

Química dels gasos a petita escala. «Química talla S»

Chemistry of gases on a small scale. «Size S chemistry»

Josep Corominas Viñas / Escola Pia de Sitges



resum

Per a un desenvolupament correcte dels programes de química per als ensenyaments secundaris, cal realitzar una sèrie d'activitats pràctiques entre les quals hi ha les reaccions d'obtenció de gasos i l'estudi de les propietats dels gasos. La necessitat de compaginar les pràctiques amb la reducció dels residus i la màxima seguretat ha donat origen a una química a microescala. En aquest article s'explica com es poden realitzar moltes activitats pràctiques en les quals es manipulen gasos amb total seguretat i amb un material molt senzill i fàcilment assequible, com ara xeringues i claus de tres vies.

paraules clau

Química a microescala, treballs pràctics, gasos, educació secundària.

abstract

For the correct development of chemistry programmes in secondary school, a series of practical activities in which are the reactions to obtain gases and the study its properties is required. The need to combine practices with reduced waste and maximum security has created a micro-scale chemistry. This article explains how to make many practical activities where gases are handled safely using very simple material and readily available, such as syringes and 3-ways stop cocks.

keywords

Micro-scale chemistry, practical work, gases, secondary education.

La química a microescala i a mil·liescala

Tots els que podem fer activitats pràctiques de laboratori amb alumnes ens trobem amb la necessitat de reduir residus, minimitzar riscos en la manipulació de productes i emprar material còmode de manipular. Des de fa anys, els experts han proposat la química a microescala (Alyea, 1967; Wood, 1990) per a les pràctiques als laboratoris de secundària (Climent, 2009; Müller-Carrera *et al.*, 2010).

El terme *microescala* és adient per a aquelles reaccions en les quals els reactius són líquids i es

manipulen amb comptagotes; efectivament, si suposem que el volum d'unes trenta gotes equival a 1 cm^3 i que agafem solucions de concentració de $0,1 \text{ mols} \times \text{dm}^{-3}$, una gota conté de l'ordre de $3,3 \times 10^{-6}$ mols de solut, és a dir, ens trobem en l'escala de les «microquantitats». En el cas dels gasos, però, seria millor utilitzar el terme *mil·liquantitats*. Suposant sempre que el gas queda dins d'una xeringa d'una capacitat efectiva màxima de 40 cm^3 i que està en condicions estàndard (1 bar i 298 K), el nombre de mols de gas és de l'ordre d' $1,7 \times 10^{-3}$, que correspon a una «mil·liescala».

Aquest terme no és gaire utilitzat, per la qual cosa en aquest article s'ha utilitzat *petita escala* o, tal com diu el títol, *química talla S*, per allò de la roba de talla S (*small*).

Xeringues i claus de tres vies al laboratori de química de secundària

En determinades pràctiques, cal estudiar reaccions de formació de gasos o reaccions en les quals intervenen els gasos com a reactius. En aquests casos, s'ha proposat la utilització de xeringues per recollir els gasos formats (Mattson, 2001). En aquest article s'explica com es poden aprofitar les xeringues i les



Figura 1. El material bàsic: xeringues i una clau de tres vies.



Figura 2. Clau de tres vies. A dalt a la dreta, la clau connecta les dues xeringues; a baix a la dreta, la clau tanca el pas de les dues xeringues alhora.

claus de tres vies (fig. 1) per disposar d'un sistema tancat i segur.

Aquest material és d'ús habitual en hospitals i clíniques i es pot trobar fàcilment en cases de subministrament de material sanitari. Les xeringues grans tenen un volum de 50 mL o 60 mL i les petites, de 10 mL. Totes s'han de poder enroscar a una clau de tres vies (fig. 2).

Tant les xeringues com les claus de tres vies estan dissenyades per a un sol ús. El fet que al laboratori de química les fem servir múltiples vegades obliga a tenir presents unes normes bàsiques d'ús cada vegada que les reutilitzem. Aquestes normes bàsiques són les següents:

- Un cop s'han fet servir les xeringues, cal desmuntar l'èmbol, rentar-lo amb aigua i eixugar-lo per dins i per fora. Cal fer el mateix amb les claus. Les xeringues es guarden amb l'èmbol estirat fins a la part superior; mai no s'han de guardar amb l'èmbol enfonsat, ja que, en assecar-se la goma, s'impossibilitaria el seu moviment.

- Abans de reutilitzar-les, és necessari lubricar-les prèviament. Tan sols cal disposar d'una mica de vaselina o d'oli de silicona i dipositar-ne una petita quantitat a l'extrem superior del cilindre o de l'èmbol de la xeringa.

Aquest material serveix per portar a terme reaccions químiques en les quals els reactius són dos líquids o dues solucions aquoses, un sòlid i un líquid, un gas i un líquid o dos gasos. En cada reacció, primer s'han de col·locar els reactius per separat en cadascuna de les xeringues. Quan interessa iniciar la reacció, es fa passar un dels reactius cap a la xeringa on hi ha l'altre reactiu. Cal procedir lentament, de forma contínua o per etapes, per tal de controlar sempre la reacció i els productes formats.

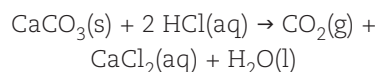
El muntatge és molt convenient per a reaccions en les quals es genera un gas. En tots els casos, però, cal haver fet un càlcul previ de les quantitats de reactius necessàries, de manera que el volum de gas obtingut no sigui superior a la capacitat de la xeringa. Com que el sistema roman tancat sempre, la massa total és invariable, la qual cosa es

pot comprovar en qualsevol moment del procés col·locant el muntatge en una balança.

Algunes experiències químiques amb gasos emprant xeringues i claus de tres vies

Obtenció del diòxid de carboni

Per obtenir $\text{CO}_2(\text{g})$ al laboratori, es fa reaccionar habitualment un carbonat o un hidrogenocarbonat amb un àcid. L'equació de la reacció és la següent:



Es necessiten dues xeringues grans unides per una clau de tres vies (fig. 3). En una d'elles es posa un trosset petit de carbonat de calci, que pot ser marbre o una petxina. Un senzill càlcul estequiomètric de la reacció, suposant que té un rendiment del cent per cent, indica que 0,17 g de CaCO_3 generen uns 40 mL de CO_2 en condicions estàndard.

A l'esquema de la fig. 3 s'indica que cal mantenir la xeringa amb l'àcid en posició horitzontal per tal que, en injectar l'àcid, aquest entri dins de la xeringa on hi ha el carbonat de calci a poc a poc, de manera que es controli l'addició de líquid i es pugui

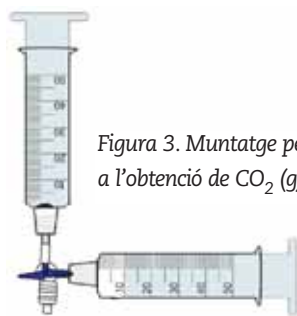
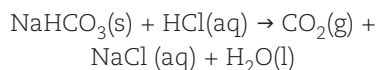


Figura 3. Muntatge per a l'obtenció de $\text{CO}_2(\text{g})$.

observar el desplaçament de l'èmbol per la formació de gas.

A les tres imatges de la fig. 4 es poden veure les etapes del procés. A la primera imatge, s'està omplint una xeringa amb la solució d'àcid clorhídric; a la segona, les dues xeringues ja estan connectades, i a la tercera, s'ha injectat l'àcid a la xeringa que contenia el carbonat de calci i s'està omplint de CO_2 . Si ens interessa tenir a la xeringa únicament el gas obtingut, n'hi ha prou a estirar l'èmbol de la xeringa on hi havia l'àcid i reabsorbir la solució aquosa de clorur de calci formada.

També es poden fer servir com a reactius el vinagre i l'hidrogen-carbonat de sodi (bicarbonat). L'equació de la reacció és la següent:



Si es fa servir vinagre comercial del 6 %, el líquid té una concentració en àcid acètic d'1 mol \times dm⁻³. Per obtenir uns 40 mL de CO_2 , es poden fer servir uns 15 mL de vinagre del 6 %.

Quan un dels reactius està en pols, com és el cas del NaHCO_3 , cal procurar, quan es posa dins de la xeringa, que no obturi el pas de líquid. En aquest cas, convé que la xeringa amb la pols sòlida es mantingui en posició horitzontal.

Mesura de la densitat del CO_2

La mesura de la densitat d'un gas és una activitat força interessant de plantejar als estudiants, si se'ls demana que suggereixin un mètode per fer-ho. Moltes respostes proposen tancar el gas en un globus, de manera que es pot saber el volum que ocupa, i pesar-lo a continuació. Evidentment, es pot saber el volum que ocupa el gas, però cometem un error important pel que fa a la manera de saber-ne la massa: la balança marcarà la resultant de



Figura 4. Detalls del procediment per a l'obtenció de CO_2 per reacció d'un carbonat amb un àcid.

les dues forces de sentit contrari que actuen sobre el globus, el seu pes i la força d'empenta d'Arquímedes. Per mostrar la importància d'aquest error, tan sols cal pesar un globus buit en una balança electrònica, inflar-lo d'aire, lligar-lo i tornar-lo a pesar, ja que la balança marcarà pràcticament el mateix valor, en coincidir el pes del gas introduït amb la força d'empenta, que és exactament igual al pes de l'aire de dins del globus.

La solució és senzilla: cal pesar una xeringa buida i, després, plena amb CO_2 ; la diferència és la massa de gas. Per saber-ne el volum, només cal llegir el volum que ocupa a l'escala graduada de la xeringa.

Caràcter àcid de les solucions aquoses de CO_2

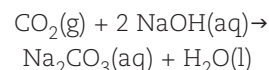
Es prepara un vas de precipitats amb una mica d'aigua destil·lada. Es fa bombollejar el gas a través de l'aigua i es mesura el pH resultant amb una tira de paper indicador.

Una alternativa al procediment descrit és preparar un vas de precipitats amb aigua i un indicador que canviï de color en passar d'un pH 8 a un pH 5, aproximadament, com ara la fenolftaleïna o el blau de bromotímol. Cal injectar el contingut de la xeringa amb CO_2 i observar com s'esdevé un canvi en el color de l'indicador: la solució es torna àcida.

Eliminació del CO_2 per reacció amb una solució d'hidròxid de sodi

L'augment del percentatge de diòxid de carboni a l'atmosfera és una de les causes de l'increment de les temperatures mitjanes del planeta. Coneixent les característiques àcides de les solucions aquoses de diòxid de carboni, es planteja als estudiants de química quin reactiu seria convenient per eliminar el gas que, per exemple, llença a l'atmosfera una central tèrmica que crema combustibles fòssils. La resposta és que es podria utilitzar una solució bàsica, com la d'hidròxid de sodi.

Per fer l'experiment, s'utilitza una xeringa amb CO_2 i una altra amb solució d'hidròxid de sodi de concentració 2 mol \times dm⁻³. L'equació de la reacció és la següent:



La fig. 5 mostra el procediment. A la primera foto, es poden observar les dues xeringues, una d'elles amb el gas carbònic i l'altra amb 10 mL de la solució bàsica. A la segona foto, un cop s'ha fet passar el gas a la solució bàsica, s'aprecia que només queda un líquid i que tot el gas ha desaparegut.

El procediment pot servir per fer un treball de recerca sobre quins podrien ser els absorbents més idonis del diòxid de carboni en diverses circumstàncies (Ticich, 2011). Algunes qüestions que es podrien plantejar serien les següents:

- Per què l'aire de l'interior de l'estació espacial internacional es fa passar a través d'hidròxid de liti?
- Seria igual d'eficaç l'hidròxid de calci?
- Com se'n poden fer mesures quantitatives?

Altres possibles experiències de química a petita escala amb xeringues

El sistema de connexió de dues xeringues per obtenció de gasos permet realitzar moltes altres experiències, com ara les següents:

1. Generar petits volums d'oxigen, hidrogen, òxids de nitrogen, amoníac, acetilè, etc.

2. Determinar la massa molar d'un gas basant-se en la hipòtesi d'Avogadro, és a dir, per comparació de la massa del gas desconegut amb la massa d'un mateix volum d'aire sota les mateixes condicions de pressió i de temperatura (Camaño i Corominas, 2002).

3. Fer el seguiment d'un canvi químic en el qual s'obté un gas per evolució de la pressió del sistema connectant un sensor de pressió a una xeringa (Corominas, 2010). La fig. 6 mostra el muntatge per investigar la velocitat de dissolució del CO_2 en aigua. Immediatament després d'injectar l'aigua dins de la xeringa amb el gas, cal activar el sensor de pressió. La gràfica obtinguda amb el sistema de captació de dades es mostra a la fig. 7.

4. Il·lustrar el significat del concepte *reactiu limitant*. Aquesta activitat pràctica es pot utilitzar en el curs de Física i química de

4t d'ESO, quan es treballa el concepte *reactiu limitant*. El procediment consisteix a connectar una xeringa amb un volum de 10 mL de solució $\text{HCl}(\text{aq})$ a una xeringa amb un petit tros de cinta de magnesi (la cinta de magnesi PAN-REAC® té una densitat lineal d'1,42 g/m, la qual cosa permet calcular quina longitud cal per obtenir un màxim d'uns 40 mL de gas H_2). S'injecta la solució àcida en volums d'1 mL cada vegada, tot esperant després de cada addició que l'èmbol de la xeringa gran es deixi de moure. Es recullen les dades del volum de gas en funció del volum de solució àcida afegit i es representen gràficament. S'observa que, a partir d'un determinat volum afegit de solució àcida, ja no es genera més gas. A la fig. 8 es poden veure dues de les gràfiques obtingudes pels estudiants. A l'annex s'inclou una part del guió de l'activitat de 4t d'ESO.



Figura 5.
a) Els reactius, $\text{NaOH}(\text{aq})$ i CO_2 ;
b) els productes, $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ i aigua.



Figura 6. Muntatge per investigar la velocitat de dissolució del CO_2 en aigua.

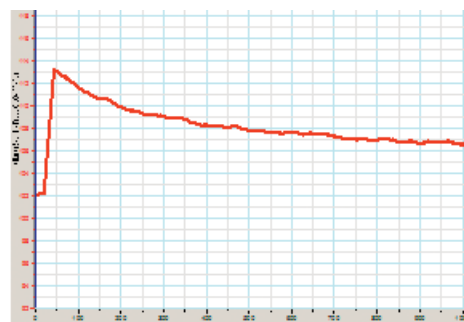


Figura 7. Variació de la solubilitat del CO_2 en aigua. La pressió disminueix en 6,7 kPa en uns 16 min.

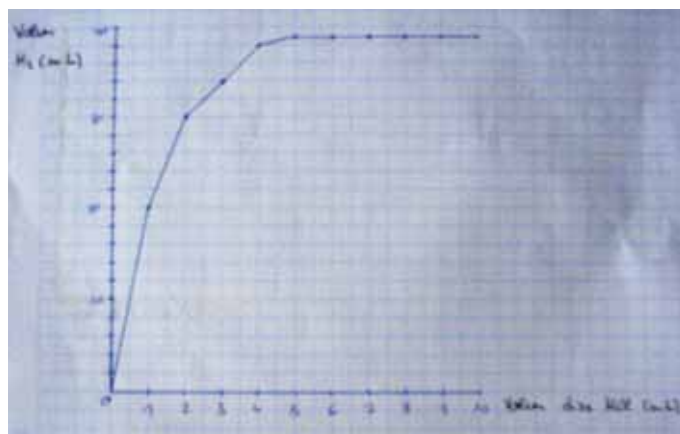
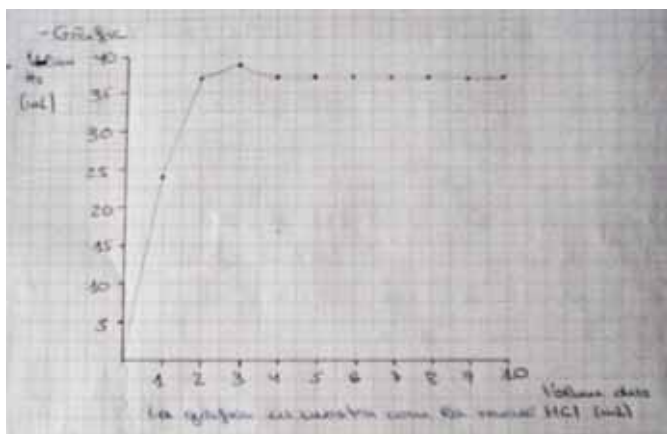


Figura 8. Dues de les gràfiques obtingudes amb 3 cm de cinta de Mg i $\text{HCl}(\text{aq}, 2,0 \text{ mol dm}^{-3})$.

Experiències amb gasos tòxics

L'experiència del treball pràctic a miniescala amb gasos ha donat resultats positius, però en alguns casos ha calgut fer canvis en el muntatge. Per exemple, en l'obtenció de gasos que presenten algun perill per la seva toxicitat, com ara els òxids de nitrogen o el diòxid de sofre.

El fet d'obtenir els òxids de nitrogen (una mescla en equilibri de N_2O_4 i de NO_2) o el diòxid de sofre és interessant. En el primer cas, perquè permet estudiar alguns dels factors que controlen un equilibri químic; en el segon cas, per observar les propietats àcides de l'òxid de sofre i per fer simulacions de pluja àcida.

Tanmateix, no és convenient tenir al laboratori diferents grups d'alumnes que estiguin fent una mateixa reacció d'obtenció de gasos sense tenir una campana extractora potent per a cada grup. La solució que s'ha trobat consisteix a fer la reacció dins d'un recipient més gran amb una clau de tres vies (fig. 9). Com a recipient, es pot utilitzar un pot de polimetil metacrilat, dels que s'usen per guardar aliments a la cuina i que tanca hermèticament, en el qual cal enganxar una clau de tres vies amb adhesiu epòxid (ARALDITÒ) al punt on prèviament s'ha fet un forat amb un punxó calent. El volum d'aquest pot és aproximadament de 500 mL, més que suficient per



Figura 9. Pot de polimetil metacrilat amb una clau de tres vies per connectar-hi una xeringa.



Figura 10. Grups d'alumnes investigant la reacció entre el magnesi i l'àcid clorhídric.

poder extreure diferents volums del gas generat per omplir quatre o cinc xeringues de 50 mL.

Com a conclusió

Els diferents treballs pràctics descrits s'han experimentat en cursos de 4t d'ESO, amb alumnes de la matèria optativa de Física i química, i en cursos de Química del batxillerat. L'experiència ha mostrat que la tasca de planificar i portar a la pràctica reaccions amb gasos se simplifica molt si es prescindeix de matrassos, tubs de

vidre en colze, connexions amb tubs de goma i altres estris que normalment es fan servir quan es volen obtenir gasos. D'altra banda, els estudiants es familiaritzen ràpidament amb els materials a miniescala (fig.10).

Referències bibliogràfiques

- ALYEA, H. N. (1967). «Microchemistry projected (TOPS)». *J. Chem. Educ.*, 44(6): 335-337.
- CAAMAÑO, A.; COROMINAS, J. (2002). «Com es pot determinar la massa molar d'un gas i d'una

ANNEX: Fins a quant hi ha reacció química i per què?

Material

- 2 xeringues graduades: una de 50 mL i una de 10 mL
 - 1 clau de tres vies
 - Vas de precipitats de 50 mL
 - Ulleres de seguretat
 - 10 mL de dissolució d'àcid clorhídric 2 mol/L
 - Cinta de magnesi: 0,042 g
- Precaució: ulleres de seguretat per manipular l'àcid clorhídric

Procediment

1. Tallar una longitud de 3,0 cm de cinta de magnesi (equivalent a una massa de 0,042 g).
2. Observar com funciona la clau de tres vies abans de connectar-la a les xeringues. Cal conèixer bé la posició que ha de tenir la clau per obrir o tancar cada via.
3. Preparar dues xeringues, una amb la mostra de magnesi i l'altra amb 10 mL d'àcid clorhídric 2 M. Acoblar la clau de tres vies a la xeringa de l'àcid per tancar-la.

L'àcid clorhídric s'injectarà de 1 mL en 1 mL, esperant cada vegada que finalitzi la formació de gas. Per això cal una xeringa gran per recollir el gas i llegir el volum generat i una xeringa petita de 10 mL per injectar l'àcid d'1 mL en 1 mL.

Les dades es recullen en una taula de dades i es traça la corba de volum de gas en funció del volum de solució emprada.

Abans de començar, convé pensar en el que podrem observar.

La reacció química és: $\text{Mg(s)} + 2 \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{(g)} + \text{MgCl}_2\text{(aq)}$.

- En quina proporció en mols reaccionen el magnesi i l'àcid clorhídric?
- Per 0,042 g de magnesi, quants mol d'àcid haurien de reaccionar?
- Si la solució àcida té una concentració de 2 mol HCl en 1 L, quin volum en litres i en cm^3 de solució hauria de ser suficient per reaccionar amb tot el magnesi?
- Tenint en compte les dades anteriors, i sabent que a mesura que es produeix la reacció, es va generant gas hidrogen, quin aspecte creus que tindria una gràfica del volum de gas H_2 generat, a mesura que injectem la solució àcida?

Un cop tinguis a punt la teva predicció, has de fer l'experiment:

- Injecta 1 mL d'àcid a la xeringa que conté el magnesi. Espera el temps suficient fins que vegis que ja no es genera més gas. Pren nota del volum de gas format.
- Torna a injectar 1 mL. Espera el temps necessari i pren nota ara del volum de gas.
- Repeteix la mateixa operació fins a haver injectat els 10 mL d'àcid.
- Representa les dades en una gràfica, tal com la que has usat per fer la predicció.

Preguntes

1. Com expliques la forma de la gràfica, és a dir, com expliques que malgrat anar injectant un dels reactius, l'àcid clorhídric, no es forma més gas hidrogen?
2. Compara la gràfica obtinguda amb la de la teva predicció i explica les diferències que poden haver entre el que havies previst i el que s'ha obtingut.
3. Per quin volum de solució àcida pots veure en la gràfica que ja no hi ha reacció? Coincideix amb el càlcul que has fet en la predicció?
4. En química, si un dels reactius sobra, es diu que està en excés. En aquest cas quin seria el reactiu en excés?
5. Quina quantitat en mols d'àcid hi ha en les 10 mL de concentració 2 mol dm^{-3} ? I quina quantitat de magnesi caldria perquè tot l'àcid reaccionés?
6. Si necessitessim un volum d'1 L de gas hidrogen, mesurat de la mateixa manera que en l'experiment, quines quantitats de magnesi i de HCl(aq) es necessitarien?

substància volàtil?». Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. <http://phobos.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/TPQ/07_molar.pdf> [Consulta: juny 2011]

CLIMENT, T. (2009). «Química para un mundo sostenible: ¿Qué hacer desde los laboratorios?». *Educació Química EduQ*, 4: 21-28. <<http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000087/00000044.pdf>> [Consulta: juny 2011]

COROMINAS, J. (2010). «Peròxid d'hidrogen, catalasa i cinètica química». *Ciències*, 15: 8-12.

MATTSON, B. (2001). *Microscale gas chemistry*. Norwalk: Educational Innovations.

MÜLLER-CARRERA, G.; RIVERO-MÜLLER, A. (2010). «Generación e identificación de gases inorgánicos a microescala». *Educació Química EduQ*, 7: 48-51. <<http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000124/00000089.pdf>> [Consulta: juny 2011]

TICICH, T. M. (2011). «Carbon dioxide absorbers: An engaging experiment for the general chemistry laboratory». *J. Chem. Educ.*, 88(2): 189-191.

WOOD, C. G. (1990). «Microchemistry». *J. Chem. Educ.*, 67(7): 596.

Nota: l'Associació de Professors de Física i Química de Catalunya promociona aquest material amb motiu de la celebració de l'Any Internacional de la Química 2011.



Josep Corominas Viñas

és llicenciat en química (Universitat de Barcelona) i professor de Física i química a l'Escola Pia de Sitges. Ha impartit cursos de formació del professorat, ha escrit articles sobre treballs pràctics de química en diverses publicacions i ha col·laborat en llibres de didàctica de la química. Ha guanyat premis a Ciencia en Acció amb demostracions de química. És coordinador del projecte «Química en context» del CESIRE-CDEC. A. e.: jcoromi6@xtec.cat