

Treball de laboratori per tractar en el batxillerat les dificultats conceptualls en la cinètica de les reaccions químiques

Laboratory work for high school students dealing with misconceptions in the kinetics of a chemistry reaction

Ángel Luis Torres Climent / IES Joanot Martorell d'Elx

Vicent F. Soler Selva / IES Sixto Marco d'Elx



resum

L'objectiu de l'article és reflexionar sobre les dificultats que es presenten en interpretar la cinètica química quan ocorre una reacció irreversible. S'estudia la reacció heterogènia entre el magnesi i l'àcid clorhídric en solució aquosa. Es reflexiona sobre la influència de diferents factors en la velocitat de la reacció; a més, s'estudien els ordres de la reacció i la constant cinètica. Es presenta un treball pràctic que es podria vincular a l'ensenyament de la química del batxillerat.

paraules clau

Idees prèvies, cinètica, treball pràctic de laboratori, estequiometria.

abstract

The aim of this article is to reflect on the difficulties in chemical kinetics when an irreversible reaction is ongoing. The heterogeneous reaction between magnesium and hydrochloric acid in an aqueous solution is carried out. The influences of different factors on this reaction speed are analyzed, also we find out the reaction order and the kinetic constant. We present a practical work that could be linked to teaching high school chemistry.

keywords

Misconceptions, kinetics, laboratory practical work, stoichiometry.

Introducció

La metodologia més freqüent per a l'aprenentatge dels càlculs cinètics és la resolució de llapis i paper a l'aula, que, tot i que és necessària i fins i tot imprescindible, creiem que pot ser completada amb una proposta que ajude l'alumne a reflexionar sobre les idees alternatives que té. Hom sap que els càlculs amb les quantitats de les substàncies implicades en un procés químic són ineludibles en el laboratori i la planta química, i el fet de comprendre els aspectes cinètics d'u-

na reacció química és fonamental per determinar la viabilitat d'un procés.

Al nostre parer, calen més publicacions que mostren estratègies a seguir per corregir les idees alternatives que molts alumnes de batxillerat manifesten en tractar la cinètica química, tot i que hi ha nombrosos treballs sobre qüestions relacionades amb l'equilibri i el desplaçament de l'equilibri químic. Sánchez Piso *et al.* (2002), després de revisar vuitanta-quatre articles publicats en revistes nacio-

nals i internacionals, van concloure que, deixant de banda les innovacions dels llibres de text, la recerca publicada sobre l'ensenyament de la cinètica no sol tractar els problemes d'aprenentatge, i pocs autors proposen seqüències de formació per al professorat. D'altra banda, autors com Martínez Torregrosa *et al.* (2012) suggereixen que el treball pràctic es plantege com una investigació dirigida.

La taula 1 arreplega les dificultats conceptualls més freqüents que poden presentar els

alumnes i proporciona alguna referència on es poden trobar enunciades aquestes dificultats.

Els conceptes que són el resultat de la nostra pròpia experiència d'ensenyament no inclouen refe-

rència, tot i que s'indica que es recullen al currículum de la Comunitat Valenciana (CV).

Taula 1. Dificultats conceptuals dels alumnes en estequiometria i cinètica química

Estequiometria	Referència
a) Ajustar una equació química.	CV
b) Interpretar la informació que proporciona una equació química i transferir-la a una prova real en el laboratori.	CV
c) Pensar que l'equilibri entre gasos es pot obtenir en un recipient obert.	Sierra et al. (2008)
d) Reconèixer el reactiu limitant en un procés químic.	CV
e) Fer càlculs en sistemes en els quals intervenen dissolucions.	Johnstone et al. (1977)
f) Creure que la reacció es produeix en dos compartiments separats: un per als reactius i un altre per als productes.	Johnstone et al. (1977)
g) Relacionar erròniament coeficients estequiomètrics amb concentracions en equilibri.	Hackling i Garnett (1985)
h) Pensar que, quan s'aconsegueix l'equilibri, productes i reactius tenen la mateixa concentració.	Sierra et al. (2008)
i) Fer càlculs erronis utilitzant les lleis volumètriques de Gay-Lussac, les hipòtesis d'Avogadro i el concepte <i>quantitat de substància</i> .	CV
j) No entendre que l'estat del sistema en reacció depèn del temps.	Ben-Zvi et al. (1987)
Cinètica química	Referència
k) No entendre el concepte <i>velocitat de reacció</i> i ser incapaç de proposar formes de quantificar-la.	CV
l) Atribuir a la massa, i no a la concentració, influència en la velocitat d'una reacció.	Wheeler i Kass (1978)
m) Atribuir a la quantitat de substància, i no a la concentració, influència en la velocitat d'una reacció.	Sierra et al. (2008)
n) Incapacitat per apreciar que certes substàncies poden mantindre pràcticament constant la seua concentració durant la reacció.	Wheeler i Kass (1978)
o) No identificar els factors dels quals depèn la velocitat d'una reacció. Concentració. Superfície específica. Temperatura.	CV
p) Pensar erròniament que la velocitat de la reacció directa s'incrementa a mesura que la reacció avança.	Cinètica química... (s. d.)
q) Pensar erròniament que, com més ràpida o lenta és una reacció, més gran o xicoteta serà la quantitat de producte format.	Cinètica química... (s. d.)
r) Incapacitat per diferenciar entre <i>velocitat</i> i <i>progrés</i> de la reacció.	Wheeler i Kass (1978) Banerjee (1991)
s) Confondre <i>ordre de reacció</i> amb <i>molecularitat</i> en escriure les equacions cinètiques.	CV
t) Incloure automàticament els coeficients estequiomètrics en l'equació de velocitat.	Boujaoude (1993)
u) No poder obtenir l'equació de velocitat a partir de dades experimentals.	Boujaoude (1993)
v) Pensar que la constant de velocitat i la velocitat de reacció són el mateix.	Cinètica química... (s. d.)
w) Buscar una relació entre els coeficients estequiomètrics, les concentracions i els ordres de velocitat.	Hackling i Garnett (1985) Boujaoude (1993)
x) No percebre que el fet de dur a terme la reacció a una temperatura o una altra influirà en la pressió final assolida.	Johnstone et al. (1977)
y) Aplicar el principi de Le Chatelier per predir el comportament de la velocitat d'una reacció.	Banerjee (1991)

L'estudi de la cinètica de reaccions està inclòs en el currículum de batxillerat («Currículum del batxillerat de la Comunitat Valenciana», 2002), però, específicament, el de les reaccions heterogènies no hi figura, al contrari que el dels equilibris heterogenis. No obstant això, existeixen interessants treballs que estudien la cinètica de reaccions heterogènies, com el de Tortosa *et al.* (2007), que utilitza la reacció entre el carbonat càlcic i l'àcid clorhídric; també de la reacció que hem utilitzat nosaltres destacaríem dos treballs: el de Birk i Walters (1993), adreçat a estudiants universitaris, i el d'Apari-

cio i Lozano (2004), proposat per a estudiants de batxillerat. Nosaltres, de tots dos, hem implementat el primer fent servir un dispositiu diferent i adaptant-lo al batxillerat amb una metodologia d'investigació dirigida. S'ha emprat un equipament de laboratori assistit per ordinador, cada vegada més freqüent en els centres de segona ensenyança.

Preguntes formulades als alumnes

Hem inclòs en cada qüestió els identificadors de les dificultats conceptuals de la taula 1 amb les quals està relacionada. Òbviament, som conscients que

no totes elles s'aconseguiran eliminar amb el desenvolupament de cada activitat, ni tan sols amb la totalitat de l'activitat proposada, però creiem que és una informació útil per al professor que condueix les activitats, i el porta a ell mateix i als estudiants a reflexionar sobre les dificultats en l'ensenyament i l'aprenentatge dels conceptes involucrats.

Activitats prèvies

1. Escriure l'equació que representa la reacció química entre el magnesi metall i l'àcid clorhídric en dissolució aquosa. Identificador: a).
2. Quina massa de magnesi i quin volum d'una dissolució d'àcid clorhídric serien necessaris per reaccionar? Identificadors: b), d) i e).
3. Si es mesclen 0,029 g de magnesi amb 50 mL d'àcid clorhídric 2 mol/L, quina serà la composició final? Identificadors: b), c), d), e), f), g), h) i i).

Estequiometria. Pressió parcial de l'hidrogen i concentració d'àcid clorhídric

4. Quina quantitat d'hidrogen s'obté amb 0,029 g (60 mm^2) de magnesi i 50 mL d'àcid clorhídric 2 mol/L? Quina pressió teòrica assolirà l'hidrogen? Compareu els valors teòrics i experimentals. Identificadors: b), c), d), e), f), g), h) i i).
5. Quina pressió teòrica assolirà l'hidrogen amb 0,028 g de magnesi i 50 mL d'àcid clorhídric 1 mol/L? I amb 50 mL d'àcid clorhídric 0,5 mol/L? Identificadors: b), c), d), e), f), g), h) i i).
6. Dibuixa una gràfica aproximada de la concentració d'àcid clorhídric enfront del temps quan reaccionen 0,028 g de magnesi amb 50 mL d'àcid clorhídric 0,5 mol/L. Identificadors: j) i n).
7. Proposeu expressions per calcular el nombre de mols d'hi-

Material

- Balança ($\pm 0,001 \text{ g}$)
- Cinta de magnesi (amplària: 3 mm)
- Dissolució d'àcid clorhídric 2 mol/L (100 mL), 1 mol/L (500 mL) i 0,5 mol/L (100 mL)
- Erlenmeyers
- Llima
- Pipeta de 25 mL
- Proveta de 50 mL
- Ordinador personal
- Regle
- Sensor de pressió i temperatura
- Programari de captació de dades
- Tap de goma amb orifici (on ajusta el sensor)
- Tíssores



Figura 1. Estris de l'experiment i muntatge.

Talleu un tros de cinta de magnesi de 2 cm de llarg (60 mm^2). Escateu la superfície de la cinta de magnesi. Com que la reacció és exotèrmica, per mantenir-la a temperatura constant, introduïu el matràs en un bany d'aigua de gran volum. Afegiu 50 mL d'àcid clorhídric 2 mol/L en el matràs. Introduïu el matràs en el bany (fig. 1). Activeu el sensor de pressió i temperatura; ràpidament, afegiu el tros de cinta de magnesi i tanqueu l'Erlenmeyer. Atureu l'enregistrament de dades una vegada estabilitzada la pressió. Encara que la quantitat d'hidrogen format no és gran, cal allunyar-se de fonts d'ignició en destapar el matràs, a causa de la inflamabilitat del gas; el professor aprofitarà l'avinentsa per parlar de les mesures de seguretat al laboratori.

Taula 2. Planificació dels assaigs

Assaig	Superfície Mg (mm ²)	Massa Mg (g)	[HCl] (mol/L)	Volum HCl (mL)	T (°C)	v(Pa/s)
1	60 (3 × 20)	0,029	2	50	19	
2	60 (3 × 20)	0,028	1	50	19	
3	60 (3 × 20)	0,028	0,5	50	19	
4	60 (3 × 20)	0,030	1	50	10	
5	30 (3 × 10)	0,015	1	50	19	
6	120 (3 × 40)	0,060	1	50	19	
7	60 (3 × 20), quatre trossos	0,029	1	50	19	

drogen, el nombre de mols i la concentració d'àcid clorhídric. Introduïu-les en el programa i representeu les gràfiques. Identificadors: b), d), e), f), g), h) i i).

Estudi cinètic. Velocitat de reacció

- Com es podria quantificar la velocitat de la reacció? Identificadors: j) i k).
- Enuncieu hipòtesis sobre els factors que influeixen en la velocitat. Identificadors: k), l), m), o), r) i y).
- Proposeu una expressió per a la llei de velocitat de la reacció. Identificadors: s), t), v) i w).

Es provaran les hipòtesis plantejades fent els assaigs indicats a la taula 2.

Amb la mesura de la pressió, es pot determinar la velocitat inicial, ja que, durant els primers instants, l'evolució de la pressió de l'hidrogen presenta un pendent constant. A més, en aquests primers instants, la superfície del magnesi és pràcticament constant i igual al valor inicial, ja que està començant a ser atacat per l'àcid i la concentració d'àcid és gairebé igual al valor inicial, perquè ha reaccionat molt poca quantitat en comparació amb el gran excés inicial.

Influència de la concentració de HCl i superfície de magnesi

- Realitzeu els assaigs 1, 2 i 3 de la taula 2. Determineu la velocitat inicial de reacció. Enuncieu les conclusions. Identificadors: o), p), q) i r).

L'equació de la velocitat per a aquesta reacció haurà de respondre a l'expressió (1):

$$v = k \cdot S^a \cdot [\text{HCl}]^b \quad (1)$$

En prendre logaritmes, quedaria (2):

$$\log v = \log k + a \cdot \log S + b \cdot \log[\text{HCl}] \quad (2)$$

- Obteniu l'ordre *b* respecte de l'àcid clorhídric. Identificadors: s), t), u) i w).
- Realitzeu els assaigs 2, 5 i 6 de la taula 2. Determineu la velocitat inicial. Enuncieu les conclusions. Identificadors: o), p), q) i r).
- Obteniu l'ordre *a* respecte de la superfície de magnesi. Identificadors: s), t), u) i w).
- Determineu la constant de velocitat. Identificador: v).
- Realitzeu els assaigs 2 i 7 de la taula 2 amb el magnesi tallat en nombres de fragments diferents. Determineu la velocitat inicial. Enuncieu les conclusions. Identificador: o).

Influència de la temperatura

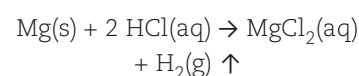
- Realitzeu els assaigs 2 i 4 de la taula 2 a temperatures diferents en el bany. Enuncieu les conclusions. Identificadors: o), x) i y).

Realització de l'activitat

Cada alumne pot fer tots els assaigs proposats. En aquest cas, caldran unes vuit sessions d'una hora cada una. Una altra possibilitat que hem experimentat consisteix a repartir els assaigs entre els alumnes i, en acabar, fer una posada en comú. Cal que els alumnes estiguen familiaritzats amb l'ús del sensor de pressió i temperatura, per a la qual cosa és suficient dedicar-hi uns minuts d'una classe, en el cas de no haver-ne après l'ús en altres experiències.

Reflexió sobre les possibles respostes a les preguntes plantejades

Activitat 1



Activitat 2

Cada mol de magnesi que reacciona ho fa amb 2 mol d'àcid clorhídric. 1 mol de magnesi

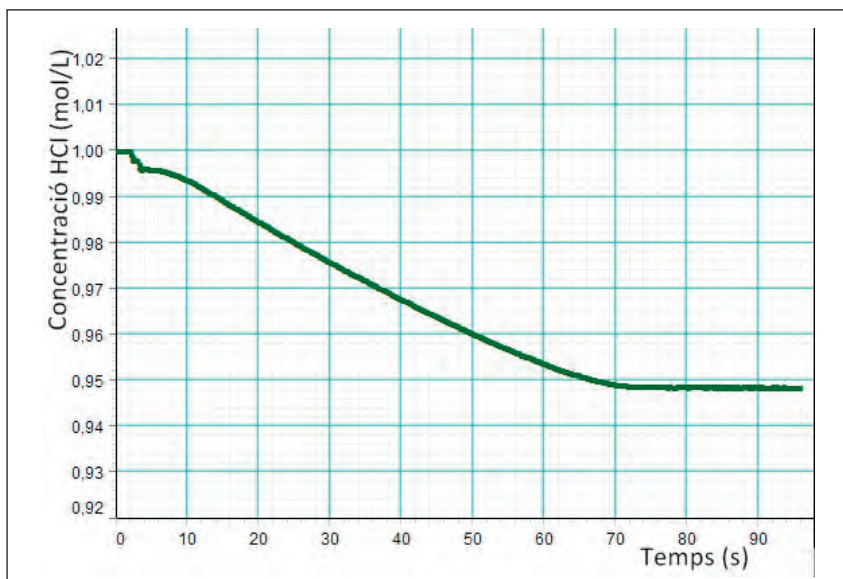


Figura 2. Evolució de la concentració d'àcid clorhídric en reaccionar 0,028 g de magnesi amb 50 mL d'àcid clorhídric 1 mol/L.

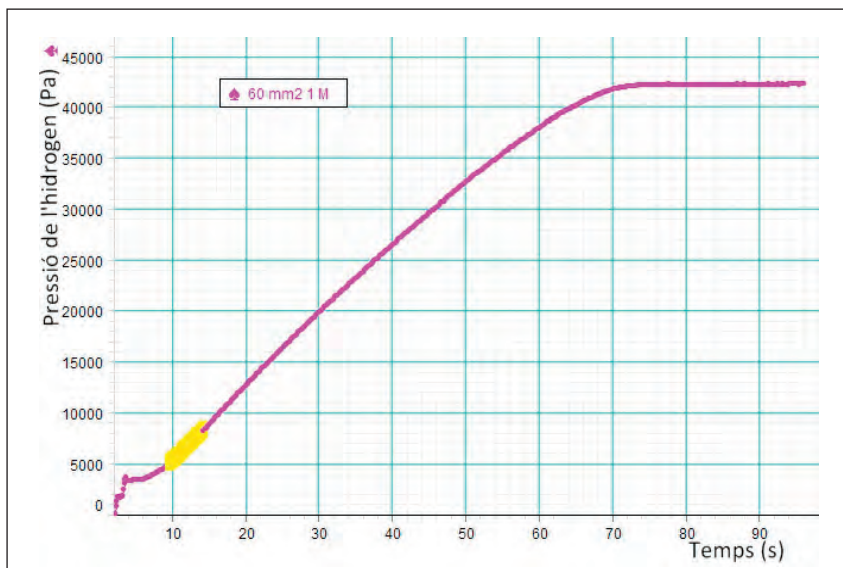


Figura 3. Tram de la pressió enfront del temps per determinar la velocitat inicial en la reacció de 0,028 g de magnesi i 50 mL d'àcid clorhídric 1 mol/L.

fa 24,31 g de magnesi. El volum de dissolució d'àcid clorhídric que cal perquè continga 2 mol d'àcid clorhídric dependrà de la concentració de la dissolució. Alguns alumnes tenen dificultats per entendre la informació de l'equació química i traslladar-la a una situació real en la qual han de decidir quines quantitats calen, sobretot en el cas de l'àcid clorhídric, que es té en forma de dissolució.

Activitat 3

La proporció que es planteja (0,1 mol HCl / 0,0012 mol Mg) =

(83,3 mol HCl / mol Mg) és major que la proporció estequiomètrica (2 mol HCl / mol Mg). Per tant, l'àcid clorhídric estaria en excés i el reactiu limitant seria el magnesi. Les composicions finals, si la conversió és completa, serien les següents: magnesi, 0; àcid clorhídric, 0,098 mol; clorur de magnesi, 0,0012 mol, i hidrogen, 0,0012 mol.

Activitat 4

La quantitat final d'hidrogen seria de 0,0012 mol. Si suposem que el gas hidrogen presenta un comportament de gas ideal, la

temperatura absoluta del gas és igual a la temperatura del bany (292 K) i el volum de l'hidrogen, $V = \text{volum del matràs} + \text{volum del tub de silicona} - \text{volum de dissolució}$ ($122 + 2 - 50 = 74 \text{ mL}$). La pressió teòrica és de 39.517 Pa i l'experimental va ser de 40.530 Pa (una desviació d'un 2 %).

Activitat 5

No tots els alumnes s'adonen que, en haver-hi la mateixa quantitat de reactiu limitant (magnesi), encara que utilitzem àcid més concentrat, el progrés de la reacció serà el mateix i la pressió d'hidrogen aconseguida, també. L'anàlisi dels resultats dels assaigs 1, 2 i 3 permet que comprovem aquest fet.

Activitats 6 i 7

$$n_{\text{H}_2} = \frac{p_{\text{H}_2} \cdot V}{R \cdot T} \quad (3)$$

$$n_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl},0} - 2 \cdot n_{\text{H}_2} \quad (4)$$

$$[\text{HCl}] = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{dissolució}}} \quad (5)$$

La concentració d'àcid clorhídric (fig. 2) canvia molt poc durant la reacció a causa de l'excés d'aquest enfront del magnesi en la mescla inicial.

Activitat 8

$$v_{\text{mitjana}} = \frac{\Delta p_{\text{H}_2}}{\Delta t} \quad (6)$$

La pressió de l'hidrogen es pot calcular restant a la pressió total la inicial. Si l'evolució de la pressió de l'hidrogen és lineal, la velocitat instantània és constant i igual a la mitjana (fig. 3).

Activitat 9

Els alumnes solen proposar una concentració d'àcid clorhídric tal que, a major concentració, major velocitat. Quant al magnesi, hi ha respostes en les

quals consideren que no influeix o que depèn de la massa d'aquest (en els dos sentits, a major massa, major velocitat, i a l'inrevés), i, fins i tot, que influeix la concentració. Són escasses les respostes que atorguen influència a la superfície del magnesi utilitzat. És important fer avinent als alumnes que la velocitat d'una reacció no s'ha de correlacionar d'immediat amb el temps invertit. La reacció pot tardar més a finalitzar si s'empra una major quantitat del reactiu limitant, encara que haja transcorregut a la mateixa velocitat (al mateix ritme de consum).

La temperatura és un factor apuntat majoritàriament. Els alumnes suggereixen que, a major temperatura, més ràpida és la reacció, encara que si s'indica que la reacció és exotèrmica, hi ha respostes que suggereixen, erròniament, que una temperatura major reduirà la velocitat de la transformació. En aquests casos, els alumnes confonen *velocitat* amb *progrés* de la reacció, ja que, en les reaccions exotèrmiques, com més gran serà la temperatura, menor serà la seua constant d'equilibri, però s'aconseguirà més ràpidament.

El grau de divisió també apareix en algunes de les respostes. Si als alumnes se'ls pregunta què ocorrerà si es fan diversos trossos d'un únic tros major de cinta de magnesi, llavors responen, erròniament, que la velocitat augmentarà.

Activitat 10

$$v = k \cdot S^a \cdot [\text{HCl}]^b \quad (1)$$

Algunes respostes apuntaran que b és 2 i que a és 1, però és important destacar als alumnes que el valor dels ordres parcials de reacció s'ha de determinar experimentalment. També apareixen respostes que no inclouen el

Taula 3. Influència de la concentració d'àcid clorhídric en la velocitat

Assaig	[HCl] (mol/L)	v (Pa/s)
1	2	2.685 ± 40 R = 0,996
2	1	$748,8 \pm 0,7$ R = 1
3	0,5	$111,5 \pm 0,1$ R = 1

Taula 4. Influència de la superfície de magnesi en la velocitat

Assaig	S_{Mg} (mm ²)	v (Pa/s)
2	60	$748,8 \pm 0,7$ R = 1
5	30	$370,8 \pm 0,1$ R = 1
6	120	1.398 ± 1 R = 1

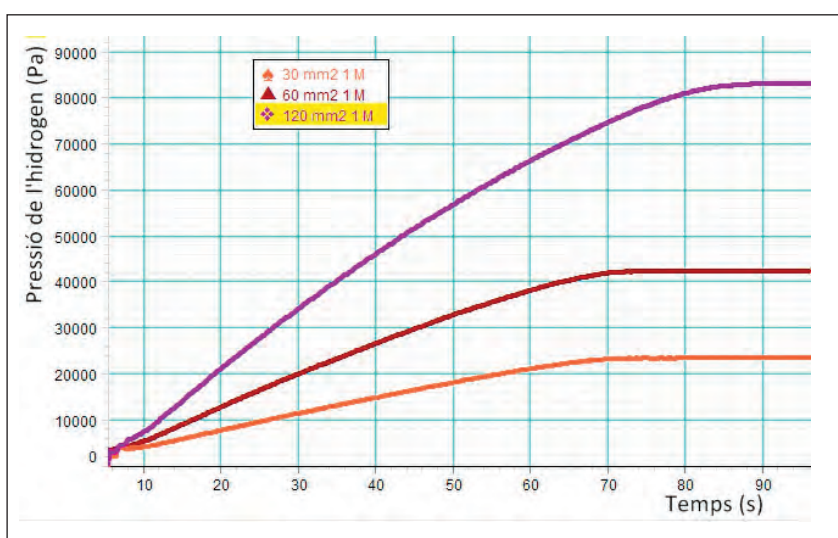


Figura 4. Comparativa de l'evolució de la pressió segons la superfície de magnesi.

valor de la superfície de magnesi amb arguments com ara que, en ser constant, està inclosa en la constant de velocitat.

En aquest punt és molt important que els alumnes aprenguen a dissenyar correctament una investigació i que valoren la importància d'exercir un control de variables correcte perquè puguin extraure conclusions vàlides. El professor apuntarà que seria convenient fer sèries diferents d'assaigs (taula 2), on es puguin estudiar la influència de la concentració de l'àcid clorhídric (assaigs 1, 2 i 3), la temperatura (assaigs 2 i 4), la superfície de magnesi participant (assaigs 2, 5 i 6) i el nombre de trossos de

magnesi, però mantenint constant la resta de les variables per evidenciar només l'efecte de la variable que es vol estudiar.

Activitat 11

En el valor de la velocitat, s'ha inclòs la desviació estàndard del pendent de la pressió enfront del temps i el coeficient de correlació del tram utilitzat per a la determinació del pendent.

Alguns alumnes s'imaginen una relació de proporcionalitat directa entre la concentració de l'àcid clorhídric i la velocitat de la reacció. Les dades no ens confirmen aquesta idea alternativa. També convé destacar que, encara que el ritme de consum del mag-

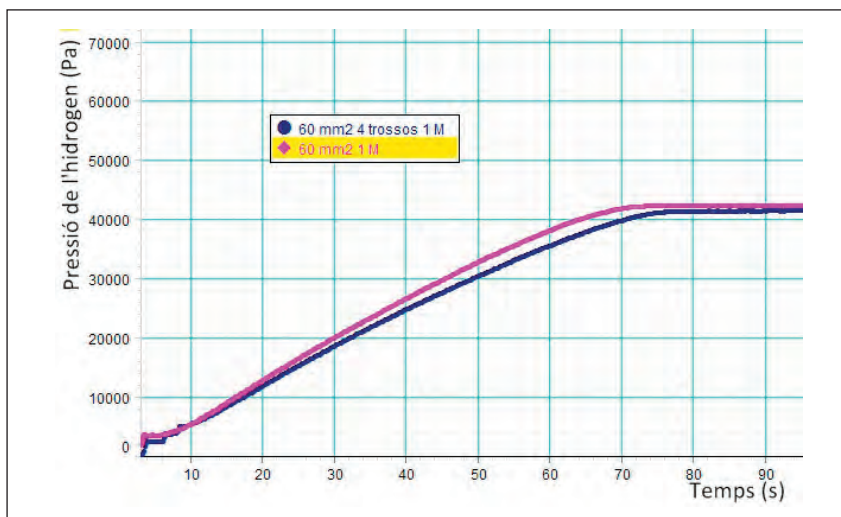


Figura 5. Influència del nombre de trossos de cinta de magnesi en la velocitat.

Taula 5. Influència de la temperatura en la velocitat

Assaig	T (°C)	v (Pa/s)
2	19	$736,6 \pm 0,3$ R = 0,999
4	10	582 ± 2 R = 1

nesi siga diferent segons la concentració d'àcid clorhídric, l'extensió de la reacció és la mateixa, perquè s'observa que s'aconsegueix una pressió total final igual (coeficient de variació de l'1 %).

Activitat 12

Si es representa $\log v$ enfront de $\log [HCl]$, s'obindrà una recta el pendent de la qual és el valor de l'ordre respecte de l'àcid clorhídric. L'equació ajustada dona un valor per al pendent igual a $2,2 \pm 0,2$.

Activitat 13

En aquesta ocasió, simplement observant els resultats, els alumnes sí comproven que és certa la seva hipòtesi de proporcionalitat directa entre la velocitat de la reacció i la superfície de magnesi.

Activitat 14

$$\log v = \log k + a \cdot \log S + b \cdot \log [HCl] \quad (2)$$

En representar $\log v$ enfront de $\log S$, s'obindrà una línia recta el pendent de la qual és el valor

de l'ordre respecte de la superfície de magnesi. S'obté un resultat igual a $0,97 \pm 0,04$. En aquest cas, l'ordre de reacció coincideix pràcticament amb la molecularitat indicada per l'equació, la qual cosa ens fa pensar que la reacció és elemental i el mecanisme queda descrit per l'equació química plantejada. És important portar els alumnes a reflexionar sobre el fet que els resultats experimentals no sempre coincideixen amb els teòrics o els del llibre de text, i que aquests solen estar expressats seguint un model sota unes condicions que no sempre s'aconsegueixen reproduir al laboratori escolar.

Activitat 15

Essent $a = 0,97$ i $b = 2,2$, la constant de velocitat de la reacció estudiada a 19°C pren el valor de 13 ± 1 ($\text{Pa} \cdot \text{L}^2$) / ($\text{s} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mol}^2$). És important fer avinent als alumnes que la constant k és la constant de velocitat de la reacció i que no s'ha de confondre amb la constant d'equilibri: K_c o K_p .

Activitat 16

Segons la fig. 5, la velocitat inicial és molt semblant, 749 ± 2 Pa/s, i aquest resultat pot sorprendre els alumnes, ja que solen esperar una major velocitat, indicatiu que no van interioritzar que a major superfície específica d'un sòlid, major velocitat. Efectivament, si haguérem comparat la velocitat utilitzant magnesi en cinta i magnesi en pols, la velocitat hauria sigut major en el segon cas, però, en haver assajat un nombre de trossos que suposen una superfície total exposada de magnesi quasi igual, la velocitat resulta pràcticament la mateixa.

Activitat 17

En observar els resultats de la taula 5, els alumnes veuen com la temperatura augmenta la velocitat de la reacció i haurien de ser capaços de dir que això es deu al fet que augmenten l'agitació i l'energia dels ions H^+ de la dissolució, augmentant els xocs eficaços amb els àtoms de la superfície de magnesi.

Conclusions

Creiem que la seqüència didàctica d'aquesta proposta permet introduir conceptes i evidenciar i reflexionar per modificar moltes de les idees alternatives de l'alumnat de batxillerat sobre l'estequiometria (reactiu limitant, càlculs amb reactius en dissolució, etc.) i cinètica química (concepte i mesura de la velocitat d'una reacció química, factors que modifiquen la velocitat, ordre de reacció, constant de velocitat, etc.). Considerem que el treball pràctic presentat, o amb les adaptacions que el professor considere oportunes, pot ser útil per modificar dificultats conceptuals dels alumnes en l'estequiometria i la cinètica química i pot ser complementari, però en absolut exclouent, respecte d'altres estratègies, com la

resolució de problemes o les explicacions teòriques. Fóra convenient d'estudiar en el futur el grau de permanència dels canvis en les idees alternatives aconseguits mitjançant el treball experimental. Així mateix, el tractament dels càlculs estequiomètrics no s'ha estès a transformacions reversibles; per tant, fóra convenient de completar el present treball en un futur.

La seqüència didàctica d'aquesta proposta permet introduir conceptes i evidenciar i reflexionar per modificar moltes de les idees alternatives de l'alumnat de batxillerat sobre l'estequiometria (reactiu limitant, càlculs amb reactius en dissolució) i cinètica química (concepte de la velocitat d'una reacció, factors que la modifiquen, ordre de reacció, constant de velocitat)

Referències

- APARICIO, A.; LOZANO, M. T. (2004). *Concentració i velocitat de reacció* [en línia]. Barcelona: Centre d'Experimentació i Documentació en Ciències i Tecnologia. <http://phobos.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/nntt_fiq/pdf.quimica/reaccio.pdf>; <http://phobos.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/nntt_fiq/pdf.quimica/preaccio.pdf> [Consulta: 6 febrer 2013]
- BANERJEE, A. C. (1991). «Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium». *International Journal of Science Education*, 13(4): 487-494.
- BEN-ZVI, R.; EYLON, B.-S.; SILBERSTEIN, J. (1987). «Students visualisation of a chemical reaction». *Education in Chemistry*, 24(4): 117-120.
- BIRK, J. P.; WALTERS, D. L. (1993). «Pressure measurements to determine the rate law of the magnesium-hydrochloric acid reaction». *Journal of Chemical Education*, 70(7): 587-589.
- BOUJAOUDE, S. (1993). «Student's systematic errors when solving kinetic and chemical equilibrium problems». A: *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. Atlanta: NARST.
- Cinètica química: ¿quién es más rápido? *Análisis didáctico* (s. d.) [en línia]. Mèxic: Universidad Autónoma Nacional de México. <http://www.cneq.unam.mx/cursos_diplomados/diplomados/medio_superior/dgire2006-2007/11_porta/cinetica/analisis_didactico.htm> [Consulta: 25 juny 2012]
- «Currículum del batxillerat de la Comunitat Valenciana» (2002). Decret 50/2002, de 26 de març.
- HACKLING, M. W.; GARNETT, P. J. (1985). «Misconceptions of chemical equilibrium». *European Journal of Science Education*, 7(2): 205-214.
- JOHNSTONE, A. H.; MACDONALD, J. J.; WEBB, G. (1977). «Chemical equilibrium and its conceptual difficulties». *Education in Chemistry*, 14(6): 169-171.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; DOMÈNECH, J. L.; MENARGUES, A.; ROMO, G. (2012). «La integración de los trabajos prácticos en la enseñanza de la química como investigación dirigida». *Educación Química*, 23(1): 112-126.
- SÁNCHEZ PISO, J.; DOMÍNGUEZ, J. M.; GARCÍA-RODEJA, E. (2002). «Revisión de la investigación sobre la enseñanza de la cinética química». *Adaxe. Revista de Estudios y Experiencias Educativas*, 18: 171-190.
- SIERRA, J. L.; GARCÍA, A. M.; BOSQUE, J. M.; OLMO, M.; BLANC, M. R.; ALÉS, F.; GÁMIZ, L. (2008). «Aprendiendo sobre el equilibrio químico mediante investigación dirigida con laboratorios virtuales». A: *Actas de los XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Almería: Universidad de Almería.
- TORTOSA, M.; SÁEZ, M.; PINTÓ, R. (2007). «Experimentos en tiempo real para los cursos de ciencias en secundaria». A: MEMBIELA, P. [ed.]. *Experiencias innovadoras de utilización de las NTIC en actividades prácticas en ciencias*. Vigo: Educación Editora, p. 145-163.
- WHEELER, A. E.; KASS, H. (1978). «Student misconceptions in chemical equilibrium». *Science Education*, 62(2): 223-232.



Ángel Luis Torres Climent

És llicenciat en química, màster en gestió de residus orgànics i professor de Física i química a l'IES Joanot Martorell d'Elx. És també coautor de diferents llibres i ha publicat articles sobre didàctica de la física i la química. A/e: angeltoresfq@yahoo.es.



Vicent F. Soler Selva

És llicenciat en física i catedràtic de física i química a l'IES Sixto Marco d'Elx. Ha publicat treballs sobre didàctica i història de la ciència. A/e: vicent.f.soler@gmail.com.