

**FÍSICA E QUÍMICA****TRINTA E CINCO ANOS DE INVESTIGACIÓN  
SOBRE O ENSINO DA CINÉTICA QUÍMICA****SÁNCHEZ PISO, José****DOMÍNGUEZ CASTIÑEIRAS, José Manuel****GARCÍA-RODEJA FERNÁNDEZ, Eugenio***Dpto. Didáctica de Ciencias Experimentais - Usc**ddacabdz@usc.es***INTRODUCCIÓN**

No presente traballo recóllese unha revisión da investigación que se leva publicado nas revistas científicas respecto do ensino da cinética química, desde os anos sesenta. Esta revisión inclúe tódolos niveis do sistema educativo; consecuentemente, as propostas atopadas teñen niveis de complexidade moi diferentes entre sí. O traballo forma parte dun máis amplo: a tese de doutoramento do primeiro firmante. Dada a imposibilidade de citar a tódolos autores revisados nesta comunicación, poñemos só algúns deles.

**Palabras clave:** Concepcións alternativas, actividades de aprendizaxe, cinética química

**A CONSTRUCCIÓN DE SIGNIFICADOS E A NATUREZA E  
EPISTEMOLOXÍA DA CIENCIA**

Na actualidade, aunque ás veces nos pareza que os conceptos básicos de química están consensuados e que as discrepancias quedan lonxanas, a revisión bibliográfica fainos ver que as cousas non son tal, polo menos no que se refire ó ensino, tanto dos conceptos como da terminoloxía. Varios autores (Campbell, 1974; Laidler, 1988) tiveron que saír ó paso a finais dos oitenta para aclaralo verdadeiro significado dalgúns termos confusos utilizados nos libros de texto: A diferenza entre velocidade e equilibrio, a enerxía de activación e a súa relación coa teoría de colisións, a reversibilidade das reaccións, as superficies de enerxía potencial, os estados de transición e complexos activados, os mecanismos de reacción e, sobre todo, os catalizadores e enzimas, coa complexidade que supoñen os seus mecanismos de actuación.

Rosaria Justi e John K. Gilbert (1999) publicaron un interesantísimo artigo onde repasaron o desenrolo histórico da cinética química desde antes do século XVI. Utilizan os programas de investigación de Lakatos para situar o contexto científico de cada teoría.

## AS ANALOXÍAS COMO REPRESENTACIÓN DO ABSTRACTO

A idea dos estadios evolutivos de Piaget subxace nos docentes que descubren que moitos conceptos químicos requiren dos alumnos o nivel das operacións formais. Herron (1975) pensa isto da velocidade de reacción, por tratarse dunha relación, e da teoría de colisións, como explicación das modificacións que factores externos exercen sobre a cinética. Propón como innovadora a utilización de modelos moleculares animados (vídeos) onde os átomos se representan por esferas. Outros autores relacionan co nivel de abstracción erros como confundir velocidade e extensión da reacción (Wheeler e Kass, 1978) e propoñen facer fincapé na experimentación.

Hai intentos para deseñar analoxías que fagan concreto o que de por sí é abstracto, como a máquina de Hauptmann e Menger (1978), o xogo de Tyas e Cabot (1999) ou o ciclo piagetiano proposto por Batt (1980) onde se aplica o método de Monte Carlo. As analoxías propostas son moi frecuentes: Fluxos en movemento para expoñer a etapa limitante da velocidade dunha reacción; capilares que transportan etanol entre dous balóns, a través dun punto máximo, cos que se pretende visualiza-la enerxía potencial; ladróns que entran polas fiestras para facilita-la comprensión da enerxía de activación; índices de inflación; devaluación de coches; aumento demográfico... Licata (1988) fai un eloxio destas analoxías, anque propón unha serie de consellos á hora de aplicalas; nós consideramos que inducen a erros e complican máis que facilitan. É preferible utilizar modelos simplificados en función do nivel educativo no que se realice a intervención didáctica, de modo que queden abertos e se poidan ir completando a medida que os feitos e fenómenos presentados na clase así o vaian demandando (Domínguez, 2000).

Boujaoude (1993) leva a cabo un estudio no que presenta a un grupo de alumnos un problema de cinética e un test de pensamento lóxico, para tratar de detectar qué erros e ideas alternativas dos alumnos podían ter relación directa co estadio cognitivo no que se atopaban.

## CONCEPCIÓNS ALTERNATIVAS

No libro de Maía Pestana sobre concepcións alternativas, que abrange moitos temas do currículo de química, non aparece a cinética. A enorme im-

portancia que se lle dá ó difícil concepto de equilibrio químico na maioría dos currículos de todo o mundo, ten feito que a cinética química quedase aparcada pola maioría dos investigadores. A continuación expoñeremos algunhas excepcións, pero na maioría dos casos teremos que recurrir ós estudos sobre equilibrio, que frecuentemente tratan o tema da cinética como unha parte integrante. Os métodos empregados para o estudo foron test de respostas múltiples, entrevistas a alumnos e profesores, exposicións libres dos alumnos respecto de determinados temas, técnica de asociación de palabras, representacións gráficas, resolución de problemas...

Son necesarios coñecementos previos para entende-la velocidade das reaccións, como por exemplo a diferenciación entre masa e concentración (Wheeler e Kass, 1978; Rocha, 2000), pero a maioría dos problemas proveñen de non entende-lo que significan os símbolos empregados nunha ecuación química: Non se teñen en conta os átomos e enlaces implicados; pénsase nun desplazamento dun lugar a outro para transformárense os reactivos en produtos; crese nunha transformación duns átomos noutros; non se considera o aspecto dinámico de dependencia respecto do tempo; concíbese a reacción transcurrido en dous compartimentos separados...

Respecto da velocidade de reacción, atopáronse as seguintes dificultades:

- Incapacidade para distinguir entre velocidade e extensión (Wheeler e Kass, 1978; Banerjee, 1991; Rocha, 2000). Coherentemente, existe a creencia de que maior constante de equilibrio implica maior velocidade de reacción.
- Acadado o equilibrio nunha reacción, resulta difícil comprender que a velocidade da reacción directa é igual á da reacción inversa, independentemente de que o equilibrio estea máis ou menos desprazado cara a unha das dúas direccións (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977).
- Moitos alumnos cren que a velocidade das reacción aumenta co tempo (Hackling e Garnett, 1985). Hay apariencias experimentais disto, xa que ó poñer unha cinta de magnesio en ácido diluído ou queimada, non se atribúe a lentitude inicial á capa de óxido que recobre o metal.
- Algúns alumnos inclúen os coeficientes estequiométricos nas leis de velocidade (Boujaoude, 1993), xa sexa como expoñentes (ordes) ou expresando mal as concentracións,  $[2H_2O]$  (por exemplo).
- Un número elevado de alumnos non atopan a relación que hai entre os datos experimentais e a velocidade das reaccións.

- Cando se introduce unha perturbación no equilibrio dunha reacción, o erro máis frecuente consiste en crer que a reacción favorecida aumentará a súa velocidade, mentres que a desfavorecida disminuirá. É dicir, que as velocidades modifícanse para axustarse ó principio de Le Chatelier (Hackling e Garnett, 1985).
- Banerjee (1991) pon de manifesto a aplicación do principio de Le Chatelier á modificación da velocidade de reacción por efecto de determinadas variables.

Un dos campos da cinética onde máis concepcións alternativas se atopan é, sen dúbida, o dos catalizadores (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977; Gorodetsky, Gussarsky, 1986; Hameed, Hackling y Garnett, 1993):

- Afectan só á reacción directa, pero non á inversa.
- Disminúen a velocidade da reacción inversa.
- Aumentan a proporción dun produto no equilibrio.
- Pódense empregar para dirixi-lo equilibrio cara a onde queremos.

Storey (1992) trata de clarear moitas concepcións alternativas sobre enzimas, que atopa analizando libros de texto. Un aspecto complicado é a enerxía de activación, que algúns alumnos identifican coa temperatura (Gussarsky, Gorodetsky, 1988).

## ORIXE DAS CONCEPCIÓNS ALTERNATIVAS

Johnstone et al. (1977) poñen de manifesto que a causa principal destas concepcións alternativas é a natureza abstracta dos conceptos obxecto de aprendizaxe, pero tamén problemas de comunicación entre o profesor e os alumnos. Hackling e Garnett (1985) tamén consideran que o motivo da dificultade se atopa na demanda cognitiva destes conceptos e na acomodación por parte dos alumnos, dos novos coñecementos ás súas concepcións, que poden ter orixe tanto na experiencia cotiá dos alumnos, como no feito de enfatizar determinados aspectos durante a instrucción previa. Proponse refutalas concepcións dos estudantes e facer fincapé no papel que xogan as velocidades de reacción no establecemento do equilibrio. Máis aínda, Hackling e Garnett propoñen explicar primeiro a cinética química, xunto cos factores que inflúen nela, para que serva como base ó tema do equilibrio. Así, o principio de Le Chatelier cobra significatividade. Tamén é certo que outros autores, como Banerjee (1991), son da opinión de que o equilibrio debería ser explicado só a partir da termodinámica, sen introducir factores de distracción como as velocidades de reacción.

Ben-Zvi, Eylon e Silberstein (1987) fíxanse en que o profesor usualmente non da unha visión de conxunto respecto da reacción, e só incide nos aspectos que lle interesan nun determinado tema, sen decatarse de que os alumnos están supoñendo cousas que el non di, e que derivan en ideas alternativas. Ás veces, ó pretender que un tema sexa máis comprensible, cométese inexactitudes (MacDonald, 1991) que á larga derivan en concepcións alternativas.

Un estudio importante parece o de Boujaoude (1993), xa comentado, no que pretendeu atribuí-los erros cometidos na resolución dun problema á compoñente matemática, química ou de nivel de pensamento lóxico dos alumnos.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAXE PROPOSTAS

Diversos autores utilizan problemas de cinética como exemplos nos seus estudos e propostas sobre outros aspectos (Gilbert, 1980; Amyotte, 1991; Savage e Blaine, 1991).

As propostas de prácticas consisten case todas en determinacións da ecuación e constante de velocidade e obtención da enerxía de activación e factor de frecuencia. Moitos esforzos foron encamiñados á introducción de tecnoloxía: espectrofotometría (Corsaro, 1964), resonancia magnética nuclear, cromatografía, análise térmica diferencial... Evidentemente, a maioría destas técnicas só están ó alcance da universidade.

Case tódolos autores centran as súas prácticas na influencia da concentración e da temperatura na velocidade, pero algúns outros tratan o efecto salino ou a luz. Nalgunhas tense en conta o mecanismo de reacción, pero son poucas as que tratan de averigualo a partir dos datos experimentais. Os catalizadores e enzimas tamén están presentes en moitas experiencias. Hai intentos para buscar aplicacións ás prácticas de cinética na vida diaria (Byrd e Perona, 1982; Bindel, 1996). Por último, parécenos curiosos os casos nos que as leis matemáticas da cinética son aplicadas a outras áreas da ciencia, como a bioloxía.

Na bibliografía atópanse moitas propostas para introducir métodos informáticos no tema da cinética, a veces para facilita-los cálculos e outras para simular reaccións. Os artigos explican cómo se poden utiliza-las follas de cálculo nas prácticas e problemas de cinética, pero tamén existen programas publicados especificamente para este campo. Hameed et al. (1993) xustifican o emprego da informática porque permite unha instrucción individualizada (cada alumno segue o seu propio ritmo) e pode simular moitos fenómenos inobservables do comportamento molecular. Descríbense *interfaces*

que permiten ó ordenador estar conectado á propia montaxe experimental, procesando os datos en brevísimos intervalos de tempo.

### **Secuencia de aprendizaxe**

Poucos autores propoñen secuencias dos contidos. García Verdugo (1999) opina que a cinética debe preceder ó equilibrio no currículo. Johnstone et al. (1977) non propoñen ningunha secuencia, pero cando estudian as concepcións alternativas respecto do equilibrio, dun grupo de alumnos escoceses, non poñen obxeccións a que a cinética preceda ó tema do equilibrio. Outros autores introducen a velocidade de reacción durante o equilibrio químico (Hackling e Garnett, 1986; Rocha, Scandrolí, Domínguez e García-Rodeja, 2000).

Independentemente das diversas opinións ó respecto, as secuencias de ensino-aprendizaxe propostas para superar estas concepcións alternativas consisten na aplicación á cinética do seguinte esquema, xa clásico (Posner et al., 1982; Hameed et al., 1993):

- Facer aflora-las ideas previas.
- Crea-lo conflito cognitivo destas ideas, para conseguir que sexan insatisfactorias para o estudante.
- Aporta-la idea científica, que deberá resultar intelixible, plausible e fructífera.
- Reforza-la idea aplicándoa a moitos casos.

### **CONCLUSIÓN**

A parte das innovacións dos libros de texto, as investigacións publicadas en revistas científicas no eido do ensino da cinética química non soen trata-la problemática da aprendizaxe. A maioría dos casos consisten en propostas sobre prácticas, problemas, métodos informáticos... Poucas veces reflexan estudos realizados con alumnos e, cando sí o fan, o tema da cinética adoita aparecer de pasada en artigos centrados no equilibrio químico. Por todo o anterior, pensamos que a investigación sobre a problemática da aprendizaxe da cinética química está por facer. Trataríase dunha investigación que debería traballar en dous frentes, sempre tendo en conta o nivel dos alumnos: A descrición da problemática, a partir da testemuña dos alumnos, independentemente do método empregado para obtela, e o deseño de unidades didácticas fundamentadas científica e didácticamente, e a súa validación mediante a intervención controlada na aula.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Amyotte, P.R. (1991).** Development and use of open-ended problems. *Chemical Engineering Education*, 25 (3), 158-163.
- Banerjee, A.C. (1991).** Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13 (4), 487-494.
- Batt, R.H. (1980).** A Piagetian learning cycle for introductory chemical kinetics. *Journal of Chemical Education*, 57 (9), 634-635.
- Ben-Zvi, R.; Eylon, B-S.; Silberstein, J. (1987).** Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24 (4), 117-120.
- Bindel, T.H. (1996).** Lightstick magic. Determination of the activation energy with PSL. *Journal of chemical Education*, 73 (4), 356-358.
- Boujaoude, S. (1993).** *Student's systematic errors when solving kinetic and chemical equilibrium problems.* Paper presentado en el Annual Meeting of The National Association for Research in Science Teaching. Atlanta.
- Byrd, J.E. y Perona, M.J. (1982).** The kinetics of photographic development. A general chemistry experiment. *Journal of chemical Education*, 59 (4), 335-336.
- Campbell (1974).** *¿Por qué se producen las reacciones químicas?* En Startd, J.G. *Química Moderna.* Madrid: Alianza Universal.
- Corsaro, G. (1964).** A colorimetric chemical kinetics experiment. *Journal of Chemical Education*, 41 (1), 48-50.
- Domínguez Castiñeiras, J.M. (2000).** *Evolución de las formas de hacer y de pensar sobre un sistema material, en el marco de la termodinámica y del modelo de partículas. Estudio mediante esquemas de acción y de razonamiento.* Tesis doctoral inédita. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago.
- García-Verdugo Delmas, A. (1999).** A cinética química na educación secundaria. Unha proposta didáctica para 2º de Bacharelato LOGSE. *Boletín das Ciencias*, 39, 25-39.
- Gilbert, G.L. (1980).** How do I get the answer? Problem solving in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 57 (1), 79-80.
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. (1986).** Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 427-441.

- Gussarsky, E. y Gorodetsky, M. (1988).** On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (5), 319-333.
- Hackling, M.W. y Garnett, P.J. (1986).** Chemical equilibrium: Learning difficulties and teaching strategies. *Australian Science Teachers Journal*, 31, 8-13.
- Hameed, H.; Hackling, M.W.; Garnett, P.J. (1993).** Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, 15 (2), 221-230.
- Hauptmann, S.; Menger, E. (1978).** The statistical basis of chemical equilibria. *Journal of Chemical Education*, 55 (9), 578-580.
- Herron, J.D. (1975).** Piaget for chemists. Explaining what "good" students cannot understand. *Journal of Chemical Education*, 52 (3), 146-150.
- Johnstone, Dr.A.H.; MacDonald, J.J. y Webb, Dr.G. (1977).** Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14 (6), 169-171.
- Justi, R. y Gilbert, J. (1999).** History and philosophy of science through models: The case of chemical kinetics. *Science and Education*, 8, 287-307.
- Laidler, K.J. (1988).** Just what is a transition state? *Journal of chemical Education*, 65 (6), 540-542.
- Licata, K.P. (1988).** Chemistry is like a... *The Science Teacher*, 55 (8), 41-43.
- MacDonald, J.J. (1991).** Plausibility: Is there a place for it in chemistry teaching? *School Science Review*, 72 (261), 69-75.
- Maía Pestana, M.E.** *Concepções alternativas dos alunos e aprendizagem por mudança conceptual*. Fac. de C. Lisboa.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. e Gertzog, W.A. (1982).** Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 62 (2), 211-227.
- Rocha, A.L., García-Rodeja, E., Domínguez, J.M. (2000).** Dificultades en el aprendizaje del equilibrio químico. *Adaxe*, 16, 163-178.
- Rocha, A., Scandrioli, N., Domínguez Castiñeiras, J.M., García-Rodeja, E. (2000).** Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11 (3), 343-352.
- Savage, P.E. y Blaine, S. (1991).** Chemical reaction engineering applications in non-traditional technologies. *Chemical Engineering Education*, 25 (3), 150-153.



- 
- Storey, R.D. (1992).** Textbook errors & misconceptions in biology: Cell physiology. *The American Biology Teacher*, 54 (4), 200-203.
- Tyas, T. y Cabot, J. (1999).** A role-play to illustrate the energy changes occurring in an exothermic reaction. *School Science Review*, 80 (293), 113-114.
- Wheeler, A.E. y Kass H. (1978).** Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science education*, 62 (2), 223-232.