilitzant una proveta de 500 cm^3 . Observa les figures.

Si s'ha de preparar una solució en la qual el dissolvent no sigui l'aigua, llavors s'ha de calcular el volum de dissolvent a partir de la seva massa i la seva densitat.



a) El vas de precipitats conté 50 g de nitrat de potassi.



b) Els 450 cm^3 d'aigua s'afegeixen al vas de precipitats que conté el solut, i després s'agita amb una vareta de vidre fins que tot el solut s'hagi dissolt.

Tant per cent en volum

Parts per milió

Parts per milió, abreviat **ppm**, és una unitat emprada usualment per avaluar la presència d'elements en petites quantitats (traces) en una mescla. Generalment es refereix a percentatges en massa en el cas dels sòlids i en volum en el cas dels gasos.

1 ppm correspon a 1 mg/kg o, per a l'aigua, 1 mg/L .

El **tant per cent** en volum d'una solució es defineix com el nombre d'unitats de volum de solut dissolt en 100 unitats de volum de solució.

Aquesta forma d'expressar la composició s'utilitza normalment en mescla de gasos (solucions gasoses) o en solucions de líquids. Així, per exemple, una solució d'alcohol en aigua al 5% en volum, conté 5 cm^3 d'alcohol per cada 100 cm^3 de solució.

$$\% \text{ en volum de solut} = \frac{\text{volum de solut}}{\text{volum de solució}} \times 100$$

Tant per u en volum

Concentració en massa

La **concentració en massa** indica la massa de solut dissolta en cada unitat de volum de solució.

En el SI, la unitat és el kg/m^3 , però en els laboratoris s'utilitza habitualment el g/dm^3 (o g/L), que ens indica els grams de solut dissolts en cada dm^3 de solució (o en cada litre de solució).

$$\text{concentració en massa} = \frac{\text{nombre de grams de solut}}{\text{nombre de litres de solució}}$$

10. Per preparar solucions, la composició de les quals ve expressada en g/dm^3 , s'utilitzen matrassos aforats. Aquests matrassos tenen el fons pla i un coll llarg i estret que porta marcada una ratlla transversal o línia d'aforament, que ens indica quin ha de ser el nivell del líquid per aconseguir el volum que ve especificat en el matràs mateix.



EXPERIÈNCIA

Preparació d'una solució, la composició de la qual ve expressada en g/dm^3

Hem de preparar 200 cm^3 d'una solució que contingui $3 \text{ g}/\text{dm}^3$ d'un colorant blau anomenat blau de metil·lè (sòlid). Com cal procedir per preparar-la?

Primer hem de calcular la massa de solut necessària:

$$m(\text{solut}) = 0,2 \text{ dm}^3 \text{ de solució} \times \frac{3 \text{ g de solut}}{1 \text{ dm}^3 \text{ de solució}} = 0,6 \text{ g de solut}$$

Una vegada fets els càlculs, es pesen en una balança els 0,6 g de colorant blau que s'han de dissoldre en l'aigua fins a obtenir els 200 cm^3 de solució. Per això es necessita un matràs aforat que tingui el mateix volum que el de la solució que s'ha de preparar.

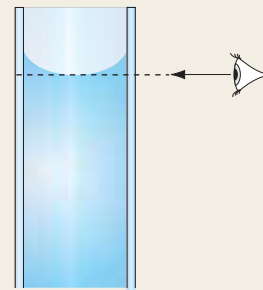
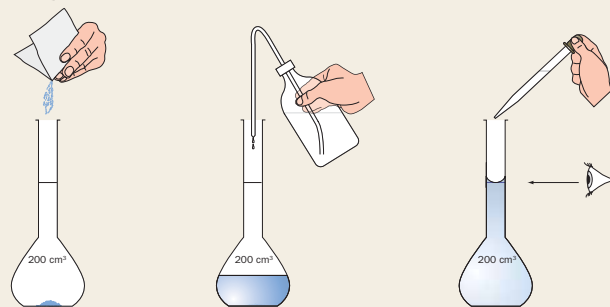
Observa els passos següents:

- S'introdueixen els 0,6 g de solut en un matràs aforat de 200 cm^3 de capacitat.
- S'hi afegeix aigua destil·lada a poc a poc i s'agita per homogeneïtzar el contingut del matràs.
- Quan tot el solut està dissolt, es completa amb molta cura, fins a la línia d'aforament, (les últimes gotes d'aigua destil·lada es poden incorporar amb un comptagotes o amb una pipeta).

Fixa't que a la preparació de la solució s'ha afegit aigua fins a un volum total de 200 cm^3 , no 200 cm^3 d'aigua.

Fixa't també quina és la posició correcta per a la lectura del volum en el coll del matràs aforat. Compte amb l'error de paral·laxi!

0,6 g de solut



Concentració (concentració molar)

Per al químic, la unitat de quantitat de substància és el mol. Hi ha maneres diverses d'expressar químicament la composició d'una solució en la que intervinguin els mols de solut dissolts. La IUPAC recomana que s'utilitzi el terme concentració o **concentració molar**, per indicar la **quantitat de substància dissolta en cada unitat de volum de solució**.

El mot concentració es pot usar sol quan no hi hagi perill de confusió.

En el SI, la unitat és el mol/m³, però habitualment s'utilitza el mol/dm³ (o el mol/L). La composició d'una solució en mol/dm³ s'anomena tradicionalment **molaritat**.

Si B és el solut dissolt, l'expressió [B] es llegeix «Concentració en quantitat de B» o simplement «Concentració de B» i s'expressa en mol/dm³.

S'utilitza molt l'abreviatura 1 M per indicar que una solució conté un mol de solut dissolt en un litre de solució. En general, si la substància B és el solut:

$$[B] = \frac{\text{nombre de mols de B}}{\text{nombre de litres de solució}}$$

EXPERIÈNCIA

Preparació d'una solució, la composició de la qual s'expressa en mol/dm³

S'han de preparar 500 cm³ d'una solució de clorur de potassi, KCl, 0,1 mol/dm³. Com hem de procedir per preparar-la?

Primer es calculen els mols de solut continguts en els 500 cm³ de solució:

$$n(\text{KCl}) = 0,5 \text{ dm}^3 \times \frac{0,1 \text{ mol KCl}}{1 \text{ dm}^3} = 0,05 \text{ mol de KCl}$$

Si els mols de solut es multipliquen per la massa de cada mol, tindrem la massa de solut necessària:

$$m(\text{KCl}) = 0,05 \text{ mol KCl} \times \frac{74,5 \text{ g KCl}}{1 \text{ mol}} = 3,7 \text{ g de KCl}$$

Una vegada fets els càlculs, es pesen en una balança els 3,7 g de KCl, s'introdueixen en un matràs aforat de 500 cm³ de capacitat i, tot seguit, s'hi afegeix aigua destil·lada fins a la marca d'aforament, seguint la mateixa tècnica que la indicada en l'experiència de la pàgina anterior.

Molalitat

La **molalitat** és la quantitat de substància (nombre de mols) dissolta en cada unitat de massa de dissolvent (no de solució).

S'expressa en mol/kg. Així, una solució aquosa de nitrat de potassi 0,5 mol/kg conté 0,5 mol d'aquest compost per cada kg d'aigua destil·lada.

La molalitat d'una solució sol indicar-se per una **m**. En general:

$$m = \frac{\text{mols de solut}}{\text{nombre de kg de dissolvent}}$$



Observa que una solució preparada en mol/L o en g/L depèn de la temperatura, ja que, quan aquesta canvia, ho fa també el volum de la solució i, en conseqüència, serà diferent el nombre de mols o de grams dissolts en cada litre de solució.

En canvi, una solució preparada en mol/kg de dissolvent és independent de la temperatura.

En solucions molt diluïdes, la molaritat i la molalitat són pràcticament idèntiques.

Fracció molar

La **fracció molar** d'un dels components d'una solució és el quocient entre el nombre de mols d'aquest component i el nombre de mols de tots els components.

Així, per exemple, si n_s i n_d són, respectivament, els mols de solut i dissolvent, les fraccions molars de solut i dissolvent són:

$$\chi_s = \frac{n_s}{n_s + n_d} = \frac{n_s}{n_t} \quad \chi_d = \frac{n_d}{n_d + n_s} = \frac{n_d}{n_t}$$

on n_t és el nombre total de mols.

La fracció molar és un nombre abstracte menor que la unitat. La suma de les fraccions molars és sempre igual a la unitat.

EXEMPLES

2. Una solució aquosa d'àcid sulfúric al 15 % en massa té una densitat de 1102 kg/m³. Calcula:

a) La concentració de la solució expressada en mol/dm³.

b) La molalitat.

c) La fracció molar del solut i la del dissolvent.

$$a) \quad [H_2SO_4] = \frac{\text{mols de solut}}{\text{nombre de litres de solució}}$$

Calcularem primer el volum que ocupen 100 g de solució.

$$V = 100 \text{ g de solució} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ de solució}}{1,102 \text{ g de solució}} \times \frac{1 \text{ litre de solució}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ de solució}} = 0,091 \text{ L}$$

La quantitat de H_2SO_4 dissolta en els 100 g de solució és:

$$n_{H_2SO_4} = 15 \text{ g } H_2SO_4 \times \frac{1 \text{ mol } H_2SO_4}{98 \text{ g } H_2SO_4} = 0,15 \text{ mol}$$

$$[H_2SO_4] = \frac{0,15 \text{ mol } H_2SO_4}{0,091 \text{ litres solució}} = \mathbf{1,6 \text{ M}}$$

b) La solució conté 15 g de H_2SO_4 per cada 85 g de H_2O .

$$m = \frac{\text{mols de } \text{H}_2\text{SO}_4}{\text{nombre de kg d'aigua}} = \frac{0,15 \text{ mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{0,085 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}} = \mathbf{1,8 \text{ molal}}$$

c) En 100 g de solució hi ha 0,15 mols de H_2SO_4 i 85/18 mols d'aigua, $n_t = 0,15 + 4,72 = 4,87$ mols.

$$\chi_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\text{mols } \text{H}_2\text{SO}_4}{n_t} = \frac{0,15 \text{ mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{4,87 \text{ mols totals}} = \mathbf{0,03}$$

$$\chi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{mols } \text{H}_2\text{O}}{n_t} = \frac{4,7 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}}{4,87 \text{ mols totals}} = \mathbf{0,97}$$

3. L'amoníac (gas), $\text{NH}_{3(\text{g})}$, és molt soluble en l'aigua. A la temperatura de 20°C i pressió de 101 kPa , es dissolen 710 dm^3 d'amoníac (gas) en un dm^3 d'aigua. La solució obtinguda té una densitat $\rho = 0,88 \text{ g cm}^{-3}$, i s'utilitza al laboratori amb el nom d'amoníac concentrat. Calcula la concentració (mol/dm^3) de la solució obtinguda. Considera $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g cm}^{-3}$ a 20°C .

Per trobar la concentració de la solució d'amoníac obtinguda, $[\text{NH}_3]$, s'ha de calcular el nombre de mols de solut dissolt i el nombre de dm^3 de solució en què s'han dissolt.

El nombre de mols de $\text{NH}_{3(\text{g})}$ podem calcular-los a partir de $pV = nRT$:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{1,01 \times 10^5 \text{ Pa} \times 7,10 \times 10^{-1} \text{ m}^3}{8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}} = 29,45 \text{ mol}$$

La seva massa és: $m(\text{NH}_3) = 29,45 \text{ mol } \text{NH}_3 \times \frac{17,03 \text{ g de } \text{NH}_3}{1 \text{ mol de } \text{NH}_3} = 501,5 \text{ g de } \text{NH}_3$

Els $501,5 \text{ g}$ d'amoníac gas s'han dissolt en un dm^3 d'aigua (1000 g d'aigua), i s'han obtingut ($1000 + 501,5$) g de solució de densitat $\rho = 0,88 \text{ g cm}^{-3}$.

El volum de solució obtinguda és:

$$V(\text{solució}) = 1501,5 \text{ g de solució} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ de solució}}{0,88 \text{ g de solució}} = 1706 \text{ cm}^3 = 1,706 \text{ dm}^3 \text{ de solució}$$

$$[\text{NH}_3] = \frac{29,45 \text{ mol de } \text{NH}_3}{1,706 \text{ dm}^3 \text{ de solució}} = \mathbf{17 \text{ mol/dm}^3}$$

4. Calcula quants grams de carbonat de sodi decahidratat, sòlid, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, han de dissoldre's en l'aigua per obtenir 1 dm^3 de solució, que sigui $0,0100 \text{ M}$ en ions de sodi.

El $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}_{(\text{s})}$ és una **sal hidratada** i la seva fórmula ens indica que, en estat sòlid, per cada mol de Na_2CO_3 hi ha 10 mols d'aigua, la qual s'anomena **aigua de cristal·lització**. Una sal que no contingui aigua de cristal·lització s'anomena **sal anhidra**. El NaCl és un exemple de sal anhidra.

En dissoldre $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ en l'aigua, l'aigua de cristal·lització s'incorpora a l'aigua destil·lada afegida i la solució conté ions CO_3^{2-} i ions Na^+ .

El procés de dissolució d'aquesta sal podem expressar-lo per:



Per cada mol de carbonat de sodi decahidratat dissolt, la solució conté 2 mols de ions Na^+ .

Per tal que la solució sigui $0,0100 \text{ mol/dm}^3$ en ions Na^+ , només cal dissoldre $0,0100/2$ mols de $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ en aigua fins a obtenir un volum d' 1 dm^3 de solució.

La massa de $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ necessària és:



$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}) = \frac{0,0100}{2} \text{ mol de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O} \times \frac{286 \text{ g de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ mol de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}} =$$

$$= 1,43 \text{ g de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$$

5. Calcula el nombre d'ions clorur que hi ha en 1 cm³ d'una solució obtinguda en mesclar 200 cm³ d'una solució 0,20 mol/dm³ de clorur de bari, BaCl₂, amb 250 cm³ d'una solució 0,30 mol/dm³ de clorur de sodi.

Suposar volums additius. (Volums additius significa que, en barrejar les dues solucions, el volum total obtingut és la suma dels volums mesclats.)

Tant el clorur de bari com el clorur de sodi són compostos iònics sòlids. El procés de dissolució del clorur de bari podem expressar-lo per:

$$(\text{Ba}^{2+}, 2\text{Cl}^-)_{(s)} \xrightarrow{\text{aigua}} \text{Ba}_{(aq)}^{2+} + 2\text{Cl}_{(aq)}^-$$

i el del clorur de sodi: $(\text{Na}^+, \text{Cl}^-)_{(s)} \xrightarrow{\text{aigua}} \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^-$

Abans de mesclar les dues solucions, la quantitat d'ions clorur presents en cada una d'aquestes és, en la solució de clorur de bari:

$$n(\text{Cl}^-) = 0,20 \text{ dm}^3 \text{ de solució} \times \frac{0,20 \text{ mol de BaCl}_2}{1 \text{ dm}^3 \text{ de solució}} \times \frac{2 \text{ mol de Cl}^-}{1 \text{ mol de BaCl}_2} = 0,080 \text{ mol de Cl}^-$$

I en la solució de NaCl:

$$n(\text{Cl}^-) = 0,25 \text{ dm}^3 \text{ de solució} \times \frac{0,30 \text{ mol de NaCl}_2}{1 \text{ dm}^3 \text{ de solució}} \times \frac{1 \text{ mol de Cl}^-}{1 \text{ mol de NaCl}} = 0,075 \text{ mol de Cl}^-$$

Una vegada mesclades les solucions, la quantitat total d'ions Cl⁻ és: $n_t(\text{Cl}^-) = 0,155 \text{ mol Cl}^-$

Volum total de solució $V_t = (200 + 250) \text{ cm}^3$.

El nombre d'ions Cl⁻ en cada cm³ de solució és:

$$N(\text{Cl}^-)/\text{cm}^3 = \frac{0,155 \text{ mol de Cl}^-}{450 \text{ cm}^3 \text{ de solució}} \times \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ ions Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} = 2,07 \times 10^{20} \text{ ions Cl}^-/\text{cm}^3$$

6. Un àcid sulfúric concentrat de densitat 1,813 g/cm³ conté un 91,33 % de H₂SO₄.

a) Calcula la seva concentració en massa (g/dm³).

b) Calcula el volum de solució concentrada que es necessita per preparar 250 cm³ d'una solució 0,20 M, és a dir, que contingui 0,20 mol de H₂SO₄ dissolts en 1 dm³ de solució.

c) Com es prepararia al laboratori aquesta solució diluïda a partir de la concentrada?

a) Per calcular la concentració en massa de solució, s'ha de calcular la massa, en grams, de H₂SO₄ dissolts en cada dm³ de solució:

La massa d'1 dm³ de solució concentrada és de 1813 g.

La massa de H₂SO₄ dissolta en 1 dm³ de solució és:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1813 \text{ g de solució} \times \frac{91,33 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{100 \text{ g solució}} = 1656 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

$$\text{concentració en massa} = \frac{1656 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ dm}^3 \text{ solució}} = 1656 \text{ g/dm}^3$$

b) La massa H_2SO_4 necessària per preparar els 250 cm^3 de solució diluïda és:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,250\text{ dm}^3 \text{ solució} \times \frac{0,20\text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1\text{ dm}^3 \text{ de solució}} \times \frac{98\text{ g H}_2\text{SO}_4}{1\text{ mol H}_2\text{SO}_4} = 4,91\text{ g H}_2\text{SO}_4$$

El volum de solució concentrada que contenen $4,91\text{ g}$ de H_2SO_4 és:

$$V(\text{solució concentrada}) = 4,91\text{ g H}_2\text{SO}_4 \times \frac{1\text{ dm}^3 \text{ solució}}{1656\text{ g H}_2\text{SO}_4} \times \frac{1000\text{ cm}^3}{1\text{ dm}^3} = \mathbf{3,0\text{ cm}^3}$$

c) Preparar solucions diluïdes d'una determinada composició, a partir de solucions concentrades de composició coneguda, és una tasca habitual en els laboratoris.

En diluir una solució, la massa de solut dissolt és constant, ja que només s'afegeix dissolvent.

Vegem, en l'experiència següent, com es prepararia aquesta solució diluïda.

EXPERIÈNCIA

Preparació d'una solució diluïda d'àcid sulfúric a partir d'una solució concentrada d'aquest àcid

D'acord amb les dades de l'apartat b) de l'últim exemple explicat, per preparar 250 cm^3 d'àcid sulfúric $0,20\text{ mol/dm}^3$ haurem de mesurar $3,0\text{ cm}^3$ de l'àcid concentrat i diluir-los amb aigua fins a obtenir 250 cm^3 de solució.

L'àcid concentrat es dissol en l'aigua en qualsevol proporció **amb un gran alliberament d'energia en forma de calor. Per això, s'ha d'afegir sempre l'àcid concentrat sobre l'aigua, lentament i agitant, i mai afegir aigua sobre l'àcid** perquè l'aigua absorbeixi la calor despesa en el procés. Si ho féssim a l'inrevés, és a dir, afegíssim aigua sobre l'àcid, la calor despesa seria suficient per vaporitzar l'aigua i escampar l'àcid concentrat i calent en totes direccions.

Mai no s'ha d'afegir aigua sobre àcid sulfúric concentrat!

Per tant, per preparar la solució es mesuren els $3,0\text{ cm}^3$ de l'àcid concentrat en una proveta de 5 cm^3 i s'afegeixen a poc a poc en un matràs aforat de 250 cm^3 que contingui aigua destil·lada aproximadament fins a la meitat, agitant sense parar. Es renta un parell de vegades la proveta amb aigua destil·lada i es recullen al matràs mateix les aigües del rentat. Es deixa refredar i s'acaba d'omplir el matràs amb molta cura fins a la línia d'aforament, tal com hem explicat anteriorment. Les darreres gotes d'aigua es poden incorporar amb un comptagotes o amb una pipeta.

Aquesta preparació ha de fer-la el professor.



Els flascons de la fotografia contenen àcids concentrats. És com s'adquireixen en el comerç. Aquests àcids s'han de manejar amb molt de compte, ja que produeixen cremades a la pell, sobretot el sulfúric concentrat.

Quan s'utilitzen, ha de ser sempre sota el control del professor/a. Al laboratori s'utilitzen normalment àcids diluïts.

És important saber preparar dissolucions diluïdes d'una composició determinada a partir dels àcids concentrats.

6 | Substàncies solubles i insolubles

No totes les substàncies són solubles en un dissolvent determinat. Així, per exemple, les ceres i els greixos són pràcticament **insolubles** en aigua, mentre que són **solubles** en gasolina, benzè, tetraclorur de carboni o tricloroetilè.

En canvi, el sucre i el clorur de sodi són solubles en aigua i insolubles en la gasolina i el benzè. Per això, les taques dolces o de mel es treuen amb aigua i les de greix se solen treure amb tricloroetilè.

Quan mesclem dos líquids diferents, pot passar que es dissolguin l'un en l'altre en qualsevol proporció; diem que són **miscibles**. Aquest és el cas de l'alcohol i l'aigua, i del vinagre i l'aigua.

En cas contrari, quan dos líquids són insolubles l'un en l'altre diem que són **immiscibles**.

És el cas, per exemple, de l'oli i l'aigua, la gasolina i l'aigua o el tetraclorur de carboni i l'aigua.



11. L'acetona, líquid d'olor agradable, molt volàtil, és miscible en aigua en totes proporcions.



12. El benzè és un líquid incolor menys dens que l'aigua, els seus vapors són tòxics i cancerígens. Benzè i aigua són dos líquids immiscibles.

7 | Solució saturada. Solubilitat

Si en un vas d'aigua afegim, un rere l'altre, cristalls petits de sulfat de coure (II) hidratat, i remenem al mateix temps, podrem observar que el líquid adquireix una coloració blava cada vegada més intensa. Però aviat notarem que el solut afegit ja no es dissol, per més que agitem la solució. Quan això passa, es diu que la solució està **saturada**.

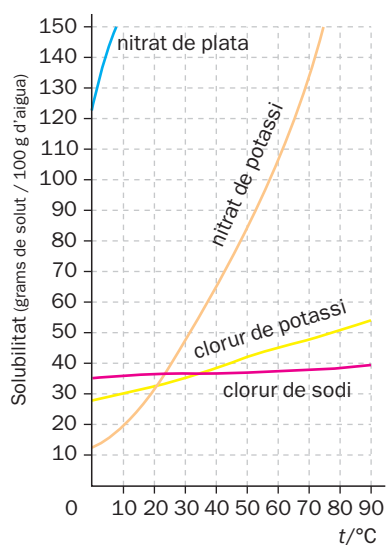
En una solució saturada i per a una temperatura determinada, la quantitat de substància dissolta és la màxima possible i ja no se'n pot dissoldre més.

S'anomena **solubilitat** d'una substància, en un dissolvent determinat, la composició de la solució saturada.



13. La solució de iode en aigua està saturada, ja que els petits cristalls que apareixen al fons del vas no es dissolen per més que s'agiti.

Temperatura (en °C)	Solubilitat (en g de KCl en 100 g d'aigua)
20	32
30	35
40	38
50	41
60	45



14. Influència de la temperatura sobre la solubilitat d'algunes substàncies pures en aigua: corbes de solubilitat.

8 | Variació de la solubilitat amb la temperatura

La solubilitat d'una substància pura en un dissolvent determinat és una propietat característica i depèn de la temperatura. Per a la majoria de les substàncies sòlides, la solubilitat en l'aigua augmenta amb la temperatura.

En la taula del marge, s'indiquen les solubilitats diferents del clorur de potassi, KCl, en aigua a diferents temperatures.

Així doncs, si a 20 °C es dissolen 32 g de clorur de potassi en 100 g d'aigua, s'obté una solució saturada. A 30 °C, es poden arribar a dissoldre 35 g de clorur de potassi en 100 g d'aigua, etc.

La representació gràfica de la solubilitat d'una substància en funció de la temperatura, a pressió atmosfèrica, s'anomena **corba de solubilitat**.

La figura 14 mostra les corbes de solubilitat de diferents substàncies pures dissoltes en aigua. Es pot observar que la solubilitat de clorur de sodi quasi no varia amb la temperatura, mentre que la del nitrat de potassi augmenta molt en augmentar la temperatura. Observem també la gran solubilitat que presenta el nitrat de plata.

9 | Cristal·lització

Suposem que es prepara una solució que conté 40 g de nitrat de potassi dissolts en 100 g d'aigua a 60 °C. D'acord amb la corba de solubilitat corresponent (figura 14), aquesta solució no està saturada, ja que a 60 °C, 100 g d'aigua admeten quasi 110 g de solut.

Si la solució es refreda fins a 20 °C, com que a aquesta temperatura només es dissolen 30 g de nitrat de potassi en 100 g d'aigua, al fons del recipient apareixeran 10 g de solut cristal·litzat.

Aquest fenomen s'anomena **cristal·lització** perquè el cos que es diposita, generalment sòlid, ho fa en forma de cristalls.

Igualment, en evaporar el dissolvent en una solució, aquesta es va concretant fins a arribar a la saturació; a partir de llavors, comencen a dipositar-se en el fons cristalls de solut.

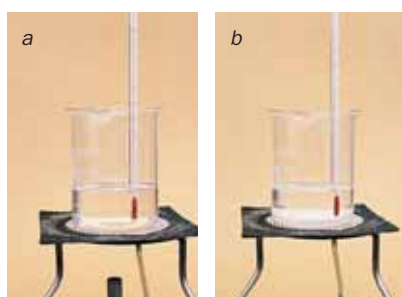
Aquest procediment es fa servir a les salines per separar la sal de l'aigua de mar.

L'operació de cristal·lització s'utilitza sovint per purificar substàncies, ja que tant les substàncies naturals com les obtingudes artificialment a les fàbriques o laboratoris, contenen quantitats petites d'altres substàncies, anomenades impureses, que s'han d'eliminar.

10 | Solucions sobresaturades

En alguns casos, en refredar lentament i sense agitar una solució saturada, pot passar que l'excés de solut no cristal·litzi. La solució obtinguda s'anomena **sobresaturada**.

Una solució sobresaturada és inestable i de vegades només cal agitar la solució o afegir-hi un cristall petit de la substància dissolta, perquè tot l'excés cristal·litzi bruscament.



15. a) Solució obtinguda dissolent, a 60 °C, 40 g de nitrat de potassi en 100 g d'aigua. La solució no està saturada. b) Si la solució de la figura a) es refreda fins a 20 °C, apareixen en el fons del vas 10 g de nitrat de potassi cristal·litzat. La solució que sobreneda està saturada.

Cristal·lització a partir d'una solució sobresaturada

Posa en un tub d'assaig uns 5 g de tiosulfat de sodi pentahidratat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) i afegeix-hi 4 o 5 gotes d'aigua. Escalfa-ho suauement fins que tota la sal s'hagi dissolt. Deixa el tub en una gradeta per a tubs d'assaig i espera que es refredi. No sacsegis la gradeta ni la moguis.

A continuació, afegeix un cristall petit de tiosulfat de sodi i observa (millor amb la lupa) com tot l'excés de sal cristal·litza bruscament.

Fixa't que, en cristal·litzar, les parets del tub d'assaig estan calentes. Per què?



11 | Solucions de gasos en líquids

Els gasos, en general, són molt poc solubles en els líquids. Així, per exemple, la solubilitat de l'oxigen en aigua a 101 kPa (1 atm) i 25 °C és només de 0,04 g/L i la del nitrogen, de 0,018 g/L.

En alguns casos, poden donar-se solubilitats molt grans però són degudes a una reacció química del solut amb el dissolvent. Aquest és el cas de les dissolucions d'amoníac, NH_3 , en aigua; en 1 litre d'aigua es dissolen fins a 500 g d'amoníac a 20 °C i 101 kPa. El mateix passa amb el diòxid de carboni, CO_2 , i amb el clorur d'hidrogen, HCl .

Experimentalment, es comprova que la solubilitat dels gasos depèn, no únicament de la naturalesa del gas i del dissolvent, sinó també de la **temperatura** i de la **pressió** que el gas exerceix sobre el líquid.

Efecte de la temperatura

La solubilitat d'un gas en un líquid disminueix en augmentar la temperatura. Els gasos, doncs, són més solubles en fred que en calent.

Efecte de la pressió

Quan la temperatura és constant, es troba experimentalment que **la solubilitat d'un gas en un líquid és directament proporcional a la pressió que exerceix el gas sobre aquest líquid** (en general, la seva pressió parcial). Aquesta relació entre la pressió i la solubilitat es coneix amb el nom de **lleï de Henry**.

La influència de la pressió en la solubilitat dels gasos podem explicar-la amb la teoria cinetico-molecular. En efecte, **en augmentar la pressió del gas sobre el líquid**, més molècules xocaran contra el líquid i **més quantitat de gas es dissoldrà**.

Un exemple pràctic de la solubilitat de gasos en líquids és la fabricació de begudes carbòniques (líquids que contenen CO_2 dissolt). La quantitat de CO_2 dissolt és més elevada com més alta hagi estat la pressió amb què s'ha preparat.



16. Un got d'una beguda carbònica ben freda va desprenent bombolles gasoses a mesura que el líquid adquireix la temperatura ambient. Això és degut al fet que la solubilitat del gas disminueix en augmentar la temperatura.



17. Quan s'obre una beguda carbònica, disminueix bruscament la pressió del diòxid de carboni sobre la solució, la solubilitat del gas disminueix i es desprèn tumultuosament el diòxid de carboni que sobra, i moltes vegades arrossega també el líquid.

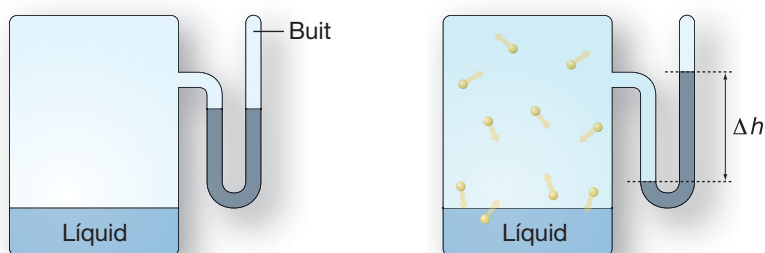
Quan tindran els peixos més oxigen per respirar, a l'hivern o a l'estiu? A la mateixa temperatura, en un llac d'alta muntanya o en un que estigui a nivell del mar?

12 | Propietats col·ligatives

Les propietats col·ligatives són propietats de les solucions que depenen del nombre de partícules (molècules o ions) de solut dissoltes, però no de la naturalesa d'aquestes partícules. Aquestes propietats són: la disminució de la pressió de vapor, l'augment del punt d'ebullició, la disminució del punt de congelació i la pressió osmòtica.

Disminució de la pressió de vapor

Si mantenim un líquid en un recipient obert acaba per evaporar-se totalment, però si l'evaporació té lloc en un recipient tancat i a una temperatura determinada, arriba un moment en què el líquid para d'evaporar-se. En realitat, l'evaporació no s'ha aturat, però en aquest moment tantes molècules de líquid passen a estat de vapor com molècules de vapor passen a l'estat líquid: hem arribat a un estat d'equilibri. La pressió que fan les molècules de vapor a aquesta temperatura s'anomena pressió de vapor (o pressió de vapor saturant) del líquid a la temperatura indicada.



18. La pressió de vapor d'un líquid es pot mesurar amb un aparell com el de la figura. Abans de començar l'evaporació els nivells de mercuri són iguals. A mesura que el líquid es va evaporant, els nivells de mercuri es diferencien fins que s'estabilitzen. A cada temperatura la pressió de vapor es pot calcular directament mesurant la diferència entre els nivells de mercuri.

La pressió de vapor d'un líquid augmenta amb la temperatura i, quan el seu valor iguala la pressió atmosfèrica, el líquid bull.

Quan es mesura la pressió de vapor d'una solució que conté un solut **no volàtil**, s'observa que és menor que la del dissolvent pur.

La relació entre la pressió de vapor del dissolvent pur i la del dissolvent en la solució ve donada per la **lleï de Raoult**, que pot expressar-se matemàticament per la relació:

$$p^0 - p = \chi_s p^0$$

En la qual p és la pressió de vapor del dissolvent en la solució, p^0 és la pressió de vapor del dissolvent pur i χ_s és la fracció molar del solut a la solució.

Com podem observar, la disminució de la pressió de vapor, $p^0 - p$, és proporcional a la fracció molar del solut a la solució.

La lleï de Raoult és una lleï límit o ideal que es compleix millor com més diluïda és la solució.



EXEMPLES

7. **Calcula, a 25 °C, la disminució de la pressió de vapor quan dissolem 25,0 g de glucosa, $C_6H_{12}O_6$, en 125 g d'aigua. Pressió de vapor de l'aigua a 25 °C = 3157,6 Pa.**

En primer lloc calcularem la fracció molar del solut:

$$n(C_6H_{12}O_6) = 25,0 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 0,139 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

$$n(H_2O) = 125 \text{ g } H_2O \times \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18 \text{ g } H_2O} = 6,94 \text{ mol } H_2O$$

$$n(\text{total}) = (0,139 + 6,94) \text{ mol} = 7,08 \text{ mol}$$

$$\chi_{\text{solut}} = \frac{0,139 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{7,08 \text{ mol total}} = 0,020$$

$$\Delta p = \chi_{\text{solut}} p_{\text{dissolvent}}^0 = 0,020 \times 3157,6 \text{ Pa} = 63,2 \text{ Pa}$$

Augment del punt d'ebullició

Ja hem explicat que, en un recipient obert, un líquid bull quan la seva pressió de vapor iguala la pressió atmosfèrica. La pressió de vapor del dissolvent en una solució és menor que la pressió de vapor del dissolvent pur, per tant, per aconseguir la pressió atmosfèrica, caldrà que s'augmenti la temperatura.

És per aquesta raó que una solució que conté un solut no volàtil té una temperatura d'ebullició més elevada que la del dissolvent pur.

Experimentalment es comprova que l'increment del punt d'ebullició és proporcional a la molalitat de la solució:

$$\Delta t_e = K_e m$$

K_e és una constant que depèn del dissolvent i s'anomena constant ebulloscòpica, i m és la molalitat de la solució.

Descens del punt de congelació

El punt de congelació d'una solució és inferior al del dissolvent pur. Experimentalment es comprova que la disminució de la temperatura de congelació és proporcional a la molalitat de la solució:

$$\Delta t_c = K_c m$$

K_c és una constant característica del líquid i s'anomena constant crioscòpica, i m és la molalitat de la solució.

A l'hivern, quan es glacen les carreteres s'hi afegeix sal per tal de fer baixar el punt de congelació de l'aigua.

L'aigua de refrigeració dels motors d'explosió dels cotxes porta sempre un additiu per impedir la seva congelació quan, a l'hivern, baixen les temperatures.

Constants ebulloscòpiques i crioscòpiques

Dissolvent	Punt d'ebullició °C	K_e °C kg mol ⁻¹	Punt de congelació °C	K_c °C kg mol ⁻¹
Aigua	100	0,52	0	1,86
Etanol	78,5	1,22	-117,3	1,99
Àcid acètic	118,1	3,07	16,6	3,9
Benzè	80,1	2,53	5,5	5,12
Tetraclorur de carboni	76,5	5,03	-23,0	29,8
Cloroform	61,2	3,63	-63,5	4,68

EXEMPLE

8. Es prepara una solució d'1,2-etandiol, $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$, dissolent 600 g del compost en 1,00 kg d'aigua. Calcula la temperatura de congelació i ebullició de la solució.

Nota: El nom vulgar de l'1,2-etandiol és glicol.

Per calcular les variacions de les temperatures d'ebullició i congelació cal conèixer en primer lloc la molalitat de la solució:

$$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{600 \text{ g C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{1,00 \text{ kg H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{62,1 \text{ g C}_2\text{H}_6\text{O}_2} = 9,66 \text{ mol kg}^{-1}$$

L'augment del punt d'ebullició:

$$\Delta t_e = K_e m = 0,52 \text{ °C kg mol}^{-1} \times 9,66 \text{ mol kg}^{-1} = 5,02 \text{ °C}$$

Per tant la **temperatura d'ebullició** de la solució serà: **$t = 105,02 \text{ °C}$**

La disminució del punt de congelació:

$$\Delta t_c = K_c m = 1,86 \text{ °C kg mol}^{-1} \times 9,66 \text{ mol kg}^{-1} = 18,0 \text{ °C}$$

Per tant la **temperatura de congelació** de la solució serà: **$t = -18,0 \text{ °C}$**

9. Una solució conté 762 g d'un compost químic dissolts en 1500 g d'aigua. Experimentalment es comprova que la solució congela a $-5,25 \text{ °C}$.

Quina és la massa molecular del compost?

$$\Delta t_c = K_c m$$

Si M és la massa molar del compost:

$$5,25 \text{ °C} = 1,86 \text{ °C kg mol}^{-1} \times \frac{762 \text{ g}}{M} \times \frac{1}{1,5 \text{ kg H}_2\text{O}}$$

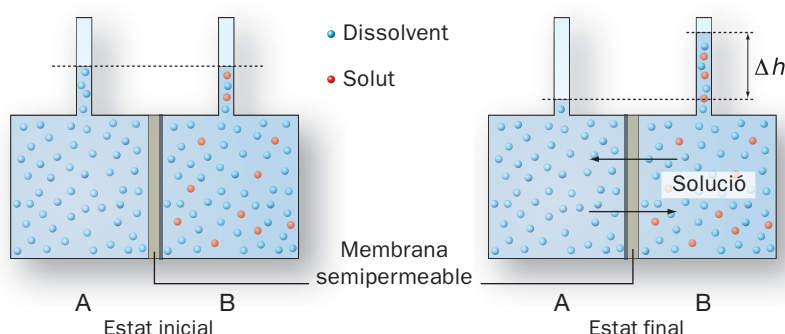
Resulta $M = 180 \text{ g/mol}$. Per tant, la **massa molecular és 180**.

Osmosi i pressió osmòtica

Quan mesquem una solució amb dissolvent pur, al cap d'un cert temps tenim un sistema homogeni. El mateix fenomen s'observa quan es mesclen dues solucions de diferent concentració. Si es repeteixen les dues experiències però separant el dissolvent de la solució (o les dues solucions de diferent concentració) amb una **membrana permeable** que deixa passar a través seu les partícules de dissolvent i solut, els resultats són els mateixos: s'obté una solució homogènia d'igual concentració a cada costat de la membrana permeable.

Finalment, si separem la solució del dissolvent (o dues solucions de diferent concentració) mitjançant una **membrana semipermeable** que deixa passar les molècules de dissolvent però no les de solut, el resultat és molt diferent dels anteriors.

Observa la figura. Els dos recipients estan separats per una membrana semipermeable. Un dels recipients conté una solució i l'altre dissolvent pur. Inicialment el nivell dels dos recipients és igual, però el nombre de molècules de dissolvent que passen a la solució és més gran que el de les que passen de la solució al dissolvent pur. Al cap d'una estona, el nivell de líquid en els dos recipients és diferent. La transferència de molècules del dissolvent cap a la solució s'anomena **osmosi**.



Les parets de les cèl·lules vives són membranes. L'osmosi té una gran importància en molts processos biològics.

19. Si una solució i el seu dissolvent estan separats per una membrana semipermeable, es produeix un flux net de molècules de dissolvent cap a la solució.

La pressió que s'hauria d'exercir sobre la solució per impedir el procés d'osmosi, s'anomena **pressió osmòtica** (π). Es pot mesurar directament per la diferència d'altura entre els dos tubs (Δh), quan s'ha arribat a l'equilibri, és a dir, quan el nombre de molècules de dissolvent que passa de A a B és igual a les que passen de B a A.

Aquest fenomen també té lloc entre dues solucions de concentracions diferents. En aquest cas, l'osmosi és la transferència de dissolvent de la solució diluïda cap a la més concentrada.

Experimentalment es troba que, en solucions diluïdes, la pressió osmòtica depèn de la concentració de la solució però no de la naturalesa del solut. Es compleix que:

$$\pi V = n R T$$

O també:

$$\pi = c R T$$

On **c** és la concentració molar, **R** la constant dels gasos i **T** la temperatura absoluta.

*Quan dues solucions tenen la mateixa pressió osmòtica s'anomenen **isotòniques**.*

*Si dues solucions tenen pressions osmòtiques diferents, la més concentrada és **hipertònica** i la més diluïda **hipotònica**.*

Osmosi inversa



20. Planta desalinitzadora d'aigua marina per osmosi inversa.

Hem explicat que en l'osmosi, el dissolvent passa espontàniament d'una solució menys concentrada a una altra de més concentrada. El dissolvent passarà en el sentit indicat fins assolir un estat d'equilibri.

Si s'augmenta la pressió sobre la superfície de la solució més concentrada, es pot aconseguir que el dissolvent passi de la solució concentrada a la diluïda. Aquest procés és el contrari de l'osmosi i per això s'anomena **osmosi inversa**.

Si la solució més concentrada és aigua de mar, en aplicar pressió sobre aquesta solució, passarà aigua a l'altra banda de la membrana semipermeable i no les sals. L'aigua del mar s'haurà dessalinitzat per osmosi inversa.

L'osmosi inversa s'ha convertit actualment en un dels sistemes més eficients per dessalinitzar l'aigua marina. El procés requereix un elevat consum d'energia.

EXEMPLE

- 10. Una solució aquosa conté 5,40 g de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) en 1 dm³ de solució a la temperatura de 25 °C. Calcula la pressió osmòtica de la solució.**

La pressió osmòtica ve donada per: $\pi = c R T$

$$\pi = \frac{5,40 \text{ g } C_{12}H_{22}O_{11}}{10^{-3} \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ mol } C_{12}H_{22}O_{11}}{342 \text{ g } C_{12}H_{22}O_{11}} \times 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \times 298 \text{ K} = \mathbf{39\,127 \text{ Pa}}$$

- 11. Una solució aquosa d'hemoglobina conté 50,0 g d'hemoglobina en 1,00 dm³ de solució. A 25 °C, la pressió osmòtica de la solució és 179,4 Pa. Calcula la massa molar de l'hemoglobina.**

L'hemoglobina (Hb) és una proteïna conjugada que conté àtoms de ferro. És de color porpra i actua com a transportadora d'oxigen molecular.

Si substituïm a la fórmula $\pi V = n R T$ les dades del problema obtindrem els mols que hi ha en 50,0 g d'hemoglobina:

$$n(\text{Hb}) = \frac{179,4 \text{ Pa} \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 7,24 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$M(\text{Hb}) = \frac{50,0 \text{ g Hb}}{7,24 \times 10^{-5} \text{ mol}} = \mathbf{6,9 \times 10^5 \text{ g/mol}}$$

Observa que la massa molar de l'hemoglobina és molt gran a causa de la complexitat de la seva molècula. L'hemoglobina és una macromolècula.

Les propietats col·ligatives de les solucions són de gran utilitat per determinar masses moleculars de compostos que no es poden gasificar, ja que en aquest cas no es poden utilitzar els mètodes descrits en la unitat 2 per a la determinació de masses moleculars de substàncies en estat gasós.

13 | Principals mètodes de separació dels components d'una mescla

Els mètodes de separació utilitzats en química tenen com a objectiu separar, o aïllar, els constituents d'una mescla i obtenir-ne finalment substàncies pures.

Les separacions són de tipus **químic** o **físic**, segons que hi intervinguin o no reaccions químiques. Generalment, les separacions químiques van seguides o acompanyades de separacions físiques.

Les separacions físiques són especialment utilitzades quan es vol que la separació no alteri els components de la mescla. Tanmateix, les separacions en què s'utilitza calor o camps elèctrics, que són de tipus físic, poden donar lloc a modificacions de la naturalesa dels components.

Hi ha molts mètodes de separació. Estudiarem només els més importants.

Mètodes mecànics de separació

a) Decantació

Operació que consisteix a separar dues o més substàncies immiscibles que tinguin densitat diferent i de les quals, almenys una sigui líquida.

La decantació es pot utilitzar per eliminar les partícules sòlides que un líquid té en suspensió. Per aconseguir-ho es deixa reposar la mescla. Quan el sòlid ha sedimentat i el líquid que sura és transparent, s'inclina el recipient i, amb cura, s'aboca el líquid en un altre recipient (Fig. 21).

Observa que el sòlid en suspensió ha de ser més dens que el líquid perquè es dipositi fàcilment al fons del recipient.

També se separen per decantació dos líquids immiscibles que formin dues fases. Aquesta operació es fa amb més comoditat i exactitud utilitzant uns embuts anomenats de decantació (Fig. 22).

La separació de sorres auríferes en un riu o la separació d'aigua continguda en un oli són exemples de decantacions.

b) Filtració

Un líquid, amb partícules sòlides en suspensió, es fa passar per un filtre de paper, tela o vidre, que, a manera de tamís molt fi, reté les partícules sòlides i deixa passar el líquid. Les fibres del filtre permeten l'existència entre elles d'espais i porus pels quals s'escola el líquid. Aquest procés pot ser lent.

c) Filtració a pressió reduïda (o filtració per succió)

En aquest tipus de filtració es recull el líquid en un recipient en què s'ha reduït la pressió. Al laboratori, aquest recipient sol ser un erlenmeyer de vidre especial amb tubuladura lateral, anomenat matràs de Kitasato o matràs de filtració, que es connecta a una bomba o trompa de buit (Fig. 23).



21. Separació de sorra i aigua per decantació. La sorra es pot recollir damunt d'un paper de filtre perquè s'assequi.



22. Separació de dos líquids immiscibles utilitzant un embut de decantació. Quan s'obre la clau, i es treu el tap superior, flueix primer el líquid més dens.



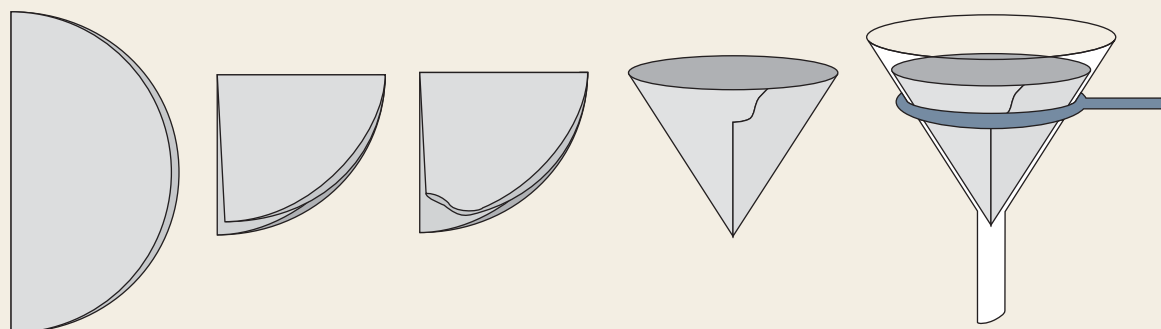
23. La filtració a pressió reduïda o filtració per succió requereix una trompa d'aigua i instrumental de vidre especial, però una vegada muntat és un sistema de filtració ràpid. L'embut utilitzat, de porcellana, s'anomena embut de Büchner i s'ajusta al matràs de Kitasato amb un tap de goma.

Separació dels components d'una mescla formada per nitrat de potassi i sofre en pols

Agafa uns 10 g de la mescla i posa'ls en un vas de precipitats de 250 cm³. Afegeix-hi uns 50 cm³ d'aigua destil·lada i agita-ho amb una vareta de vidre. El nitrat de potassi es dissoldrà i el sofre, no, perquè és insoluble en l'aigua. Podràs observar com la pols del sofre, per la seva densitat baixa, es distribueix desordenadament en el líquid a diferents nivells.

No podem separar el sofre de la solució per decantació, ja que, quan inclinem el vas, el sofre passa juntament amb el líquid que l'arrossega. Per separar-lo, farem passar la mescla a través d'un filtre de paper que retindrà només el sofre i deixarà passar la dissolució. Aquest procés és una **filtració**.

A les figures t'indiquem com es prepara un filtre llis.



Un cop preparat el filtre, observa la figura i munta el dispositiu per filtrar.

Filtra ara la mescla sofre-solució. Observa a la figura com l'extrem de l'embut està en contacte amb la paret interior del vas i que, en l'operació de filtració, es fa lliscar la mescla per una vareta de vidre en comptes de deixar-la caure directament dins l'embut. D'aquesta manera s'eviten les esquitxades.

Un cop acabada la filtració, neteja amb aigua destil·lada dues o tres vegades el sofre retingut en el filtre, amb la finalitat d'arrossegar tota la resta de solució.

El paper de filtre que conté el sofre està amarat d'aigua. S'ha de treure amb compte de l'embut i estendre'l perquè s'assequi. S'assecarà més ràpidament si el col·loques al sol o a prop d'una estufa.

Si volem recuperar la sal dissolta, hem d'eliminar l'aigua. Per fer-ho, escalfa amb precaució la solució en una càpsula fins que tota l'aigua s'hagi evaporat. El nitrat de potassi quedarà al fons de la càpsula.

La **filtració** ens ha servit per separar un sòlid d'un líquid que no el dissol.

L'**evaporació** ens ha servit per separar un sòlid dissolt en un líquid. Aquest mètode el podem fer servir quan no interessa recuperar el líquid, ja que aquest, en evaporar-se, es perd.



Observa com el paper de filtre no sobresurt de l'embut i queda a mig centímetre de la vora.



d) Centrifugació

Aquest mètode es basa també en la diferència de densitats entre els components de la mescla, un de líquid i un altre de sòlid. Observa la figura 24. Una mescla d'aigua i argila s'introdueix en diversos tubs d'assaig que es fan girar en posició horitzontal i a gran velocitat. Així s'aconsegueix que les partícules sòlides s'acumulin ràpidament al fons del tub. Amb aquest procés s'obtenen la mantega i la nata a partir de la llet.

Els casos més difícils de separació són els de mescles col·loïdals. A grans velocitats de gir s'ha aconseguit separar components macromoleculars.

Al laboratori, la centrifugació es fa servir també per a la separació de precipitats (substàncies insolubles en aigua). En certs casos, la centrifugació tendeix a substituir la filtració per la seva major rapidesa. Una separació per centrifugació és més perfecta i més ràpida que una decantació.



24. Centrifugació al laboratori.

Mètodes amb canvi d'estat

a) Sublimació

És el pas directe de sòlid a gas, sense passar per l'estat líquid. El canvi invers, de gas a sòlid, també s'anomena sublimació. Per exemple, el iode (I_2), en estat sòlid, sublima i es pot separar d'una mescla de sòlids per escalfament. Els vapors de iode es poden recollir sobre una superfície freda, on tornen a solidificar-se en estat pur (Fig. 25).

b) Cristal·lització

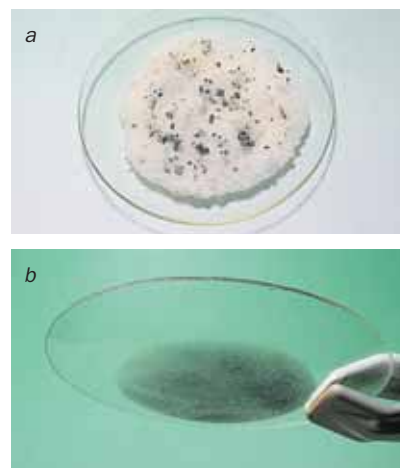
Ja hem explicat en què consisteix la cristal·lització. És un mètode molt utilitzat per purificar substàncies. En efecte, si una solució que conté un solut acompanyat d'impureses es concentra per evaporació, les impureses solubles no arriben a formar, en general, una solució saturada, ja que es troben en quantitats petites, per la qual cosa els cristalls que s'obtenen són pràcticament de la substància que es vol purificar (Fig. 26).

No obstant això, els cristalls procedents d'aquesta cristal·lització solen retenir encara una petita fracció d'impureses. Aquestes poden quedar en el si de la massa cristal·lina per **oclusió**, especialment quan la cristal·lització es produeix ràpidament i es formen cavitats tancades amb restes de la solució.

Les impureses també poden quedar retingudes per **adsorció** superficial, és a dir, adherides a la superfície dels cristalls després de la cristal·lització.

La proporció d'impureses es redueix molt fent **recristal·litzacions** successives, és a dir, dissolent novament els cristalls obtinguts i tornant a cristal·litzar-los.

La cristal·lització és un dels mètodes de separació que més s'aproxima a la consecució de substàncies sòlides pures. Així, s'ha utilitzat per obtenir cristalls de moltes substàncies orgàniques dissoltes en ciclohexà, èter o acetona. Aquests dissolvents s'evaporen fàcilment i es poden eliminar fàcilment dels cristalls.



25. a) Mostra de sal comuna impurificada amb iode. b) Es poden separar els dos components escalfant suaument la mescla, ja que el iode sublima i la sal, no.



26. Cristalls purs d'una sal d'urani.

c) Destil·lació simple

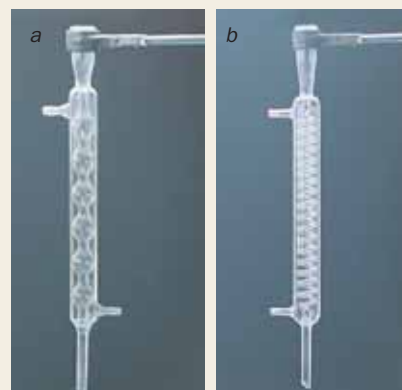
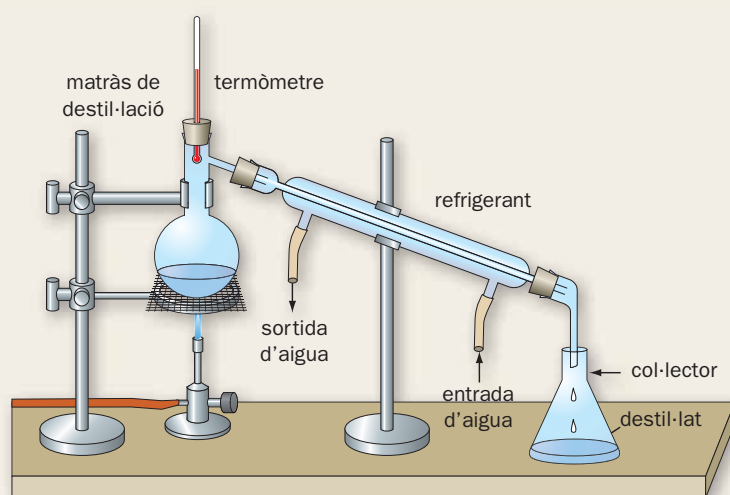
La destil·lació és una operació que es du a terme als laboratoris i a la indústria per separar els components d'una dissolució líquida. Per obtenir bones separacions per destil·lació simple, la diferència de volatilitat entre els constituents de la solució ha de ser elevada, és a dir, un dels components ha de ser molt més volàtil que la resta.

En el procés de destil·lació es combinen dos canvis d'estat: el pas de líquid a vapor (s'aconsegueix escalfant fins a l'**ebullició**), seguit del pas invers, és a dir, la **condensació** o la **liquació** del vapor per passar-lo novament a líquid (aquest pas s'aconsegueix mitjançant el refredament). Vegem-ho amb l'experiència següent.

EXPERIÈNCIA

Destil·lació simple

Fes el muntatge de la figura. És un aparell de destil·lació simple que s'utilitza al laboratori.



a) Refrigerant de boles.
b) Refrigerant de serpenti. Aquest refrigerant s'ha de col·locar en posició gairebé vertical.

Aboca aigua salada al matràs, procurant omplir-lo aproximadament fins a la meitat. Obre l'aixeta d'aigua freda que connecta amb el refrigerant i escalfa la solució fins que bulli. Com que la sal és menys volàtil que l'aigua, en l'ebullició es forma només vapor d'aigua, que passa al refrigerant.

El refrigerant de la figura consisteix en un tub envoltat d'aigua freda que va circulant en sentit contrari al del vapor. Aquest vapor, quan passa pel refrigerant, es va condensant al llarg del tub i al final en surt en forma d'aigua líquida, que es recull en un vas anomenat col·lector. El termòmetre posat al matràs, en contacte amb el vapor, ens indica la seva temperatura, que és de 100 °C si la pressió exterior és de 1013 hPa.

A mesura que avança el procés, la concentració de sal de la solució augmenta i arribarà un moment en què l'aigua s'haurà evaporat totalment i la sal restarà al matràs. L'aigua obtinguda s'anomena aigua destil·lada: és aigua pura, lliure de la sal que portava dissolta abans de la destil·lació.

El tipus de refrigerant de la figura s'anomena de Liebig. Per aconseguir una superfície més gran de contacte entre el vapor calent i l'aigua freda es pot utilitzar un refrigerant de boles o un de serpenti.

Pots repetir l'experiència utilitzant, en lloc d'aigua salada, una solució de sulfat de coure o també suc de fruites envasat.



d) Destil·lació fraccionada

Quan la separació per destil·lació simple resulta difícil per la proximitat del punt d'ebullició dels diferents components, es recorre a la **destil·lació fraccionada**.

Per fer una destil·lació fraccionada s'intercala entre el matràs i el refrigerant una columna de destil·lació anomenada **columna de fraccionament**. La columna està plena, generalment, d'anells o boles de vidre, o trossos de tub de vidre. Vegem com funciona en l'experiència següent.

La destil·lació fraccionada s'usa per obtenir alcohol a partir de productes de la fermentació del raïm (most) o dels cereals (whisky). També s'usa per separar els components de l'aire líquid i els grups d'hidrocarburs que constitueixen el petroli.

EXPERIÈNCIA

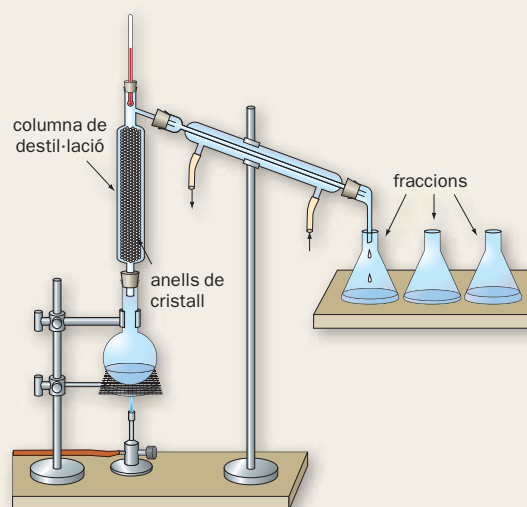
Separació dels components d'una solució formada per acetona i àcid acètic mitjançant una destil·lació fraccionada

És preferible que aquesta experiència la faci el professor ajudat per un parell d'alumnes, ja que l'acetona és fàcilment inflamable.

La solució a destil·lar es prepara amb uns 20 cm³ d'àcid acètic concentrat i la mateixa proporció d'acetona.

L'acetona té un punt d'ebullició (56,5 °C) més baix que l'àcid acètic (118 °C). Així doncs, l'acetona és més volàtil que l'àcid acètic.

Abans de començar la destil·lació, agafa tres tubs d'assaig. Afegeix al primer uns 2 cm³ de la solució preparada; al segon, uns 2 cm³ d'àcid acètic concentrat, i al tercer, el mateix volum d'acetona. Afegeix a cada tub tres o quatre gotes de l'indicador anomenat ataronjat de metil. Observa el color que agafa cada tub i guarda'ls.



Munta l'aparell de destil·lació fraccionada de la figura i escalfa (millor amb una manta elèctrica) molt suaument el matràs, fins arribar a l'ebullició de la solució. El vapor obtingut, mescla d'acetona i acètic, conté una proporció d'acetona més gran que la solució inicial. Diem que el vapor és més ric en el component més volàtil.

Aquest vapor ascendeix entre els anells freds de la columna i, a causa de la gran superfície de contacte, torna a condensar-se sobre ells. Nous vapors procedents del matràs escalfen aquest líquid condensat, que torna a vaporitzar-se, ascendeix i es condensa, una altra vegada, més amunt de la columna.

Cada vegada que té lloc una vaporització, el vapor s'enriqueix en acetona, que és el component més volàtil. Cada vegada que té lloc una condensació, el líquid queda enriquit en el component menys volàtil, l'àcid acètic. El pas complet per la columna equival a una sèrie de vaporitzacions i condensacions successives, és a dir, de destil·lacions.

Si el procés es repeteix un nombre de vegades suficient al llarg de la columna de fraccionament, el resultat és que el component més volàtil, l'acetona, surt per la part alta de la columna i es condensa en el refrigerant. L'àcid acètic, menys volàtil, tendeix a quedar a la part més baixa de la columna i passa al matràs.

Mentre el termòmetre indiqui 56-57 °C, això implica que es va recollint acetona al col·lector. Quan s'ha recollit una determinada quantitat de destil·lat, el termòmetre comença a marcar temperatures cada vegada més elevades; llavors s'ha d'aturar la destil·lació.

Pren una mostra d'uns 2 cm³ del líquid destil·lat en un tub d'assaig i afegeix-hi tres o quatre gotes d'ataronjat de metil. Compara el color amb el dels altres tres tubs i treu-ne conclusions.

Experiència filmada en el CD



14 | Mètodes de dissolució i d'extracció líquid-líquid

a) Dissolució

Els components solubles d'una mescla sòlida o líquida poden separar-se dels insolubles per dissolució en un dissolvent adequat. Per exemple, les taques de greix d'un teixit es dissolen bé en un dissolvent com el «tri», abreviatura de tricloroetilè $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CHCl}$, mentre que les fibres del teixit queden insolubles. Aquestes propietats dissolvents s'utilitzen en tintoreria.

b) Extracció líquid-líquid

Consisteix a passar un solut d'un dissolvent a un altre, en què és més soluble. Ambdós dissolvents han de ser immiscibles. Després, amb un embut de decantació, podem separar les dues solucions.

EXPERIÈNCIA

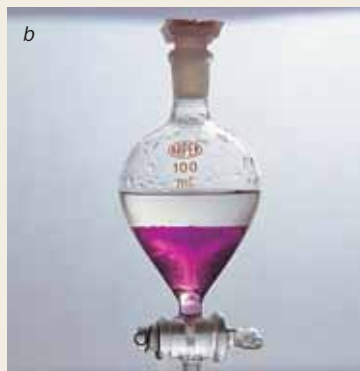
Extracció líquid-líquid

Tenim una solució aquosa de iode i volem separar el iode de l'aigua. Per a això, s'introdueix la solució en un embut de decantació i s'hi afegeix tetraclorur de carboni, CCl_4 , líquid incolor no miscible amb l'aigua i més dens que ella. En aquest cas fem servir la propietat que el iode és molt més soluble en tetraclorur de carboni que en aigua.

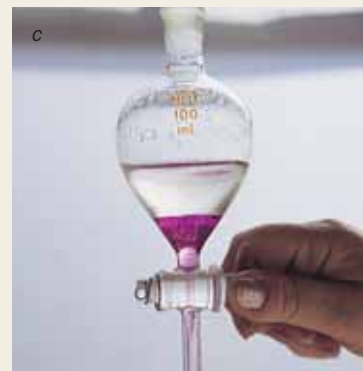
Tancat l'embut, s'agita ben fort, es deixa reposar i, quan les dues fases tornen a quedar separades, es pot observar com la fase aquosa s'ha decolorat i la fase més densa ha pres una coloració violeta (Fig. b). Quan obrim la clau de l'embut, se separen ambdues fases (Fig. c). Amb la fase aquosa que queda es pot repetir l'extracció. Amb un nombre suficient d'extraccions es pot eliminar pràcticament un solut d'un dissolvent.



a) A l'embut de decantació s'han introduït 20 cm^3 d'una solució aquosa de iode.



b) S'hi afegeixen uns 10 cm^3 de tetraclorur de carboni. S'agita fortament amb l'embut de decantació tancat i es deixa reposar fins que les dues fases tornin a separar-se.



c) En obrir la clau es poden separar les dues fases.

Fes aquesta experiència al laboratori.

L'extracció s'aplica en anàlisi química per separar la substància que es vol analitzar d'altres components. Industrialment, s'aplica en l'extracció de greixos continguts en llavors triturades. S'utilitzen dissolvents com el tetraclorur de carboni o tricloroetilè, que no són miscibles amb l'aigua i són molt bons dissolvents dels greixos.

15 | Mètodes cromatogràfics

La **cromatografia** es basa en la diferent capacitat que presenten els components d'una petita mostra gasosa o líquida d'**adherir-se** a unes superfícies **adsorbents** sòlides o líquides. Aquests components de la mostra poden ser arrossegats per un flux, d'un gas o d'un líquid, anomenat **eluent**.

Entre les cromatografies, les més importants són:

- La cromatografia de gasos.
- La cromatografia líquida o de líquids.
- La cromatografia plana (sobre paper o capa fina).

A continuació explicarem, com a exemple, la cromatografia sobre paper.

EXPERIÈNCIA

Cromatografia sobre paper (o sobre capa fina) per separar els components d'una tinta

La cromatografia sobre paper és una tècnica senzilla però molt sensible. Consisteix a dipositar una petita gota d'una mescla líquida –que en la nostra experiència és de tinta negra– a prop de l'extrem d'una tira de paper de filtre, de qualitat adequada. Els diferents components de la tinta queden **adsorbits** pel paper un cop evaporat el dissolvent. El paper de filtre és l'**adsorbent**.

En aquesta experiència utilitzarem com a eluent una solució líquida formada per 40 cm³ d'acetona / 40 cm³ d'amoníac concentrat / 10 cm³ d'aigua.

Observa la fotografia.

El paper de filtre es penja verticalment en una cambra o recipient tapat, que conté l'eluent líquid, de manera que quedi mullada la part baixa propera a la gota dipositada. L'eluent ascendeix per capil·laritat, i en el seu moviment arrossega els diferents components que, en trobar-se amb adsorbent sec, tornen a ser adsorbits.

Novament, el dissolvent els fa avançar més. En el curs del procés cromatogràfic es produeixen milers d'adsorcions i d'arrossegaments. N'hi ha prou amb petites diferències en la capacitat d'adsorció i en la solubilitat perquè, quan es repeteixi aquest procés, es vagin separant els diferents components, d'acord amb les seves velocitats de migració al llarg del paper, per quedar finalment disposats a diferents altures, en forma de petites taques que es detecten, en aquesta experiència, a simple vista.

En el moment de fer l'experiència, tingues cura de col·locar la tira de paper de filtre verticalment, de manera que no estigui en contacte amb les parets del recipient. Procura també que la taca ocupi la menor superfície possible. Això s'aconsegueix dipositant la tinta amb un tub capil·lar. Pots repetir l'experiència amb una petita taca d'un retolador verd.



La cromatografia en **capa fina** és semblant a l'explicada, però utilitza com a adsorbent una fina capa de sílice col·loïdal anomenada **silicagel**, suportada per alumini o plàstic.

En la **cromatografia de gasos**, la mostra és un gas o un líquid volàtil, que s'injecta a l'extrem del que es coneix com a «columna» en el llenguatge de laboratori, que consisteix en un tub calent, llarg i estret, ple de material

adsorbent. Si la mostra és líquida, es volatilitza i els gasos són arrossegats al llarg de la columna per un corrent de gas inert, generalment heli. També aquí es produeixen milers d'adsorcions i arrossegaments, i els diferents components avancen a diferent velocitat. A la sortida de la columna, un detector adequat indica el pas dels diferents components separats i la seva major o menor quantitat.

Amb la cromatografia s'obtenen bones separacions en un temps relativament curt, per això no tan sols s'utilitza en el centres d'investigació, sinó que també és emprada habitualment en els laboratoris industrials.

Sense l'ajut de la cromatografia, els ràpids progressos fets en les darreres dècades en la identificació, purificació i separació de vitamines, hormones, aminoàcids i proteïnes no haurien estat possibles.

16 | Criteris de puresa de les substàncies

Les temperatures de canvi d'estat de les substàncies pures estan recollides en taules que es poden consultar per comprovar la identitat d'una substància.

Quan les mescles se sotmeten a les operacions de separació i purificació, s'aconsegueixen les **substàncies pures**: els **compostos** i els **elements**.

Ordinàriament es considera que una riquesa del 99,99% és suficient per poder qualificar de pura una substància. Molts reactius químics anomenats comercials no assoleixen el 98% de riquesa. D'altra banda, el fet que un determinat grau de puresa sigui o no suficient, depèn de l'aplicació que es doni a la substància.

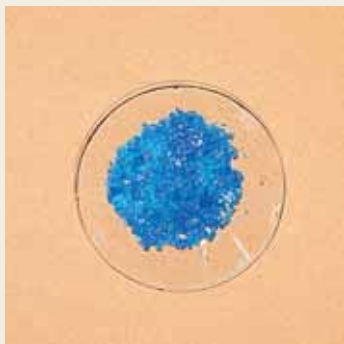
Per saber si les substàncies són pures, disposem dels **criteris de puresa**. Com a criteris de puresa s'usen les **propietats característiques** que resulten indicatives del grau de puresa i que diferencien les substàncies pures de les mescles. Algunes de les quals són:

- Els punts de fusió i solidificació i els d'ebullició i condensació** han estat els criteris de puresa més utilitzats durant molt de temps.
- La densitat**, que, a una pressió i temperatura determinades, és característica de cada element o compost. Les mescles presenten densitats que són intermèdies entre les que corresponen a les substàncies que les componen.
- La solubilitat** en un dissolvent determinat, fixades les condicions, és també una propietat característica de les substàncies pures, encara que el seu ús és més restringit com a criteri de puresa.
- Propietats òptiques, com l'**índex de refracció** de les substàncies transparents, a una temperatura i una longitud d'ona determinades, són característiques també utilitzades com a criteris de puresa.
- Un dels criteris de puresa més segurs és la **composició centesimal**, és a dir, el percentatge en massa de cada element en un compost. La composició centesimal d'un compost pur es manté constant encara que formi part d'una mescla i se sotmeti a diferents operacions de separació física.

Quan una mostra ha estat sotmesa a separacions i a purificacions i es creu que s'ha obtingut una substància pura coneguda (o diverses), se'n determinen les propietats i la composició elemental, comparant-les amb les de les taules. Si coincideixen, dins de l'error experimental, és que es tracta definitivament d'una substància pura.

Separació dels components d'una mescla heterogènia

Sobre un full de paper net mescla, aproximadament, 1 g de petits cristalls de sulfat de coure (II) pentahidratat, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,5 g d'àcid benzoic, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, i 0,5 g de sulfat de bari, BaSO_4 .



El sulfat de coure (II) pentahidratat és soluble en l'aigua.



L'àcid benzoic és pràcticament insoluble en aigua freda, però la seva solubilitat augmenta molt amb la temperatura. Quan s'escalfa suaument, sublima.



El sulfat de bari és insoluble en l'aigua.

Com podem tornar a separar els tres components de la mescla?

Col·loca la mescla en un vas de precipitats de 250 cm^3 i afegeix uns 100 cm^3 d'aigua destil·lada. Escalfa la suspensió durant 5 minuts i agita amb una vareta. Deixa refredar i filtra la mescla. Observa el color del filtrat: conté el sulfat de coure dissolt.

Un cop acabada la filtració, neteja dues o tres vegades la mescla insoluble retinguda en el filtre amb una mica d'aigua destil·lada, per tal d'arrossegar tota la resta de solució de sulfat de coure. Si evaporem el dissolvent obtindrem, cristal·litzat, el sulfat de coure (II) pentahidratat.

Mentrestant treu amb compte de l'embut el paper de filtre amb la mescla restant i asseca-la amb paper de filtre.



Àcid benzoic

Amb una espàtula, passa la mescla a un vas de precipitats de 100 cm^3 , tapa'l amb un vidre de rellotge i escalfa'l suaument.

Podràs observar que, en el vidre de rellotge, s'ha format un sòlid blanc que ha sublimat (àcid benzoic). Al fons del vas queda un residu blanc de sulfat de bari.

Ciència, tècnica i societat

Aigua potable



L'aigua potable és la que és apta per a l'alimentació humana i dels animals domèstics. És incolora, transparent i inodora, i conté en solució una petita concentració d'ions. Ha de ser bacteriològicament pura, és a dir, ha d'estar lliure de bacteris i virus.

Per tal que l'aigua sigui potable, la concentració dels diferents ions no pot sobrepassar un valor màxim fixat per l'OMS (Organització Mundial de la Salut). Si se sobrepassen aquests valors límit, alguns ions poden ser perillosos per a l'organisme humà.

Així, per exemple, la màxima concentració en massa d'ions de sodi, Na^+ , no ha d'ultrapassar els 150 mg/L.

Potabilització d'aigua



Un excés d'ions de sodi pot provocar malalties cardiovasculars i un excés d'ions de potassi pot provocar malalties renals.

En el quadre següent, figuren els ions més comuns en una aigua potable i la seva concentració en massa (expressada en mg/L) màxima admissible.

Nom de l'ió	Fórmula de l'ió	mg/L (màxim admissible)
Calci	Ca^{2+}	100
Magnesi	Mg^{2+}	50
Potassi	K^+	12
Sodi	Na^+	150
Sulfat	SO_4^{2-}	250
Clorur	Cl^-	250
Nitrat	NO_3^-	50
Fluorur	F^-	1,5

Les aigües minerals naturals, a més de ser bacteriològicament pures, tenen unes característiques especials de composició que les fan més aptes per a certes dietes. Així, per exemple, una aigua mineral pobre en ions sodi està indicada per als qui pateixen hipertensió.

A la majoria dels països, les «aigües naturalment pures» (les de les fonts i les deus) són cada vegada més escasses i insuficients. Per tal d'abastir d'aigua els pobles i les ciutats, es fan servir les aigües dels llacs i dels rius i, fins i tot, l'aigua del mar.

Aquestes aigües no són potables i estan cada vegada més contaminades, ja que contenen matèria en suspensió i excés d'ions nocius que cal eliminar. Contenen també bacteris i virus que s'han de destruir.

Aquestes aigües, abans que siguin utilitzades per al consum humà, s'han de «potabilitzar». Això té lloc a les plantes potabilitzadores.

El mètode emprat per a la depuració varia segons sigui la procedència de l'aigua que es vol potabilitzar.

Ciència, tècnica i societat

Quan l'aigua es pren d'un riu, en línies generals, se segueix el procés següent: s'envia l'aigua a un tanc de sedimentació perquè s'hi dipositin les partícules més grans que duu en suspensió i, tot seguit, a una sèrie de dipòsits on té lloc la sedimentació de les partícules més fines. A fi d'afavorir aquest procés, s'hi afegeixen sals d'alumini o de ferro, juntament amb calç (òxid de calci), que actuen com a coagulants.

Després, l'aigua es filtra a través de llits de grava i sorra, que retenen les darreres partícules en suspensió, generalment col·loides, i els microorganismes.

Per últim, s'hi afegeixen petites quantitats de clor o d'ozó, degudament regulades, que destrueixen els organismes que podrien provocar infeccions.

Quan s'utilitzen aigües subterrànies per a la beguda, tan sols cal fer aquest últim tractament, ja que solen estar exemptes de matèries en suspensió.

La possibilitat de deixar a l'aigua una petita concentració de clor garanteix la potabilització bacteriològica de l'aigua que arriba als consumidors, malgrat que a la xarxa de distribució hi pugui haver punts de contaminació ocasionats per avaries o pel mal estat de conservació.

L'aigua potable és un bé escàs

Vuitanta països en els quals viu el 40 % de la població mundial pateixen escassetat d'aigua potable, segons un document publicat darrerament pel Banc Mundial.

Uns 1 000 milions de persones viuen actualment sense aigua potable i 1 700 milions no tenen un sistema higiènic d'evacuació de residus. De resultes d'aquesta situació, les aigües insalubres són la via de transmissió del 80 % de les malalties que es registren al Tercer Món i la causa de milions de morts anuals.

Es preveu que l'escassetat d'aigua potable i els problemes que comporta s'agreujaran els anys vinents. En primer lloc, perquè la població mundial augmenta, fet que implica més consum d'aigua. En segon lloc, perquè la creixent contaminació deteriora aigües que fins



ara eren potables, cosa que farà minvar la quantitat total d'aigua disponible per al consum humà.

Països amb dèficit d'aigua potable són, entre d'altres, Kenya, Israel, Aràbia Saudita, Kuwait i Jordània. El país amb més abundància d'aigua potable per habitant i any és Islàndia.

Malgrat que l'Estat espanyol figura entre els països amb abundància d'aigua potable (més de 2 000 litres per habitant i any), moltes zones, sobretot a la meitat sud, pateixen sovint restriccions d'aigua a l'estiu. Això és degut al fet que, per calcular els recursos d'aigua d'un país, es divideix el volum total d'aigua disponible en un any pel nombre d'habitants; aquest càlcul, però, no indica si l'aigua està repartida uniformement ni tampoc si es troba allà on més es necessita.



RESUM

Un **sistema** és **homogeni** quan té les mateixes propietats i la mateixa composició en tots els punts de la seva massa.

Un **sistema** és **heterogeni** quan a ull nu, amb una lupa o amb microscopi òptic podem observar que està format per dues o més classes de matèries diferents. Un sistema heterogeni l'anomenem **mescla heterogènia** o simplement mescla.

Una **solució** és una **mescla homogènia** de composició variable. Les partícules que formen una solució no es poden veure ni utilitzant els més potents microscopis òptics. Les solucions poden ser **sòlides, líquides o gasoses**.

En una **dispersió col·loïdal** o col·loide, les partícules es reconeixen utilitzant l'ultramicroscopi.

Composició de les solucions:

- a) El **tant per cent de la massa** de solut és el nombre de grams de solut dissolts en 100 g de solució.
- b) El **tant per cent en volum** és el nombre d'unitats de volum de solut dissolts en cent unitats de volum de solució.
- c) La **concentració en massa** és la massa de solut dissolta en cada unitat de volum de solució. S'utilitza habitualment el g/dm^3 .
- d) La **concentració molar** és la quantitat de substància (nombre de mols) dissolta en cada unitat de volum de la solució. Habitualment s'utilitza el mol/dm^3 que tradicionalment s'anomena molaritat, M .

e) La **molalitat** és la quantitat de substància (nombre de mols) dissolta en cada unitat de massa de dissolvent. S'expressa en mol/kg .

f) La **fracció molar** d'un dels components d'una solució és el quocient entre el nombre de mols d'aquest component i el nombre de mols de tots els components.

Una solució és **saturada** quan, a una temperatura determinada, la quantitat de substància dissolta és la màxima possible.

La **solubilitat** d'una substància en un dissolvent determinat és la composició de la solució saturada a una temperatura determinada. Per a la majoria de les substàncies sòlides, la solubilitat en aigua augmenta amb la temperatura. La solubilitat d'un gas en un líquid disminueix en augmentar la temperatura i augmenta en augmentar la pressió que exerceix el gas sobre aquest líquid.

Les **propietats col·ligatives** són propietats de les solucions que depenen del nombre de partícules (molècules o ions) de solut dissoltes, però no de la naturalesa d'aquestes partícules. Aquestes propietats són: la disminució de la pressió de vapor, l'augment del punt d'ebullició, la disminució del punt de congelació i la pressió osmòtica.

Mètodes de separació dels components d'una mescla:

- Mecànics: **decantació, filtració** a pressió normal o a pressió reduïda, **centrifugació**.
- Amb canvi d'estat: **sublimació, cristallització, destil·lació simple, destil·lació fraccionada**.
- De **dissolució** i d'**extracció líquid-líquid**.
- **Mètodes cromatogràfics**.





ACTIVITATS

Solucions

- 1** a) Explica la diferència entre compost químic, solució i mescla heterogènia.
b) Es poden distingir, a ull nu o amb un microscopi òptic, els components d'una mescla? I els d'una solució? Raona-ho.
- 2** Classifica les matèries següents segons si són: mescles, solucions, elements o compostos: calç viva, gasolina, glicerina, cautxú, sofre, llautó, vi, tintura de iode i ciment.
- 3** Anomena:
a) Tres compostos que es dissolguin fàcilment en aigua.
b) Tres compostos insolubles o escassament solubles en aigua.
- 4** Anomena:
a) tres matèries homogènies;
b) tres matèries heterogènies;
c) tres dispersions col·loïdals;
d) tres suspensions.
- 5** Esmenta dues propietats de les solucions acolorides que varïin amb la concentració de solut.
- 6** Quina diferència hi ha entre una solució concentrada i una altra de saturada?
- 7** Posa exemples de líquids miscibles i de líquids immiscibles.
- 8** Indica formes diferents d'expressar la composició de les solucions.
- 9** Què són les corbes de solubilitat?
- 10** Una solució diluïda pot estar saturada? I una solució concentrada pot no estar saturada? Raona-ho i posa exemples que ho aclareixin.
- 11** Una solució conté 40 g de nitrat de potassi i 45 g de clorur de sodi dissolts en 500 g d'aigua. Calcula el tant per cent de cada solut en la solució.
- 12** Es disposa d'una solució de iode en alcohol al 0,5 % en massa. Calcula quants grams de solució contenen 5 g de iode.
- 13** S'afegeixen 10 g de clorur de potassi a 200 g d'una solució de clorur de sodi al 5 %. Calcula el tant per cent en massa de cada component en la solució obtinguda.
- 14** Explica com es prepararien, a 20 °C, 500 g d'una solució aquosa que contingui un 5 % de sucre i un 10 % de sal comuna. Fes un esquema del material utilitzat i anomena'l.
- 15** Explica com es prepararien, a 20 °C, 500 g d'una solució de iode (sòlid) en alcohol al 2 % en massa.
(Dada: La densitat de l'alcohol a 20 °C és $\rho = 790 \text{ kg/m}^3$.)
- 16** Calcula quants grams d'alcohol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, han d'afegir-se a 100 g d'aigua per preparar una solució que contingui el mateix nombre de molècules d'alcohol que d'aigua.
- 17** Una solució conté 12 g de clorur de potassi, KCl, en 1 dm³ de solució. Calcula quants cm³ d'aquesta solució haurem de mesurar per tenir 0,1 g de clorur de potassi.
- 18** En medicina s'utilitzen unes solucions anomenades sèrums fisiològics que solen injectar-se per via intravenosa. Aquestes reben noms diferents segons el solut dissolt. Així, el sèrum glucosat pot contenir un 5 %, un 10 % o un 20 % en massa de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).
Calcula:
a) La molalitat de cada un dels sèrums glucosats indicats.
b) Les molècules de glucosa dissoltes en 1 g de sèrum glucosat al 10 %.
- 19** Calcula quants grams de solut es necessiten per preparar 200 cm³ de solució de nitrat de sodi, de composició en massa 3,2 g/L. Explica com es prepararia aquesta dissolució al laboratori.
- 20** Es disposa de 50 g de nitrat de potassi, KNO_3 , i es vol preparar amb aquests grams una solució 0,1 mol/L. Calcula quin volum de solució es podrà preparar.
- 21** Explica com es preparen al laboratori les solucions següents:
a) 100 g de solució de nitrat de potassi, KNO_3 , en aigua al 2 %. (El nitrat de potassi és un compost sòlid.)



- b) 100 cm³ de solució de carbonat de sodi, Na₂CO₃, de concentració 0,1 mol/L (el carbonat de sodi és un compost sòlid.)
- c) 200 g de dissolució 2 m de clorur de sodi en aigua.

22 Es dissolen 80 g d'hidròxid de sodi, NaOH, en 6 kg d'aigua destil·lada. Calcula la molaritat de la solució obtinguda.

23 Calcula la massa de solució 0,1 mol/kg de glucosa, C₆H₁₂O₆, que conté dissolts 20 g de glucosa.

24 S'han de preparar 5 kg d'una solució 0,2 m de clorur de potassi en aigua. Calcula la massa de solut i la massa de dissolvent que es necessiten.

25 L'aigua de mar conté com a mitjana 19 g d'ions de clorur (Cl⁻) per cada kg d'aigua de mar. Calcula:

- a) El nombre d'ions clorur dissolts en 1 kg d'aigua de mar.
- b) La concentració (mol/dm³) d'ions clorur en aquesta aigua.

(Dada: La densitat de l'aigua del mar és de 1 022 kg/m³.)

26 El sèrum sanguini humà conté 3,4 g/dm³ d'ions sodi, Na⁺. Quina és la concentració d'ions sodi del sèrum sanguini?

27 Al laboratori, a partir d'un àcid concentrat es preparen solucions més diluïdes.

Un àcid clorhídric concentrat té una densitat d'1,18 g/cm³ i conté un 36,2% de HCl dissolt.

- a) Calcula la composició de la solució expressada en g/dm³.
- b) Calcula el volum de solució concentrada que es necessita per preparar 1 dm³ de solució, la concentració en massa de la qual sigui de 10 g/dm³.
- c) Explica com es prepararia aquesta solució diluïda a partir de la concentrada.

28 Calcula la massa d'aigua que s'ha d'afegir a 100 cm³ d'un àcid clorhídric de densitat 1,180 g/cm³ i que conté un 36,23% en massa de HCl, per tal d'obtenir un àcid amb un 22,33% de HCl i densitat 1,115 g/cm³.

29 Un àcid nítric concentrat té una densitat de 1 380 kg/m³ i conté un 61,24% de HNO₃. Calcula el volum de solució concentrada que es necessita per preparar 10 litres de solució 0,20 M.

30 a) Calcula quin volum de solució de clorur de sodi 1 mol/dm³ es necessita per preparar 1 dm³ d'una solució de clorur de sodi 0,02 mol/dm³.

b) Explica com es prepararia aquesta solució diluïda a partir de la més concentrada.

c) Fes un esquema del material utilitzat. Anomena'l.

31 Si suposem que l'aigua del mar conté de mitjana un 2,8% en massa de clorur de sodi (NaCl), calcula quina és la concentració (mol/dm³) de NaCl en l'aigua del mar.

(Dada: Densitat de l'aigua de mar: ρ = 1,03 g/cm³.)

32 El clorur d'hidrogen (gas) és molt soluble en aigua. La solució obtinguda és àcid clorhídric. En 1 000 g d'aigua es dissolen 333,3 litres de HCl (gas) mesurats a 15 °C i 1,02 × 10⁵ Pa. La densitat de la solució és 1,169 g/cm³. Calcula la composició de la solució obtinguda:

- a) En tant per cent en massa.
- b) En grams per litre (concentració en massa).
- c) En mols de HCl per quilogram d'aigua (molaritat).
- d) La fracció molar de cada component (HCl i H₂O).

33 Un àcid sulfúric concentrat de densitat 1 813 kg/m³ conté un 91,33% en massa de H₂SO₄. Calcula la composició expressada:

- a) En mol/kg (molaritat).
- b) En mol/dm³.
- c) En g/dm³.
- d) La fracció molar de cada component.

34 Calcula quina és la molaritat d'una solució saturada de clorur de potassi en aigua a 50 °C i la fracció molar de cada component (consulta la figura 14).



35 Expressa en mol/kg (molalitat) la solubilitat del nitrat d'argent, AgNO_3 , a 5°C .

36 a) Calcula quants grams de clorur de potassi poden dissoldre's com a màxim en 500 g d'aigua a 50°C .
b) Si la dissolució anterior es refreda fins a 20°C , quants grams de clorur de potassi es dipositaran en el fons del recipient de la dissolució? (Consulta la figura 14)

37 És saturada una solució que conté a 25°C un 23% en massa de clorur de sodi? (Consulta la figura 14).

38 Calcula quants grams de solut cristal·litzat en refredar des de 50°C fins a 20°C , 500 g d'una solució que conté un 28,6% de clorur de potassi (consulta la figura 14).

39 La solubilitat de l'oxigen en aigua a 20°C i $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 atm) és només de $0,04 \text{ g/dm}^3$. Calcula les molècules d'oxigen dissoltes en cada cm^3 d'aigua en les condicions de pressió i temperatura indicades.

40 L'aire conté un 21 % en volum de O_2 . Calcula quantes molècules de O_2 entren als pulmons en una aspiració forta, si la pressió atmosfèrica és d' $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$ i la temperatura és de 20°C .
(Dada: En una aspiració forta s'inhala aproximadament 1 dm^3 d'aire.)

Propietats col·ligatives

41 Preparem una solució a partir de 20,0 g d'un solut no volàtil i 615 g de tetràclorur de carboni. A 65°C la pressió de vapor d'aquesta solució és 0,663 atm. Calcula la massa molecular del solut si la pressió de vapor del tetràclorur de carboni a 65°C és 0,699 atm.

42 Calcula la variació del punt de congelació i del punt d'ebullició d'una solució del 10 % d'urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) en l'aigua.

43 Un anticongelant utilitzat als radiadors dels cotxes és l'etilenglicol ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$). Calcula la massa d'etilenglicol que hem d'afegir a 500 g d'aigua perquè congeli a -10°C .

44 Una solució conté 22,0 g d'àcid ascòrbic en 100 g d'aigua. El seu punt de congelació és $-2,33^\circ\text{C}$. Calcula la massa molecular de l'àcid ascòrbic.

45 A 20°C , es prepara una solució del 2,29% en massa d'un hidrocarbur no volàtil en benzè. Aquest hidrocarbur té un 6,29 % d'hidrogen i la pressió de vapor de la solució és 9 783,7 Pa a aquesta temperatura. Troba la fórmula molecular de l'hidrocarbur.
(Dada: Pressió de vapor del benzè a 20°C = 9 921,9 Pa.)

46 Calcula, a 20°C , la pressió osmòtica d'una solució aquosa de sacarosa, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, del 5 % en massa i densitat $1,017 \text{ g cm}^{-3}$.

47 La massa molecular d'una proteïna és 3 000. Una solució saturada d'aquesta proteïna té una pressió osmòtica de $1,72 \times 10^4 \text{ Pa}$ a 25°C . Calcula la massa de proteïna que s'ha dissolt en 1 dm^3 de solució.

Separació dels components d'una mescla

48 Quines propietats ens permeten reconèixer si una mostra és una mescla, una solució, un compost o un element?

49 Defineix «densitat absoluta», «densitat relativa», «índex de refracció» i «solubilitat».

50 Suggereix un mètode que permeti separar i recuperar els components d'una solució de:

- Benzè i toluè (busca en primer lloc informació sobre les propietats d'aquests dos components).
- Sucre i aigua.
- Sal, iode i aigua.

51 Què és un embut de decantació? Per a què serveix?

52 Anomena quatre propietats que ens permetin saber si una substància és pura o forma part d'una mescla. Repassa les lleis de la fusió i de l'ebullició.

53 Explica la diferència entre destil·lació simple i destil·lació fraccionada.



- 54** Explica com separaries els components d'una solució de metanol i aigua. Busca abans informació sobre les propietats del metanol.
- 55** Explica per què la cristal·lització és un dels mètodes que millor ens permet obtenir substàncies pures.
- 56** Tenim una mescla de sulfat de bari, sal i llimadures de ferro. Explica com podríem separar i obtenir en estat pur cada un dels components.
- 57** Tenim una mescla heterogènia de gasolina i aigua. Indica un mètode que ens permeti separar i recuperar ambdós components.
- 58** Com podríem obtenir l'alcohol que hi ha en un vi? Explica-ho i fes un esquema de l'aparell utilitzat.
- 59** Els mètodes de separació que hem utilitzat en les experiències, són mètodes físics o químics? Explica'n el perquè.
- 60** Quins mètodes coneixes que ens permetin determinar la densitat d'una mostra sòlida?

- 61** Que hem de tenir en compte per poder separar per cristal·lització dues substàncies dissoltes en un mateix dissolvent?
- 62** Es poden purificar mitjançant la sublimació totes les substàncies? Per què?

Investiga

- 63** Investiga com separar, per cromatografia sobre paper, els pigments dels espinacs (clorofil·la, xantofil·la i carotè).
- 64** Investiga els avantatges i els inconvenients d'utilitzar aigua destil·lada com a beguda.
- 65** Investiga què són els sabons i els detergents i què s'entén per duresa de l'aigua
- 66** Investiga substàncies que sublimin.

A **www.ecasals.net** trobaràs una llista de pàgines web que t'ajudaran a iniciar la teva investigació. No oblidis consultar també enciclopèdies i llibres especialitzats.