

# Estequiometria i vida quotidiana

## Stoichiometry and everyday life

Gabriel Pinto i Salvador León / Universitat Politècnica de Madrid. ETS d'Enginyers Industrials.  
Departament d'Enginyeria Química Industrial i del Medi Ambient



### resum

Es descriuen exemples de càlculs estequiomètrics basats en aspectes de la realitat quotidiana. Estan especialment pensats per ser utilitzats en contextos educatius que promoguin metodologies actives per part dels alumnes, com ara l'aprenentatge basat en problemes i l'aprenentatge basat en la indagació dirigida. Entre altres aspectes, s'inclouen qüestions sobre estequiometria de medicaments, compostos de fluor per a la cura de les dents, fertilitzants, aigües minerals i emissions de diòxid de carboni.

### paraules clau

Estequiometria, vida quotidiana, química del consumidor, aprenentatge actiu.

### abstract

Several examples of stoichiometric problems, based on different aspects of everyday life, are described. They are specially designed in active learning methodologies, such as problem based learning and inquiry-guided instruction. Among other aspects, topics covered include stoichiometry of medicaments, fluorine compounds for the dental care, fertilizers, mineral waters and emissions of carbon dioxide.

### keywords

Stoichiometry, everyday life, consumer chemistry, active learning.

### Problemes d'estequiometria

Si bé l'estequiometria és un dels aspectes fonamentals per a l'estudi de la química, els exercicis al respecte que es plantegen als llibres de text, tant del batxillerat com del primer curs universitari, generalment són repetitius i es refereixen a substàncies alienes als alumnes. Això comporta un cert desànim, que és

especialment important pel fet que es tracta d'un tema, com el de la formulació, que se sol tractar al principi dels cursos.

La mateixa denominació del terme *estequiometria* provoca un cert desconcert inicial en els alumnes, atès que és un terme estrany per a ells. El seu origen etimològic es troba en el grec *stoicheion*, 'letra o element (prin-

cipi) bàsic constitutiu', i *metrón*, 'mesura' (picket, 2000). El terme va ser ideat pel químic alemany Jeremias Benjamin Richter (Hirschberg, 1762-Berlín, 1807) (fig. 1), que va estudiar filosofia (va ser deixeble d'Immanuel Kant) i matemàtiques a Königsberg, tot doctorant-se amb una tesi sobre l'ús de les matemàtiques en la química.



Figura 1. Retrat de Jeremias Benjamin Richter.

Els primers problemes sobre estequiometria, almenys com a qüestions massives senzilles, apareixen als llibres de text de química al voltant del 1870 (Jensen, 2003). Per resoldre aquest tipus de problemes, els alumnes han de conèixer conceptes com les equacions químiques, la nomenclatura, el mol, el pes atòmic, el pes molecular, la massa molar, l'ajustament de reaccions químiques, el reactiu limitant, la composició percentual, la fórmula empírica i molecular, la densitat, les formes d'expressió de concentracions i la relació entre massa i volum de gasos, entre d'altres.

En aquest treball es planteja una dotzena de problemes d'estequiometria relacionats amb substàncies ben conegudes pels alumnes. Es pretén que, en abordar problemes amb substàncies familiars, sentin una motivació major per a la seva resolució, en apreciar una aplicació directa

Hi ha un esforç creixent per part dels autors de llibres educatius de química per incloure problemes d'estequiometria amb aspectes quotidians, com ara les pastilles efervescents o la formació de nitrogen a l'airbag dels automòbils (Brown *et al.*, 2004).

En aquest treball es planteja una dotzena de problemes d'estequiometria relacionats amb substàncies ben conegudes pels alumnes. Es pretén que, en abordar problemes amb substàncies familiars, sentin una motivació major per a la seva resolució, en apreciar una aplicació directa. La importància de la vida quotidiana per a l'aprenentatge de la química

ca ha estat descrita per una multitud d'autors (Mans, 2008). En alguns casos, el problema plantejat és obert, en el sentit que els alumnes han de trobar les dades en etiquetes de productes comercials (fig. 2), a Internet o en altres fonts. D'aquesta manera, cada alumne (o grup d'alumnes) pot haver de resoldre un problema anàleg al d'un altre, però amb dades (i, per tant, amb resultats) diferents. A banda de recollir aquests casos per a la seva possible utilització per part dels docents, es mostren com a exemples que poden servir d'inspiració o de punt de partida per al desenvolupament d'altres de nous.

Aquests problemes, en contextos més amplis, han estat utilitzats pels autors a través de metodologies centrades en l'alumne (Pinto *et al.*, 2008), com ara l'aprenentatge basat en problemes (Ram, 1999; Morales *et al.*, 2004; Molina Ortiz *et al.*, 2004) i l'aprenentatge basat en la indagació dirigida (Oliver-Hoyo i Pinto, 2008).

### Medicaments

Una de les fonts d'informació que es pot utilitzar per desenvolupar activitats del tipus de les aquí exposades és el vademècum d'especialitats farmacèutiques.

Figura 2. Envasos i anuncis de productes comercials amb informació per a la realització de càlculs estequiomètrics.



## material per a l'alumne



**Problema 1:** El prospecte d'un medicament indica, en una versió A, que cada comprimit conté 256,30 mg de sulfat de ferro(II) sesquihidratat, equivalent a 80 mg de ferro. En una altra versió B d'aquest mateix medicament, s'indica que el contingut d'aquesta sal, per comprimit, és de 270 mg, també equivalent a 80 mg de ferro. Raoneu quin dels dos prospectes indica l'equivalència correcta.

**Resultat del problema 1.** El sulfat de ferro(II) sesquihidratat respon a la fórmula  $\text{FeSO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ .

$$\frac{0,25630 \text{ g sal}}{178,93 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ sal}} \cdot \frac{1 \text{ mol Fe}}{1 \text{ mol sal}} \cdot \frac{55,85 \text{ g}}{\text{mol Fe}} \cdot \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 80,00 \text{ mg Fe}$$

Procedint d'una manera similar pels 270 mg de sal (versió B), s'obté que equivalen a 84,3 mg de ferro. Per tant, la versió A del prospecte és la correcta. Aquest és un cas real que va succeir a Espanya, on un laboratori va fer servir durant uns anys la versió B del prospecte, fins que ho va corregir. En tot cas, la diferència de valors no era elevada.

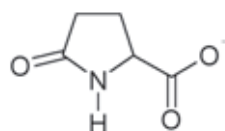
**Resultat del problema 2.** Sabent que la sal és del tipus  $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , es té:

$$\frac{525 \cdot 10^{-3} \text{ g sal}}{(151,91 + n \cdot 18,02) \text{ g mol}^{-1} \text{ sal}} \cdot \frac{1 \text{ mol Fe}}{1 \text{ mol sal}} \cdot \frac{55,85 \text{ g}}{\text{mol Fe}} \cdot \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 105 \text{ mg Fe}$$

Aïllant-ho amb cura, s'obté  $n = 7,07$ . Per tant, es tracta del sulfat de ferro(II) heptahidratat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

Aquests dos exercicis poden servir d'oportunitat per introduir conceptes com la formulació, la hidratació de sals, la composició de medicaments i la importància del ferro a l'organisme, entre d'altres.

**Resultat del problema 3.** Per resoldre aquest problema és necessari formular els diversos compostos, calcular els pesos moleculars corresponents i establir els càlculs estequiomètrics adients. Quant a formulació, la més complexa és la corresponent al medicament G, perquè cal conèixer que l'aní pidolat (2-pirrolidona-5-carboxilat) respon a la fórmula següent:



Aní pidolat (2-pirrolidona-5-carboxilat).

Així, la massa molar del pidolat de calci,  $\text{Ca}(\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_3\text{N})_2$ , és 296,3 g/mol.

$$\frac{1,250 \text{ g CaCO}_3}{100,1 \text{ g/mol CaCO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{40,08 \cdot 10^3 \text{ mg Ca}}{\text{mol Ca}} = 500,5 \text{ mg Ca}$$

Al medicament A, el càlcul estequiomètric implica el següent:

Els valors d'equivalència en Ca obtinguts per a la resta dels medicaments, per raonaments anàlegs, són els següents: B (505 mg), C (1.001 mg o 25 mmol), D (1,28 g), E (97 mg), F (122 mg) i G (508 mg). Tal com era d'esperar, són valors propers als indicats pel fabricant, si bé en alguns casos hi ha variacions significatives que oscil·len entre un -3 % i un +7 %. Aquests tipus de problemes, com la majoria dels analitzats en aquest treball, poden servir com a introducció a la coneguda «química del consumidor».

## material per a l'alumne




**Problema 2:** El prospecte d'un medicament indica que cada comprimit conté 525 mg de sulfat de ferro(II), equivalents a 105 mg de ferro element. Assumint que el sulfat de ferro(II) té un cert grau d'hidratació, determineu la fórmula de la sal corresponent.

## material per a l'alumne



**Problema 3:** En els prospectes de diferents medicaments s'informa que una quantitat de diversos compostos (per comprimit, per sobre o per cullerada) equival a una certa quantitat de calci, segons s'indica entre parèntesis. Verifiqueu les citades equivalències:

- 1) Medicament A: 1.250 mg de carbonat de calci (500 mg de Ca).
- 2) Medicament B: 1.260 mg de carbonat de calci (500 mg de Ca).
- 3) Medicament C: 2.500 mg de carbonat de calci (1.000 mg o 25 mmol de Ca).
- 4) Medicament D: 3,30 mg de fosfat de calci (1,2 g de Ca).
- 5) Medicament E: 1 cullerada (15 mL) de dissolució en la qual, per cada 100 mL, hi ha 1.671 mg de fosfat de calci (100 mg de Ca).
- 6) Medicament F: 1 cullerada (15 mL) de dissolució en la qual, per cada 100 mL, hi ha 2.088 mg de fosfat de calci (125 mg de Ca).
- 7) Medicament G: 3.750 mg de pidolat de calci (500 mg de Ca).

material per a l'alumne 

**Problema 4:** En la informació sobre un medicament s'indica que conté 800 mg de fosfat de calci, 200 mg de carbonat de calci i 5 mg de fluorur de calci per comprimit. També s'indica que aquestes quantitats equivalen a 393 mg de calci element i a 2,43 mg de fluor element. Es demana la verificació d'aquestes equivalències.

**Resultat del problema 4.** Els càlculs estequiomètrics són els següents:


$$\frac{0,800 \text{ g Ca}_3(\text{PO}_4)_2}{310,3 \text{ g/mol Ca}_3(\text{PO}_4)_2} \cdot \frac{3 \text{ mol Ca}}{1 \text{ mol Ca}_3(\text{PO}_4)_2} \cdot \frac{40,08 \cdot 10^3 \text{ mg Ca}}{\text{mol Ca}} = 310,0 \text{ mg Ca}$$

$$\frac{0,200 \text{ g CaCO}_3}{100,1 \text{ g/mol CaCO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{40,08 \cdot 10^3 \text{ mg Ca}}{\text{mol Ca}} = 80,1 \text{ mg Ca}$$

$$\frac{0,005 \text{ g CaF}_2}{78,1 \text{ g/mol CaF}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}}{1 \text{ mol CaF}_2} \cdot \frac{40,08 \cdot 10^3 \text{ mg Ca}}{\text{mol Ca}} = 2,6 \text{ mg Ca}$$

El càlcul de contingut en calci (392,7 mg Ca), suma dels tres valors anteriors, coincideix amb l'indicat pel fabricant. El  $\text{CaF}_2$  coincideix també amb la quantitat de fluor indicada:

$$\frac{0,005 \text{ g CaF}_2}{78,1 \text{ g/mol CaF}_2} \cdot \frac{2 \text{ mol F}}{1 \text{ mol CaF}_2} \cdot \frac{19,00 \cdot 10^3 \text{ mg F}}{\text{mol F}} = 2,43 \text{ mg F}$$


material per a l'alumne 

**Problema 5:** Segons el prospecte d'un medicament recomanat per a estats de carència de vitamines i de sals minerals, cada comprimit conté, entre altres substàncies, 90 mg de calci, com a fosfat de calci, i 70 mg de fòsfor, també com a fosfat de calci. A partir d'aquestes dades, comproveu que el «fosfat de calci» que s'indica no respon a la fórmula  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . De vegades, en farmacologia, s'empra el terme *fosfat tricàlcic* per a aquest compost, mentre que es reserva el terme *fosfat càlcic* per a una sal àcida de fosfat. Si fos així, determineu de quina sal es tractaria.

**Resultat del problema 5.** Amb les dades aportades, la relació en mols de Ca:P resulta d'1:1, de manera que no es tracta del  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , sinó de la sal  $\text{Ca}(\text{HPO}_4)$ .

**Resultat del problema 6.** El lactatgluconat de calci (terme usat en farmacologia) presenta una estequiometria de tres mols de lactat de calci per cada dos mols de gluconat de calci monohidrat. La fórmula molecular del lactat de calci és  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{-CHOH-COO})_2$  i la del gluconat de calci monohidrat és  $\text{Ca}(\text{HOCH}_2\text{-(CHOH)}_4\text{-COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; per tant, la fórmula del lactatgluconat de calci és  $\text{C}_{42}\text{H}_{74}\text{O}_{46}\text{Ca}_5 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  (massa molar = 1.551,49 g/mol). Així, 2,94 g d'aquest compost contenen:

$$\frac{2,94 \text{ g lactatgluconat de calci}}{1551,49 \text{ g/mol lactatgluconat de calci}} \cdot \frac{5 \text{ mol Ca}}{\text{mol}} \cdot \frac{40,08 \text{ g}}{\text{mol Ca}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} = 3808 \text{ mg Ca}$$

material per a l'alumne 

**Problema 6:** La composició de cada comprimit d'un medicament indicat per al tractament de l'osteoporosi mostra que, entre altres components, conté 2,94 g de lactatgluconat de calci i 0,30 g de carbonat de calci, que equivalen a 380 mg de calci element. Es demana la verificació d'aquesta equivalència.

Tenint en compte que 0,30 g de  $\text{CaCO}_3$  equivalen a 120 mg de Ca, s'obté que l'equivalència en calci total per cada comprimit és de 500 mg, com el valor indicat.

Amb els compostos de calci estudiats, es pot demanar als alumnes que discuteixin, a més, sobre qüestions com ara la formulació, les sals orgàniques, la hidratació de sals, les funcions fisiològiques dels elements, els principis actius i excipients de medicaments, la isomeria i la ressonància, entre d'altres (Pinto, 2008).

**Compostos de fluor per a la cura de les dents**

**Resultat del problema 7.** Els alumnes solen estar familiaritzats amb la fórmula NaF del fluorur de sodi. La fórmula del monofluorofosfat de sodi poden trobar-la en llibres o a Internet. Per al dentífric A, pres com a exemple, els càlculs estequiomètrics són els següents:

material per a l'alumne 

**Problema 7:** La informació donada en envasos de dentífrics (o als webs dels seus fabricants) indica que una certa quantitat de diferents compostos és equivalent a una certa quantitat de fluor, tal com s'indica en els exemples següents:

1) Dentífric A: 0,325 % de fluorur de sodi (1.477 ppm de F).

$$\frac{0,325 \text{ g NaF}}{100 \text{ g dentífric} \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}}} \cdot \frac{1 \text{ mol NaF}}{41,99 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ mol F}}{1 \text{ mol NaF}} \cdot \frac{19,00 \text{ g}}{\text{mol F}} \cdot \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} = 1471 \text{ mg F/kg dentífric}$$

Les equivalències de fluor element per als dentífrics B, C i D es calculen de manera anàloga i s'obtenen els valors següents: B (1.447 ppm de F), C (801 ppm de F) i D (249 ppm de F).

L'estequiometria dels dentífrics E, G i H requereix el fet de conèixer la massa molar del monofluorofosfat de sodi,  $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ , que és 143,95 g/mol. Per als dentífrics I i J s'han de considerar les dues masses molars.



- 2) Dentífric B: 0,32 % de fluorur de sodi (1.450 ppm de F).
- 3) Dentífric C: 0,177 % de fluorur de sodi (805 ppm de F).
- 4) Dentífric D: 0,055 % de fluorur de sodi (250 ppm de F).
- 5) Dentífric E: 1,9231 % de monofluorofosfat de sodi (2.500 ppm de F).
- 6) Dentífric G: 1,9 % de monofluorofosfat de sodi (2.500 ppm de F).
- 7) Dentífric H: 1,89 % de monofluorofosfat de sodi (2.500 ppm de F).
- 8) Dentífric I: 1,0230 % de monofluorofosfat de sodi i 0,0335 % de fluorur de sodi (1.500 ppm de F).
- 9) Dentífric J: 0,190 % de monofluorofosfat de sodi i 0,055 % de fluorur de sodi (500 ppm de F).

Verifiqueu les esmentades equivalències. A més, la informació subministrada pels fabricants de tres dentífrics (E, G i H) indica que tenen la mateixa equivalència en element fluor (2.500 ppm), amb una quantitat aparentment diferent de monofluorofosfat de sodi; expliqueu aquestes equivalències considerant les xifres significatives.

### material per a l'alumne



**Problema 8:** El principal inconvenient per a l'ús d'àcid fluorosilícic,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , per a la fluoració de l'aigua és que es tracta d'una font comparativament diluïda. Calculeu quant fluor en percentatge en massa conté una dissolució comercial típica d'àcid fluorosilícic (15 % de massa) i compareu-la amb el contingut en fluor del fluorur de sodi i del fluorosilicat de sodi, compostos també emprats en la fluoració de l'aigua.

### material per a l'alumne



**Problema 9:** En una bossa de fertilitzant figuren les dades següents: Sodium Tetraborate Pentahydrate,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , CAS No. 12179-04-3, EC No. 215-540-4, · EC Fertilizer, · 15.2% boron (B) soluble in water · Sodium borate for fertilizer applications, · Only to be used where there is a recognized need · Do not exceed a maximum dose rate of 4 kg boron (26 kg Fertilizer) per hectare per year. D'acord amb consideracions estequiomètriques, determineu, usant dos decimals per als pesos atòmics, si l'equivalència indicada per al bor és correcta.

Un aspecte important és que, d'acord amb el nombre de xifres significatives donades pel fabricant per al percentatge de cada compost de fluor, només els dentífrics E i I ofereixen dades adequades de contingut en fluor. En la resta dels casos, només es podrien expressar els resultats amb dues o tres xifres significatives. Considerant les xifres significatives donades pels fabricants, les equivalències de fluor element són les següents: E (2.538,3 ppm de F), G ( $2,5 \cdot 10^3$  ppm de F) i H ( $2,50 \cdot 10^3$  ppm de F). És un exemple de la importància de les xifres significatives en els càlculs químics.

Les equivalències en fluor element dels dentífrics I i J són 1.492 ppm de F i 500 ppm de F, respectivament. En tots els casos, tal com és previsible, els valors calculats són propers als indicats pel fabricant i les diferències només es troben entre un -0,5 % i un 1,5 %.

**Resultat del problema 8.** Com que les masses molars de  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , NaF i  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  són 144,11 g/mol, 41,99 g/mol i 188,07 g/mol, respectivament, la dissolució d'àcid conté un 11,9 % de F en massa, mentre que el fluorur de sodi conté un 45,2 % i el fluorosilicat de sodi conté un 60,6 %. Aquesta és una de les raons per les quals els costos de transport, en llargues distàncies, de productes químics sòlids són més convenients que en dissolució. En aquest sentit, encara que el  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  és la font més econòmica per a la fluoració de l'aigua, el seu desavantatge és que el fluor està molt diluït. Aquesta és una oportunitat per discutir amb els alumnes sobre la importància de la qüestió econòmica i d'altres qüestions en la selecció d'un producte químic per a una funció específica (Pinto, 2009), així com les controvèrsies existents en la fluoració de l'aigua potable.

### Fertilitzants

Com a introducció al problema, es pot informar als alumnes sobre la importància dels fertilitzants.

**Resposta al problema 9.** La massa molar del tetraborat de sodi pentahidratat és 291,32 g/mol. L'equivalent estequiomètric de bor s'obté de l'expressió següent:

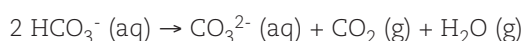
$$\frac{100 \text{ g Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}}{291,32 \text{ g mol}^{-1} \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}} \cdot \frac{4 \text{ mol B}}{1 \text{ mol Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}} \cdot \frac{10,81 \text{ g}}{\text{mol B}} = 14,84 \text{ g B}$$

El percentatge obtingut (14,84 %) és lleugerament inferior a l'indicat en la informació. Si es repeteix el càlcul considerant les masses molars arrodonides a un decimal, s'obté un valor de 15,1 %. A més, si es considera l'altra relació indicada (4 kg de B per 26 kg de fertilitzant), el percentatge de bor és més gran (15,4 %). Aquests resultats poden ser d'utilitat per discutir amb els alumnes sobre l'arrodoniment de les quantitats en càlculs químics.

### Aigües minerals

**Resultat del problema 10.** El residu sec és el que queda quan un litre d'aigua s'evapora a 180° C. La composició típica d'una aigua mineral es mostra a la taula 1.

Tot considerant els pesos atòmics, s'obté la composició en mmol/L que es mostra a la darrera columna de la taula 1. Una aparent paradoxa que apareix és que la massa total de components en dissolució (en aquest cas, 323,3 mg/L) no coincideix amb la massa del residu sec (en el cas seleccionat, 229 mg/L). Cal tenir en compte que, quan l'aigua s'escalfa a 180° C (per mesurar el residu sec), es produeix el procés següent:



## material per a l'alumne



**Problema 10:** Tot observant la informació subministrada a l'etiqueta d'una ampolla (o a Internet) sobre la composició química d'una aigua mineral i d'acord amb consideracions estequiomètriques, determineu si el valor de residu sec (o sòlids totals dissolts) està d'acord amb la composició química indicada. A més, calculeu la quantitat total de càrregues positives i negatives, tot discutint el resultat. Cal considerar que el bicarbonat de sodi es descompon en diòxid de carboni i en anió carbonat a una temperatura elevada.

**Taula 1. Composició química de l'aigua mineral Valtorre (Belvis de la Jara, Toledo), presa com a exemple**

Components	Fórmula	Contingut (mg/L)*	Contingut (mmol/L)
Bicarbonat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	180,1	2,952
Clorur	Cl <sup>-</sup>	33,1	0,934
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,4	0,192
Calci	Ca <sup>2+</sup>	21,4	0,534
Magnesi	Mg <sup>2+</sup>	21,6	0,889
Sodi	Na <sup>+</sup>	34,6	1,505
Sílce	SiO <sub>2</sub>	14,0	—
Residu sec a 180° C	—	229	—

\* Dades subministrades pel fabricant a l'etiqueta de cada ampolla.

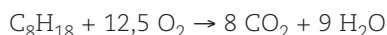
Aquesta reacció suposa una pèrdua de CO<sub>2</sub> (g) i de H<sub>2</sub>O (g) de 91,5 mg/L. D'aquesta manera, la massa del residu sec hauria de ser la suma d'ions i de la sílce menys els 91,5 mg/L deguts a la descomposició de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; és a dir, 231,7 mg/L. Aquest valor és molt més ajustat a l'indicat pel fabricant (229 mg/L). D'altra banda, la quantitat total de càrregues negatives resulta 4,29 mmol/L i la quantitat total de càrregues positives és 4,35 mmol/L. La dissolució ha de ser elèctricament neutra, però el càlcul dóna un lleuger excés (1,4 %) de càrregues positives, a causa probablement de l'existència d'altres components minoritaris i de la incertesa de les mesures analítiques.

Aquest exemple (Pinto i Oliver-Hoyo, 2008) pot servir per introduir aspectes com la duresa i el tractament d'aigües, la caracterització de la composició de les begudes, l'anàlisi química i l'arrodoniment de xifres en els càlculs, entre d'altres. L'activitat es pot completar mesurant al laboratori algunes de les concentracions d'ions o el residu sec per comparar-los amb els valors aportats pel fabricant (Paraira, 2009).

### Emissions de diòxid de carboni

A la Unió Europea hi ha l'objectiu de reduir les emissions de CO<sub>2</sub> dels automòbils. A banda d'altres mesures, es preveuen diferents sistemes d'informació al consumidor, entre els quals destaca la consideració que qualsevol material de promoció dels vehicles ha d'incloure les xifres del consum de combustible. Per aquesta raó, als anuncis a la premsa dels diversos models d'automòbils, s'hi inclou el seu consum de benzina (en L/100 km) i l'emissió de CO<sub>2</sub> (en g/km). Aquest és un tema que, a priori, és motivant per a un bon nombre d'alumnes perquè els atrau el «món del motor» o perquè els interessen (almenys com a curiositat) els temes ambientals (com ara l'efecte hivernacle).

**Resultat del problema 11.** A partir de les dades que es van obtenir en anuncis publicats en diaris espanyols, s'ha elaborat la representació de l'emissió de CO<sub>2</sub> en funció del consum de gasolina (fig. 3). Tal com es pot apreciar, les dades segueixen una variació lineal. Considerant, d'una manera aproximada, que la benzina està formada essencialment per octans, la reacció principal del motor és la següent:



Considerant, a més, que la benzina té una densitat aproximada de 0,73 kg/L, l'emissió de CO<sub>2</sub>

## material per a l'alumne



**Problema 11:** A partir de les dades de consum de benzina i d'emissió de CO<sub>2</sub> que es troben en un diari o en una revista per a diversos models d'automòbils, es demana la representació dels valors d'emissió de CO<sub>2</sub> (en g/km) en funció del consum de benzina (en L/100 km) i la interpretació de la gràfica obtinguda per consideracions estequiomètriques. Un problema anàleg es pot plantejar per a automòbils amb motor dièsel.

## material per a l'alumne



**Problema 12:** És freqüent el fet de trobar panells informatius en algunes instal·lacions públiques en els quals s'empra energia solar i que informen sobre l'energia solar generada, en kWh, i sobre les emissions de diòxid de carboni que s'han evitat (en kg CO<sub>2</sub>). Com a exemple, a la figura 4 es mostra un panell amb aquestes dades. Considerant que l'eficiència energètica d'una central tèrmica és de l'ordre d'un 30 a un 40 %, expliqueu la relació entre l'energia solar obtinguda (en kWh) i les emissions de CO<sub>2</sub> evitades (en kg CO<sub>2</sub>) per a les dades indicades.

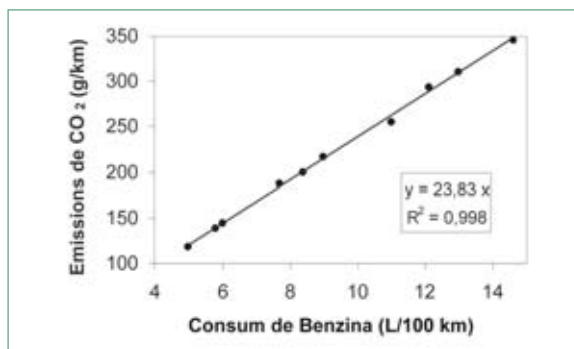


Figura 3. Emissió de CO<sub>2</sub> en funció del consum de combustible de diversos automòbils.

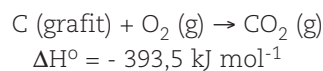
$$\begin{aligned} \text{Emissió CO}_2 &= 0,73 \frac{\text{kg}}{\text{L octà}} \cdot \frac{1 \text{ kmol octà}}{114,0 \text{ kg}} \cdot \\ &\cdot \frac{8 \text{ kmol CO}_2}{\text{kmol octà}} \cdot \frac{44,0 \text{ kg}}{\text{kmol CO}_2} \cdot 10^3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kg}} = \\ &= 2,25 \cdot 10^3 \text{ g CO}_2 / \text{L octà} \end{aligned}$$

Aquest valor coincideix acceptablement amb el valor experimental del pendent de la recta de regressió. Per a automòbils amb motor dièsel, s'obté un pendent més gran de la recta corresponent. La densitat del gasoil és de l'ordre de 0,85-0,95 kg/L i la massa molecular relativa del dodecà, que d'una manera molt simplificada es pot prendre com la composició típica del gasoil, seria la corresponent a la fórmula molecular C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>.

Aquest problema pot servir per introduir qüestions com ara l'efecte hivernacle, el Protocol de Kyoto, el canvi climàtic, el desenvolupament de motors híbrids (impulsats per benzina i electricitat) i les representacions gràfiques de dades, entre d'altres (Oliver-Hoyo i Pinto, 2008).

**Resultat del problema 12.** En una central tèrmica de carbó, l'energia s'obté de la combustió d'aquesta substància. Aquesta energia s'utilitza per fer bullir aigua, que genera vapor a pressió, que produeix, a la turbina, l'energia mecànica que mou l'alternador, tot produint energia elèctrica. El producte de la combustió és CO<sub>2</sub>.

La calor de combustió del grafit és la següent:



Tenint en compte que l'eficiència energètica del procés és d'entre un 30 i un 40 %, és a dir, que només entre un 30 i un 40 % de l'energia de la combustió del carbó es converteix en electricitat, l'energia subministrada hauria de ser d'entre 118 i 157 kJ/mol CO<sub>2</sub>. D'altra banda, l'equivalència entre l'energia solar total subministrada (en kWh) i les emissions evitades (en kg CO<sub>2</sub>), tot considerant les dades de la figura 4, és la següent:

$$\begin{aligned} &\frac{37461 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s}}{44953 \text{ kg CO}_2 / 0,044 \text{ kg/mol CO}_2} = \\ &= 132,0 \text{ kJ/mol CO}_2 \end{aligned}$$

Aquest valor es troba dins l'interval d'equivalència calculat. A banda de carbó, a les centrals tèrmiques s'utilitzen altres combustibles, de manera que es podrien plantejar altres càlculs anàlegs. D'aquesta manera, s'afavoreix la discussió d'aspectes com ara l'escalfament global, les equivalències d'energia, l'energia de combustió, les fonts d'energia, etc.



Figura 4. Panell amb les dades d'estalvi en emissió de diòxid de carboni per l'ús d'energia solar a l'aeroport de Rabat (març de 2008).

## Conclusions

Els casos discutits constitueixen exemples que els autors han desenvolupat i que utilitzen en la seva pràctica docent per tal d'afavorir la motivació dels alumnes envers l'aprenentatge de càlculs estequiomètrics i altres qüestions. També s'han utilitzat per tal de promoure l'aprenentatge cooperatiu i per introduir altres qüestions addicionals d'interès, tant en la química com en altres disciplines i en entorns d'aprenentatge ciència-tecnologia-societat-medi ambient. Altres autors (Orozco et al., 2008) han desenvolupat plantejaments anàlegs, tot modificant enunciats de problemes clàssics per introduir, ressaltar o comentar aspectes mediambientals.

Tant la percepció de la pràctica docent com la valoració dels alumnes (Pinto, 2004) mostren que aquestes activitats són útils per a un bon nombre d'ells, tant per a l'assimilació de conceptes com pel seu efecte motivador. Òbviament, tal com sol ser habitual en l'educació, no tots els

**Els casos discutits constitueixen exemples que els autors han desenvolupat i que utilitzen en la seva pràctica docent per tal d'afavorir la motivació dels alumnes**

alumnes es motiven i aprenen amb les mateixes eines, però això no és cap obstacle per considerar que l'esforç emprat en generar i utilitzar problemes d'aquest tipus pagui la pena, ja que promouen un aprenentatge més significatiu de la química.

Els problemes proposats, a més de servir per a l'aprenentatge de l'estequiometria, són d'utilitat per a l'adquisició d'altres competències específiques, com ara l'arrodoniment de quantitats en càlculs químics, la utilització d'unitats adients i la representació gràfica de dades.

Algunes opinions dels alumnes en relació amb l'ús d'eines docents del tipus de les presentades són les següents: «Ens ajuden a comprendre millor el món que ens envolta», «Amb el que m'avorreix la química, qualsevol eina que la faci més amena val la pena», «La meua professora de batxillerat deia que la química ho és tot i així es pot apreciar», etc. També, per al professorat, la recerca de nous problemes que puguin resultar d'interès per als seus alumnes implica un repte que fomenta la seva pròpia motivació com a docent.

### Agraïment

S'agraeix a la Universitat Politècnica de Madrid el finançament d'aquest treball a través del projecte d'innovació educativa IE08053505.

### Referències bibliogràfiques

- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. (2004). *Química, la ciencia central*. 9a ed. Mèxic: Pearson.
- JENSEN, W. B. (2003). «The origin of stoichiometry problems». *Journal of Chemical Education*, núm. 80, p. 1248.
- MANS, C. (2008). «Química quotidiana». *Educació Química*, núm. 1, p. 4-9.
- MOLINA ORTIZ, J. A.; GARCÍA GONZÁLEZ, A.; PEDRAZ MARCOS, A.; ANTÓN MORALES BUENO, P.; LANDA FITZGERALD, V. (2004). «Aprendizaje basado en problemas». *Teoría*, núm. 13, p. 145-157. També disponible al web: <[http://www.usal.es/~ofeees/NUEVAS\\_METODOLOGIAS/ABP/13.pdf](http://www.usal.es/~ofeees/NUEVAS_METODOLOGIAS/ABP/13.pdf)>.
- NARDIZ, M. V. (2003). «Aprendizaje basado en problemas: Una alternativa al método tradicional». *Revista de la Red Estatal de Docencia Universitaria*, núm. 3 (2): p. 79-85.
- OLIVER-HOYO, M. T.; ALLEN, D. D.; ANDERSON, M. (2004). «Inquiry-guided instruction». *Journal of College Science Teaching*, s. núm. (maig-juny), p. 20-24.
- OLIVER-HOYO, M. T.; PINTO, G. (2008). «Using the relationship between vehicle fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions to illustrate chemical principles». *Journal of Chemical Education*, núm. 85: p. 218-220.
- OROZCO, C.; PÉREZ, A.; GONZÁLEZ, M. N. (2008). «Una propuesta de actuación para la enseñanza de una química sostenible». *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, núm. 104 (1), p. 38-41.
- PICKET, J. P. [ed.] (2000). *The American heritage dictionary of the English language*. 4a ed. Boston: Houghton Mifflin.
- PINTO, G. (2004). «Ejemplos de la vida cotidiana para el aprendizaje de la química: Valoración por alumnos universitarios». *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, núm. 100 (2), p. 37-43.
- (2005). «Stoichiometry of calcium medicines». *Journal of Chemical Education*, núm. 82, p. 1509-1512.
- (2009). «Fluorine compounds and dental health: Applications of general chemistry topics». *Journal of Chemical Education*, 86: 185-187.
- PINTO, G.; GAUTHIER, C. V.; WEAVER, G.; KELTER, P. B. (2008). «Some considerations regarding the active learning of chemistry». *The Chemical Educator*, núm. 13, p. 186-189.
- PINTO, G.; OLIVER-HOYO, M. T. (2008). «What is in your bottled water? Look at the label!». *The Chemical Educator*, núm. 16, p. 341-343.
- RAM, P. (1999). «Problem-based learning in undergraduate education». *Journal of Chemical Education*, núm. 76, p. 1122-1126.
- A la pàgina web titulada *Didáctica de la química y vida cotidiana*, <<http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>>, es recullen més àmpliament alguns dels exemples citats i d'altres.



**Gabriel Pinto** és professor titular d'enginyeria química a la Universitat Politècnica de Madrid. Ha investigat sobre materials polimèrics i sobre didàctica de la química i de l'enginyeria. És autor d'un centenar d'articles i de diversos llibres, com ara *Química al alcance de todos* i *Didáctica de la química y vida cotidiana*. Ha impartit conferències i ponències en diversos països sobre noves metodologies docents per a l'aprenentatge de la química.  
A. e. gabriel.pinto@upm.es.  
<<http://www.etsii.upm.es/diqui-ma/pinto/presenta.htm>>.



**Salvador León** és professor titular d'enginyeria química a la Universitat Politècnica de Madrid. La seva investigació ha estat orientada envers la simulació molecular i multiescala de materials polimèrics i de nous materials amb aplicacions en el camp de la nanotecnologia. Ha realitzat estades de postdoctorat a Itàlia i a Alemanya. És autor d'una trentena d'articles.  
A. e. salvador.leon@upm.es.  
<<http://www.etsii.upm.es/diqui-ma/>>.