

## REVISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA CINÉTICA QUÍMICA

José Sánchez Piso

José Manuel Domínguez Castiñeiras

Eugenio García-Rodeja Fernández

ddacabdz@usc.es

Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais

Universidade de Santiago de Compostela

### Resumo

No presente traballo, realizado no marco dunha investigación de tese de doutoramento, preséntase a revisión de tres décadas de investigación sobre o ensino da cinética química. Revisáronse os artigos de investigación publicados nas principais revistas da área e categorizáronse segundo a seguinte clave: metodoloxía de investigación, evolución dos conceptos científicos, concepcións dos alumnos e propostas didácticas.

**Palabras clave:** metodos de investigación, concepcións alternativas, actividades de aprendizaxe, cinética química.

### Resumen

En el presente trabajo, realizado en el marco de una investigación de tesis doctoral, se presenta la revisión de tres décadas de investigación sobre la enseñanza de la cinética química. Se han revisado los artículos de investigación publicados en las principales revistas del área y se categorizaron según la siguiente clave: metodología de investigación, evolución de los conceptos científicos, concepciones de los alumnos y propuestas didácticas.

**Palabras clave:** metodos de investigación, concepciones alternativas, actividades de aprendizaje, cinética química.

### Abstract

This article is a part of an investigation in order to get a doctoral thesis. The review of three decades of investigation about chemical kinetics teaching is presented. The papers in the most important publications of the area have been reviewed and classified following these categories: methods of investigation, evolution of the scientific concepts, pupils' conceptions, didactic propositions.

**Key words:** methods of investigation, misconceptions, learning activities, chemical kinetic.

## Introducción

La enseñanza de la cinética química siempre ha estado un poco a la sombra de la del equilibrio químico, sobre la que se centran la mayor parte de las investigaciones. Finley et al. (1992), tras encuestar a cien profesores de enseñanza secundaria, encuentran que la cinética no figura ni entre los diez temas considerados más difíciles, ni entre los diez más importantes del temario de química.

Nosotros consideramos que es un tema altamente relevante para la enseñanza de las reacciones químicas y del equilibrio químico, por lo que hemos seleccionado como objetivo de nuestro trabajo de tesis de doctorado el diseño, aplicación y evaluación en el aula de una propuesta didáctica para la enseñanza de la cinética química.

Con el objeto de configurar el marco teórico en el que se realiza dicha investigación, hemos realizado una revisión de la literatura científica, respecto de aquellas contribuciones que puedan tener implicaciones en la misma.

En este trabajo presentamos la revisión de ochenta y cuatro artículos publicados sobre el tema, en dieciocho de las principales revistas científicas del área (Tabla 1), referidos a los diversos niveles educativos, incluido el universitario, desde el año 1964 hasta la actualidad. Los resultados de dicha revisión se han categorizado según la siguiente clave:

- Metodología de investigación.
- Evolución de los conceptos científicos.
- Concepciones de los alumnos.
- Propuestas didácticas.

Tabla 1. Revistas revisadas

Revistas	Nº artículos
American Journal of Physics	49
Australian Science Teachers Journal	2
Boletín das Ciencias	3
Chemical Engineering Education	1
Education in Chemistry	2
Enseñanza de las Ciencias	4
European Journal of Science Education	2
International Journal of Science Education	1
Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching	3
Journal of Chemical Education	2
Journal of Research in Science Teaching	2
Research in Science Teaching	1
Science and Education	1
Science Education	2
School Science Review	1
The American Biology Teacher	6
The Science Teacher	1

## 1. Metodología de investigación

La Tabla 2 que figura a continuación, esquematiza los métodos de investigación utilizados para poner de manifiesto la problemática de la enseñanza y aprendizaje de la cinética química. Los demás artículos de investigación que se revisan en este trabajo no contienen métodos de toma de datos, ni de alumnos ni de profesores.

Tabla 2. Métodos de investigación

Método		Autores
Revisión de textos y programas de enseñanza		Johnstone et al. (1977) Hameed et al. (1993) Storey (1992)
Profesores:	Encuestas	Johnstone et al. (1977) Banerjee (1991)
	Consultas:	Hameed et al. (1993)
Alumnos:	Test	Johnstone et al. (1977) Wheeler, Kass (1978) Gorodetsky, Gussarsky (1986) Ben-Zvi et al. (1987) Banerjee (1991)
	Asociación de palabras	Boujaoude (1993)
	Revisión de exámenes	Gussarsky, Gorodetsky (1988)
	Resolución de problemas	Kleinman et al. (1987)
	Elaboración de gráficas	Boujaoude (1993)
	Observación en clase	Boujaoude (1993)
	Entrevista a estudiantes	Ben-Zvi et al. (1987) Justi, Gilbert (1999)
		Hackling, Garnett (1985 y 1986)
		Gorodetsky, Gussarsky (1986) Martins, Cachapuz (1990)

Los trabajos realizados con alumnos implican una gran variedad de métodos. Quizá sea la utilización conjunta de los mismos lo que puede aportar una mayor seguridad de que las conclusiones extraídas coinciden con lo que tratan de expresar. Sin embargo, hay que volver a hacer notar que estas publicaciones, en su mayoría, se refieren al tema del equilibrio, no de cinética. Además, se trata de investigaciones para diagnosticar las concepciones de los alumnos, más que para proponer soluciones y evaluar su puesta en práctica en el aula. Las aportaciones de los profesores parecen complementarias, como métodos explicativos de los resultados obtenidos con los alumnos.

## 2. Evolución de los conceptos científicos

Destacamos en primer lugar el trabajo de Justi y Gilbert (1999) sobre la evolución histórica de las diferentes teorías surgidas respecto del concepto de velocidad de reacción, desde antes del siglo XVI. Se toman como fundamento epistemológico los programas de investigación de Lakatos, como fundamento ontológico los modelos, entendidos como representaciones de una idea, objeto, evento... que unen las abstracciones de la teoría con la experiencia del mundo, y un tercer fundamento que viene dado por el contenido. En función de esto, se distinguen los siguientes modelos, propuestos históricamente, que los autores denominan: antropomórfico, de afinidad corpuscular, primer modelo cuantitativo, modelo mecanístico, termodinámico, cinético y del estado de transición.

El anterior estudio nos sitúa en la primera mitad del siglo XX, pero esto no debe hacernos pensar que desde entonces las ideas han estado claras, ni siquiera en lo fundamental. En el campo de la enseñanza, varios autores tuvieron que salir al paso, aún a finales de los años ochenta, para clarificar tanto conceptos como terminología. Se estaban construyendo los significados y la visión sobre la naturaleza y epistemología de la ciencia.

Campbell (1974) reflexiona sobre diversas cuestiones respecto de la diferencia existente entre velocidad de reacción y equilibrio; la importancia de los factores energéticos, en especial de la energía de activación; la teoría de colisiones; los mecanismos de reacción; el funcionamiento de los enzimas o la reversibilidad de las reacciones.

Sobre las superficies de energía potencial, Cruichshank, Hyde y Pugh (1977) no tuvieron éxito al proponer que “extensión de una reacción” significase la composición en un tiempo dado y que “coordenada de reacción” se reservase para la posición relativa de dos moléculas. Fernández *et al.* (1988) proponen el ímprobo trabajo de estudiar teórica y pormenorizadamente las superficies de energía potencial para conocer los caminos de mínima energía o, lo que es lo mismo, los mecanismos de las reacciones.

El concepto clave de energía de activación aún hubo de ser definido por Truhlar (1978); y Pacey (1981) tratará de poner orden distinguiendo la energía de activación de Arrhenius, la energía de activación en el cero absoluto, la entalpía de activación, el umbral de energía y otros. Hansen y Raines (1990) discuten sobre su papel a la hora de determinar la etapa limitante de la velocidad, así como los factores que influyen en ella.

Otros autores se refieren a cálculos (Robinson, 1978), tiempos de vida media (Bauer, 1979) o a la utilización de alguna ecuación (McAlduff, 1980). Laidler (1988) expone los significados de los siguientes términos: reacción elemental, reacción compuesta, estado de transición o complejo activado, especies de transición, intermedio transitorio, intermedio radical-libre e intermedio de alta energía.

Miller y Cory (1971) y Mawby (1988), aclaran la forma de actuar de los catalizadores, que no implica una disminución en la energía de activación. MacDonald (1991) diferenciará la actuación de los inhibidores frente a los catalizadores negativos.

Algunos autores publican los ciclos catalíticos de determinadas reacciones (Groves, 1985; Polichnowski, 1986; Mawby, 1988) y Murdoch (1981) precisa que la etapa lenta de una reacción no es aquella cuyo estado de transición posea la mayor energía, sino que es aquella en la que la diferencia de energía entre el intermedio anterior y el estado de transición siguiente sea mayor.

Mención aparte merecen los enzimas. Sinnott (1979) y Splittgerber (1985) explican varios aspectos sobre su naturaleza y actuación: se trata de proteínas que contienen otros pequeños grupos (coenzimas) y su actividad se debe a su estructura tridimensional; actúan creando un mecanismo alternativo; la unión entre el sustrato y el centro activo del enzima implica enlaces no covalentes; el centro activo no solo captura, sino que orienta al sustrato; la reacción será más rápida cuanto más similares sean las estructuras del complejo enzima-sustrato y del estado de transición... Si se desea conocer cómo fue la aproximación histórica que llevó a estas conclusiones, Hansen y Raines (1990) hacen un pequeño repaso de las teorías de Jenks, Haldene, Pauling y Warshel.

### 3. Concepciones de los alumnos

Revisando los trabajos publicados sobre el equilibrio, aparecen estudios sobre las concepciones alternativas de los alumnos referentes a la cinética química y sobre su posible origen.

#### 3.1. Concepciones alternativas

La revisión bibliográfica nos ha permitido encontrar las siguientes concepciones alternativas en torno a la cinética química y a otros aspectos relacionados:

- Incapacidad para distinguir masa de concentración (Wheeler, Kass; 1978).
- La nomenclatura que se utiliza para representar las reacciones implica un modelo, ruptura y formación de enlaces, dependencia respecto del tiempo, cuantificación del número de partículas... Los alumnos no siempre entienden estos aspectos (Ben-Zvi et al., 1987; Nakhleh, 1992). Para algunos una reacción implica la transformación de unos átomos en otros o el desplazamiento físico de un compartimento a otro.
- Incapacidad para diferenciar velocidad y extensión (Wheeler, Kass, 1978; Banerjee, 1991).

- Creencia de que la reacción transcurre en dos compartimentos separados, para reactivos y productos (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977; Gorodetsky, Gussarsky, 1986). Los diagramas entálpicos refuerzan esta concepción.
- Alcanzado el equilibrio, se considera que las concentraciones pueden experimentar cambios (Wheeler, Kass, 1978); no se entiende que la constante de equilibrio sea función de la temperatura (Hackling, Garnett, 1985) o se relaciona mayor velocidad con mayor constante (Banerjee, 1991).
- En el equilibrio no se considera que exista una reacción directa y otra inversa (Hackling, Garnett, 1985); el desplazamiento del equilibrio se debe a la diferente velocidad en una y otra dirección (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977); modificado el sistema y roto el equilibrio, las velocidades se conservan (Hackling, Garnett, 1985).
- Se considera que la velocidad de una reacción aumenta con el tiempo, confirmándolo con reacciones como la de una cinta de magnesio en ácido diluido. Esta concepción se traslada a un sistema que se acerca al equilibrio (Hackling, Garnett, 1985).
- Se establece relación entre los coeficientes estequiométricos y las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio (Hackling, Garnett, 1985). Se utilizan los coeficientes estequiométricos en la ecuación de velocidad como exponentes o los incluyen en las concentraciones, por ejemplo:  $[2H_2O]$  (Boujaoude, 1993). No consiguen obtener la ecuación de velocidad a partir de datos experimentales (concentraciones y velocidades).
- Una concepción alternativa muy común consiste en aplicar incorrectamente el principio de Le Chatelier (Wheeler, Kass, 1978; Hameed, Hackling, Garnett, 1993). No se percibe que una modificación en una variable determinada, como la temperatura, supone inmediatamente que se alteren las demás, como la presión (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977). Se cree que las velocidades se modifican antes que las perturbaciones del sistema para adecuarse al principio de Le Chatelier (Hackling y Garnett, 1985). En otras ocasiones no se asocia la temperatura con este principio (Gorodetsky, Gussarsky, 1988). Por último, a veces se intenta explicar el efecto de las variables sobre la velocidad de reacción recurriendo al principio de Le Chatelier (Banerjee, 1991).
- En lo tocante a los catalizadores (Johnstone et al. 1977; Gorodetsky, Gussarsky, 1986; Hameed *et al.*, 1993), las concepciones alternativas más frecuentes son:
  - No afectan a la reacción inversa.
  - Disminuyen la velocidad de la reacción inversa.
  - Aumentan la proporción de un producto en el equilibrio.

- Se pueden emplear para dirigir el equilibrio hacia donde queramos..
- Pueden emplearse para conseguir que la reacción transcurra hasta completarse los reactivos.
- Los conceptos relacionados con la energía, son difíciles para los alumnos:
- La mayoría no han asimilado el principio de conservación (Johnstone, MacDonald, Webb, 1977).
- Algunos confunden la energía de activación con la temperatura (Gussarsky, Gorodetsky, 1988).
- Martins y Cachapuz (1990) investigan distintas interpretaciones sobre que la disolución de cloruro amónico en agua conlleve un enfriamiento.

Por el contrario, Storey (1992) revisa los libros de texto y encuentra algunas concepciones alternativas sobre los enzimas, que trata de corregir en su artículo. Por poner algunos ejemplos: las reacciones enzimáticas son equilibrios; los enzimas no alteran el equilibrio, simplemente hacen que se alcance antes; son sustratos del enzima tanto los reactivos como los productos; el mecanismo llave-cerradura implica la modificación de la estructura global del enzima, etc.

### 3.2. Origen de las concepciones alternativas

Johnstone *et al.* (1977) achacan el origen de estas concepciones alternativas a la naturaleza abstracta del tema, a la enseñanza no adecuada y a lo que los alumnos suponen aunque el profesor no lo haya dicho.

Hackling y Garnett (1985) creen que la dificultad se encuentra en la elevada demanda cognitiva de estos conceptos y en que los alumnos suelen acomodar los nuevos conocimientos presentados en la instrucción, a sus concepciones previas. Algunas de éstas tienen origen en los conocimientos que los alumnos adquieren en su vida cotidiana, pero otras son el efecto de enfatizar determinados aspectos en la instrucción previa. Por ejemplo, el que una reacción evolucione hasta completarse.

Herron (1975); Johnstone *et al.* (1977) y Ben-Zvi *et al.* (1987) buscan en la teoría de Piaget la justificación de la dificultad de la cinética química. Muchos conceptos, como la velocidad de reacción, implican relaciones, requieren que los alumnos hayan alcanzado el nivel de las operaciones formales, lo que a menudo no sucede. Wheeler y Kass (1978) van más allá y tratan de determinar qué concepciones alternativas se relacionan con el nivel cognitivo. Encuentran que las confusiones entre masa y concentración y entre velocidad y extensión en el equilibrio, no prevalecen después de la instrucción, mientras que otros errores que se mantienen están más relacionados con el formalismo de los conocimientos químicos.

Ben-Zvi *et al.* (1987) atribuyen un grupo de concepciones alternativas sobre las reacciones químicas, expuestas en el párrafo anterior, al nivel de

abstracción, a la dificultad de los cálculos estequiométricos, a la utilización de variables diferentes en los problemas, a la memoria y a las dificultades del lenguaje. Dichos autores indican que el problema podría estar en que nunca se da una visión de conjunto de las reacciones, y sólo se presentan los aspectos que interesan en un momento dado. La consecuencia es que los alumnos adquieren concepciones alternativas sobre los aspectos no enfatizados.

Kleinman et al. (1987) estudian las imágenes con las que un grupo de universitarios asocian varios conceptos, entre ellos el de velocidad de reacción, relacionándolas con el nivel de abstracción de los mismos.

Boujaoude (1993) estudia, mediante resolución de problemas, diferenciar qué concepciones alternativas de los alumnos se debían a sus conceptos químicos, cuáles a la falta de dominio de las matemáticas o al nivel de su pensamiento formal.

Banerjee (1991) considera que muchas de las ideas alternativas de los alumnos provienen de las de sus profesores. También cree que se deberían hacer experiencias en las que se midiesen las velocidades directa e inversa en el equilibrio o cerca de él.

MacDonald (1991) reflexiona sobre la necesidad de conjugar la plausibilidad con la exactitud en las explicaciones de química, ya que al pretender hacer que un tema sea más comprensible, se cometen, en ocasiones, inexactitudes que a la larga redundan en concepciones alternativas de los alumnos.

Nakhleh (1992) cree que la dificultad de la química radica en la incomprensión de los conceptos fundamentales, que lleva a crear estructuras cognitivas deficientes en las que no encuentran acomodo las nuevas proposiciones. A veces se toman los términos científicos con su significado cotidiano, que no siempre coincide.

## 4. Propuestas didácticas

Hemos encontrado en la bibliografía revidada distintas propuestas para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la cinética química, que hemos categorizado como: innovaciones metodológicas, uso de modelos y analogías, resolución de problemas, realización de experiencias y uso de recursos informáticos.

### 4.1. Innovaciones metodológicas

La lucha contra las concepciones alternativas se ha plasmado en multitud de ideas recogidas en los artículos científicos del área. Johnstone, MacDonald, Webb (1977) estudian la secuencia de enseñanza vigente en Escocia en esa época y proponen esperar al estadio de las operaciones formales para explicar



el tema; ser conscientes de lo que los alumnos interpretan; explicar cualitativamente el equilibrio para no tener que aplicar el principio de Le Chatelier de forma mecánica y enfatizar que el equilibrio es una realidad dinámica por más que se hable de una constante de equilibrio.

Hackling y Garnett (1985) proponen seguir un procedimiento que implique refutar las tenaces preconcepciones de los estudiantes; proporcionar una enseñanza cuantitativa del equilibrio con anterioridad al principio de Le Chatelier (que debe posponerse) y enfatizar las velocidades de reacción en el equilibrio. Para conseguir que los estudiantes hagan significativa la variación de las concentraciones y velocidades con el tiempo, proponen la utilización de gráficos, preferentemente si son construidos por los propios alumnos. Su secuencia de enseñanza partiría de las nociones de reacción reversible y velocidad; pasaría luego al equilibrio, a los factores que lo modifican y cómo influyen estos en las velocidades. Una última fase se ocuparía de las aplicaciones industriales.

Banerjee (1991) es de la opinión de que no se deberían enfatizar las velocidades de reacción para no crear concepciones alternativas, y que, por lo tanto, el equilibrio no debería explicarse en función de la cinética sino de la termodinámica.

García-Verdugo (1999) revisa el lugar que ocupa la cinética en el currículum oficial español y prefiere para ella una propuesta exclusivamente cualitativa en la enseñanza obligatoria, posponiendo para el bachillerato los aspectos cuantitativos.

Un grupo de investigadores buscan hacer significativos los conceptos cinéticos, a los alumnos, mediante aplicaciones prácticas. Batson y Laswick (1979) escriben sobre el mecanismo de una reacción utilizada en el tratamiento de úlceras de estómago; Hackling y Garnett (1985 y 1986) proponen que el estudio del equilibrio químico (que incluye la cinética) deberá terminar con las aplicaciones industriales; Treptow y Jean (1998) discuten cada una de las reacciones que tienen lugar en un alto horno desde los puntos de vista termodinámico y cinético.

Batt (1980) propone un ciclo de aprendizaje piagetiano para introducir la cinética química aplicando el método de Monte Carlo. El ciclo consta de las siguientes fases: exploración para conocer el método; invención para llegar a formular una ecuación y descubrimiento (se introduce la terminología cinética).

Zielinski (1995) propone la aplicación del programa Mathcad en el aprendizaje de la cinética, con el objetivo de forzar a los alumnos a que den significado químico a los datos matemáticos. Se propone el trabajo en parejas para posibilitar las discusiones.

## 4.2. Uso de modelos y de analogías

En relación con el nivel de abstracción de los conceptos de cinética química, muchos autores, sin formular propuestas acabadas, dan orientaciones para que se tenga en cuenta el nivel de desarrollo de los alumnos. Para Herron (1975), lo que un alumno puede hacer en el campo de la cinética química sin haber alcanzado el nivel formal, es aplicar reglas para predecir cambios en la velocidad a partir de modificaciones en la temperatura y la concentración. Si bien no alcanza a explicarlo en función de la teoría de colisiones. Este autor recomienda adaptar los contenidos a los alumnos y estimularles para evolucionar al nivel formal. Propone como estrategia la utilización de modelos para representar el concepto abstracto y la simulación de los mismos mediante vídeos en los que se representen los átomos mediante esferas. Wheeler y Kass (1978) proponen enfatizar situaciones concretas en el laboratorio. Así pues, se establece un objetivo didáctico: aproximar lo abstracto mediante una representación concreta.

Otros autores recurren al uso de analogías, por ejemplo Licata (1988) confía en la bondad de esta propuesta ya que favorece la significatividad y la memorización, pero señala que deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones para que tenga éxito:

- Hay que establecer muy bien los dos campos que se relacionan y su conexión.
- Debe dejarse a los alumnos construir sus propias analogías.
- La bondad de las analogías puede ser discutida en clase.

El autor propone, respecto a la energía de activación, el ejemplo de un ladrón que ha de entrar en una casa por la segunda planta.

Hauptmann y Menger (1978), describen una máquina que consta de dos urnas, una al lado de la otra, aunque a distinto nivel, conectadas por una abertura en la parte superior de la pared que tienen en común. Una corriente de aire agita unas esferas en el interior. La intensidad de la corriente de aire representa la temperatura.

Tyas y Cabot (1999) proponen un juego para niños de 10-11 años, que consiste en que ellos mismos representen los átomos sobre un diagrama de incremento de energía trazado en el suelo.

Algunos autores reflexionan sobre las analogías más adecuadas y su utilidad (Martins y Cachapuz, 1990). Murdoch (1981) trata de explicar la etapa limitante de una reacción recurriendo a una serie de embudos consecutivos con diferentes anchos de cuello, o a un torrente. Arzi (1985) compara el proceso de aprendizaje con la cinética de una reacción a largo plazo. Filho y Mosher (1988) proponen conectar dos balones mediante un capilar y observar como, al calentar un balón, el etanol que contiene asciende por el capilar hasta un máximo y desciende hacia el otro balón.

Finalmente, hay un grupo de autores que comparan la cinética química con otros campos que poco tienen que ver con ella, al menos aparentemente: el índice de inflación, la devaluación de los coches (Pogliani, Berberan-Santos, 1996) o el aumento demográfico (Holmes, 1998).

### **4.3. Resolución de problemas**

Hay una serie de propuestas didácticas sobre problemas. Para algunos autores deberían tener un peso mayor que el de simples complementos de la teoría o métodos de evaluación (Selvaratnam, 1974). Ya se ha mencionado el estudio de Boujaoude (1993). Gilbert (1980) cuando explica que lo más importante a la hora de resolver un problema es entenderlo bien, pone un ejemplo de cinética. Amyotte (1991) describe los problemas "open-ended", que tienen diferentes soluciones posibles y válidas. Savage, Blaine (1991) recogen una serie de problemas con aplicaciones prácticas en nuevas tecnologías.

### **4.4. Realización de prácticas de laboratorio**

Las propuestas sobre prácticas de laboratorio son tan numerosas que han de ser recogidas de forma esquemática en una tabla. En casi todos los casos consisten en medir datos de concentraciones frente a tiempo para determinar la ecuación de velocidad. Repitiendo el experimento a diferentes temperaturas, el cálculo de la constante para cada una de ellas hace posible obtener la energía de activación y el factor de frecuencia.

El grupo de prácticas que proponen métodos técnicos sofisticados quizá posean el mayor interés científico, pero en el contexto de enseñanza secundaria pensamos que no son aplicables por cuanto que por un lado sólo están al alcance de los centros universitarios y por otro los alumnos no poseen los conocimientos necesarios sobre sus fundamentos, lo que implica su utilización de forma no significativa. Pueden provocar la admiración de quien los utiliza por vez primera o aportar datos sobre cinética, pero sin que se entienda el origen científico de esos datos.

Sin embargo, el apartado de aplicaciones prácticas sí puede resultar interesante por cuanto que se mide la cinética de procesos tan llamativos para los alumnos como el revelado fotográfico.

Por último, hay que señalar que la aplicación de la cinética a procesos biológicos no se debe encuadrar dentro de la cinética química. Lo único en común es que consisten en procesos que obedecen a leyes similares a las de la cinética, y que por lo tanto se tratan matemáticamente de la misma forma, aunque su naturaleza conceptual sea diferente.

Tabla 3. Propuestas de realización de prácticas de laboratorio

Prácticas de laboratorio	Autores
Adición de tiosulfato a la reacción entre el yoduro y el persulfato para que pueda ser tratada como de pseudoprimer orden y se faciliten los cálculos.	Shurvell, 1966
Una reacción fotoquímica de dimerización.	Kozubek et al., 1982
Combustión de unas mechas de algodón empapadas en nitrato de plomo. Catálisis.	Carrascal et al., 1988
Método para medir el gas desprendido sin jeringas.	Parkash, Kumar, 1999
Medición de la energía de activación sin tener que repetir el experimento a diferentes temperaturas. et al., 1984	Chan, Tse, 1984 Salvador
Mediciones espectrofotométricas de absorbancia para conocer las concentraciones.	Corsaro, 1964 Miller, Cory, 1971 Barile, Michiels, 1983 Cortés-Figueroa, Moore, 1999 Adams, Meyers, 1985
Utilización de resonancia magnética nuclear (RMN).	Glover et al., 1978 Delmas et al., 1982 Kaufman et al., 1982 Hairfield et al., 1985
Cromatográficamente se separan los compuestos que serán analizados mediante otra técnica.	Glover et al., 1978 Delmas et al., 1982 Barile, Michiels, 1983 Chan, Tse, 1984
Análisis térmico diferencial (DTA) para comprobar la influencia de la temperatura.	Wiederholt, 1983
Titrición potenciométrica. Siguen la reacción a través de medidas de conductividad.	Barile, Michiels, 1983 Chan, Tse, 1984 Horst, Dowden, 1986 Alburquerque et al., 1992
Un reactor de flujo sigue un programa de temperaturas durante la reacción.	Chan, Tse, 1984
CBL: Se trata de un sistema que toma datos y da tablas o gráficos en ordenadores o calculadoras gráficas, que procesan estos datos. Puede medir fuerza, temperatura, intensidad de luz, pH, presión, ritmo cardíaco, magnetismo...	Cortés-Figueroa, Moore, 1999
Se estudia la influencia del efecto salino en la velocidad de reacción.	Corsaro, 1964 Delmas et al., 1982 Alburquerque et al., 1992

Estudio de la influencia de la luz sobre la velocidad de reacción.	Albuquerque et al., 1992
Se pretende averiguar el mecanismo de reacción.	Delmas et al., 1982 Barile, Michiels, 1983 Adams, Meyers, 1985 Hairfield et al., 1985 Snehalatha et al., 1997
Catalizadores	Freeman, 1984 War et al., 1978 Lombardo, 1982 Delmas et al., 1982
Enzimas	Miller, Croy, 1971 Adams, Meyers, 1985 Clariana, 1991
Aplicación práctica: -Revelado fotográfico -Barras luminiscentes	Byrd, Perona, 1982 Bindel, 1996
Aplicación de las ecuaciones de la cinética en procesos biológicos: -Germinación isotérmica de semillas -Crecimiento de un alga	Hageseth, 1982 Martínez Sancho et al., 1991

#### 4.5. Uso de recursos informáticos

Finalmente, un último grupo de propuestas didácticas es el constituido por las que implican la utilización de recursos informáticos. Unas veces se emplean para facilitar los cálculos y otras para simular la cinética de las reacciones. Hameed, Hackling y Garnett (1993) señalan, entre las ventajas de utilizar soporte informático en el aula, las de permitir una instrucción individualizada, en la que cada alumno sigue su propio ritmo y capacidad para simular muchos fenómenos, haciendo accesible a los alumnos el inobservable comportamiento molecular.

Zielinski (1995) pretende mediante la informática que los alumnos sean más autodidactas. Diseña una estrategia en cinco fases, la pone en práctica y la evalúa. En el campo de la cinética química busca, por ejemplo, que los alumnos aprendan las ecuaciones de una cinética de primer orden, den significado gráfico a las constantes de velocidad, identifiquen la etapa determinante de la velocidad o comprendan en qué casos se puede hacer la aproximación del estado estacionario. Los ejemplos vienen recogidos en la siguiente tabla.

Tabla 4. Propuestas de recursos informáticos

Recursos informáticos	Autores
Programas diseñados especialmente:	
-Método de Monte Carlo	Batt, 1980
-Germinación de semillas	Hageseth, 1982
-Superficie de energía potencial	Moss, Coady, 1983
-Cálculos, gráficas	Touville, Venugopalan, 1986
-Integración de ecuaciones y cálculos	Cheisk, 1988
-Secuencia de enseñanza	Hameed et al., 1993
-Aplicación del programa Mathcad	Zielinski, 1995
-Aplicación del bloque informático PSL	Bindel, 1996
Hojas de cálculo:	
-Se simulan reacciones, se obtienen datos de concentración frente a tiempo y se comparan con los datos experimentales.	Swain, 1997
- Se introducen las reacciones que rigen una cinética y se simula el mecanismo.	Bruist, 1998
<i>Interfaces:</i>	
-El ordenador procesa directamente los datos que le llegan del montaje del experimento.	Horst, Dowden, 1986

## Conclusiones

El establecimiento del acuerdo sobre los conceptos y terminología que forman parte de la ciencia escolar, por lo que a cinética química se refiere, ha sido un proceso lento que ha llegado hasta finales de los años ochenta.

Para conocer las concepciones alternativas que los alumnos poseen respecto de este tema, dado que la investigación realizada al respecto es muy escasa, resulta necesario recurrir a los artículos que tratan el equilibrio químico, y entresacar de ellos las alusiones a la cinética.

Algunos autores van más allá de la simple descripción de estas concepciones alternativas y se preguntan por su origen.

A parte de las innovaciones de los libros de texto, las investigaciones publicadas en revistas científicas en el campo de la enseñanza de la cinética química no suelen tratar la problemática del aprendizaje. Suelen consistir en propuestas de analogías, prácticas, problemas, métodos informáticos... Muy pocos autores proponen secuencias de aprendizaje.

Pocas veces reflejan estudios realizados con alumnos y, cuando sí lo hacen, el tema de la cinética suele aparecer de pasada en artículos centrados en el equilibrio químico.

Por todo lo anterior, pensamos que la investigación sobre la problemática del aprendizaje de la cinética química está por hacer. Se trataría de una

investigación que debería trabajar en dos frentes, siempre teniendo en cuenta el nivel de los alumnos: la descripción de la problemática, a partir del testimonio de los alumnos, independientemente del método empleado para obtenerla, y el diseño de unidades didácticas fundamentadas científicamente y didácticamente, y su evaluación mediante la intervención controlada en el aula.

## Bibliografía

- Adams, K.R. y Meyers, M.B. (1985). Activation energies for an enzyme-catalyzed and acid-catalyzed hydrolysis. An introductory interdisciplinary experiment for chemists and biochemists. *Journal of chemical Education*, 62 (1), 86-88.
- Albuquerque, L.M.P.C.; Simoes, A.M.N. y Gonçalves (1992). Estudio de los efectos cinéticos en las constantes de velocidad. *Enseñanza de las ciencias*, 10 (1), 120-121.
- Amyotte, P.R. (1991). Development and use of open-ended problems. *Chemical Engineering Education*, 25 (3), 158-163.
- Arnay, J. (1997). Reflexiones para un debate sobre la construcción del conocimiento en la escuela: hacia una cultura científica escolar. En Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.
- Arzi, H. (1985). The long-term kinetics of conceptual development: The case of + = - and contextual differentiation. *Research in Science Education*, 15, 112-121.
- Banerjee, A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13 (4), 487-494.
- Barile, R.C. y Michiels, L.P. (1983). An activation energy experiment for a second-order reaction in a single laboratory period. *Journal of chemical Education*, 60 (2), 154.
- Batson, W.B. y Laswick, P.H. (1979). Pepsin and antacid therapy: A dilemma. *Journal of Chemical Education*, 56 (7), 484-486.
- Batt, R.H. (1980). A Piagetian learning cycle for introductory chemical kinetics. *Journal of Chemical Education*, 57 (9), 634-635.
- Bauer, S.H. (1979). Molecular versus system relaxation times. A careful definition leads to a clear distinction. *Journal of Chemical Education*, 56 (6), 382-383.
- 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.
- Bruist, M.F. (1998). Use of a spreadsheet to simulate enzyme kinetics. *Journal of Chemical Education*, 75 (3), 372-375.
- 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.
- Carrascal, I.; García, M.C. y Gonzalo, P. (1988). Estudio cinético de una reacción de combustión. *Enseñanza de las ciencias*, 6 (3), 314-315.
- Chan, K-H.C. y Tse, R.S. (1984). Determination of the Arrhenius activation energy using a temperature-programmed flow reactor. *Journal of chemical Education*, 61 (5), 547-549.
- Chesick, J.P. (1988). Interactive program system for integration of reaction rate equations. *Journal of chemical Education*, 65 (7), 599-602.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: Le Pensée sauvage.
- Clariana, R.B. (1991). pH & rate of enzymatic reactions. *The American Biology Teacher*, 53 (6), 349-350.
- Corsaro, G. (1964). A colorimetric chemical kinetics experiment. *Journal of Chemical Education*, 41 (1), 48-50.
- Corsaro, G. (1977). Salt and solvent effects on reaction mechanism. *Journal of Chemical Education*, 54 (8), 483-484.
- Cortés-Figueroa, J.E. y Moore, D.A. (1999). Using CBL technology and a graphing calculator to teach the kinetics of consecutive first-order reactions. *Journal of Chemical Education*, 76 (5), 635-638.
- Cruickshank, F.R.; Hyde, A.J. y Pugh, D. (1977). Free energy surfaces and transition state theory. *Journal of Chemical Education*, 54 (5), 288-291.
- Delmas, M.; Kalck, P.; Gorrichon, J-P. y Gaset, A. (1982). An easy student synthesis of a substituted 1,3-dioxane by use of an ion-exchange resin as catalyst. *Journal of chemical Education*, 59 (8), 700-701.
- Domínguez, J.M.; Álvarez, V. (2001). La formación inicial del profesorado de Física y Química, de Educación Secundaria, en la Universidad de Santiago de Compostela. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 81-96.
- Fernández, G.M.; Sordo, J.A. y Sordo, T.L. (1988). Analysis of potential energy surfaces. *Journal of chemical Education*, 65 (8), 665-667.
- Finley, F.N.; Stewart, J. y Yaroch, W.L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66 (4), 531-538.
- Freeman, J.H. (1984). The chemistry of printed circuit substrates: Some of the latest developments. *Journal of chemical Education*, 61 (11), 993-994.



- 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.
- Glover, I.T.; Cushing, G.W. y Windsor, C.M. (1978). Amine-catalyzed isomerization of diethylmaleate to diethylfumarate. *Journal of Chemical Education*, 55 (2), 812-813.
- 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.
- Groves, J.T. (1985). Key elements of the chemistry of cytochrome P-450. The oxygen rebound mechanism. *Journal of Chemical Education*, 62 (11), 928-931.
- 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. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7 (2), 205-214.
- Hackling, M.W. y Garnett, P.J. (1986). Chemical equilibrium: Learning difficulties and teaching strategies. *Australian Science Teachers Journal*, 31 (4), 8-13.
- Hageseth, G.T. (1982). Determination of kinetic and thermodynamic parameters that describe isothermal seed germination. A student research project. *American Journal of Physics*, 50 (2), 133-136.
- Hairfield, E.M.; Moomaw, E.W.; Tamburri, R.A. y Vigil, R.A. (1985). The epoxidation of 2,5-di-tert-butyl-1,4-benzoquinone. A consecutive reaction for the physical chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 62 (2), 175-177.
- 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.
- Hansen, D.E. y Trainor, R.T. (1990). Binding energy and enzymatic catalysis. *Journal of Chemical Education*, 67 (6), 483-488.
- 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.
- L.H. Holmes, J.R. (1998). Limiting reagent and kinetics: Social implications and Malthus' prediction. *Journal of Chemical Education*, 75 (8), 1004-1005.
- Horst, K.E. y Dowden, E. (1986). Collect chem data by computer. *The Science Teacher*, 53 (8), 38-40.

- Hozubeck, H.; Marciniak, B. y Paszyc, S. (1982). The photochemical synthesis, kinetics and reactions of nitrosomethane dimer. A physical-organic experiment. *Journal of Chemical Education*, 59 (10), 889-891.
- Jiménez, M<sup>a</sup>.P.; Sanmartí, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar?: Objetivos y Contenidos en la Educación Secundaria. En Del Carmen, L. (coord.). *La Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza en la Educación Secundaria*. Barcelona: ICE/HORSORI.
- 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). A cause of a ahistorical science teaching: Use of hybrid models. *Science Education*, 83 (2), 163-177.
- Justi, R. y Gilbert, J. (1999). History and philosophy of science through models: The case of chemical kinetics. *Science and Education*, 8, 287-307.
- Kaufman, D.; Sterner, C.; Masek, B.; Svenningsen, R. y Samuelson, G. (1982). An NMR kinetics experiment. *Journal of chemical Education*, 59 (10), 885-886.
- Kleinman, R.W.; Griffin, H.C. y Kerner, N.K. (1987). Images in Chemistry. *Journal of chemical Education*, 64 (9), 766-770.
- 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.
- Lombardo, A. (1982). Kinetics of imidazole catalyzed ester hydrolysis. Use of buffer dilutions to determine spontaneous rate, catalyzed rate and reaction order. *Journal of chemical Education*, 59 (10), 887-888.
- MacDonald, J.J. (1991). Plausibility: Is there a place for it in chemistry teaching? *School Science Review*, 72 (261), 69-75.
- Martínez Sancho; Bravo Rodríguez; Sánchez Villasclaras y Molina Grima (1991). Determining the kinetic parameters characteristic of microalgal growth. *Chemical Engineering Education*, 25 (3), 145-149.
- Martins, I.P. y Cachapuz, A.F. (1990). How do pupils perceive the concept of energy in chemical situations? *School Science Review*, 71 (257), 83-85.
- Mawby, R. (1988). Homogeneous catalysis by transition metal compounds. *School Science Review*, 70 (251), 61-68.
- McAlduff, E.J. (1980). An introduction to collision theory rate constants via distribution functions. *Journal of Chemical Education*, 57 (9), 627-628.
- Miller, J.F. y Cory, J.G. (1971). Activation energies for a base-catalyzed and enzyme-catalyzed reaction. *Journal of Chemical Education*, 48 (7), 457.
- Moss, S.J. y Coady, C.J. (1983). *Journal of chemical Education*, 60 (6), 455-461.
- Murdoch, J.R. (1981). What is the rate-limiting step of a multistep reaction? *Journal of Chemical Education*, 58 (1), 32-36.

- Nakhleh, B.M. (1992). Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of chemical Education*, 69 (3), 191-196.
- Neira, N.; Alvarez, C. y Pazos, M. (1992). Velocidade da desaparición da escuma da cervexa. *Boletín das Ciencias*, 13, 186.
- Pacey, P.D. (1981). Changing conceptions of activation energy. *Journal of Chemical Education*, 58 (8), 612-614.
- Parkash, B. y Kumar, A. (1999). Chemical kinetics illustrated by an improvised experiment. *School Science Review*, 80 (292), 114-117.
- Pogliani, L. y Berberan-Santos, M.N. (1996). Inflation rates, car devaluation, and chemical kinetics. *Journal of chemical Education*, 73 (10), 950-952.
- Polichnowski, S.W. (1986). Transition-metal-catalyzed carbonilation of methyl acetate. *Journal of chemical Education*, 63 (3), 206-209.
- Robinson, P.J. (1978). Dimensions and standard states in the activated complex theory of reaction rates. *Journal of Chemical Education*, 55 (8), 509-510.
- Rocha-Filho, R.C. y Mosher, M. (1988). A simple demonstration of the activation energy concept. *Journal of chemical Education*, 65 (2), 157.
- Salvador, F.; González, J.L. y Tel, L.M. (1984). Non-isothermic chemical kinetics in the undergraduate laboratory. Arrhenius parameters from experiments with hyperbolic temperature variation. *Journal of chemical Education*, 61 (10), 921-922.
- Savage, P.E. y Blaine, S. (1991). Chemical reaction engineering applications in non-traditional technologies. *Chemical Engineering Education*, 25 (3), 150-153.
- Selvaratnam, Dr.M. (1974). Use of problems in chemistry courses. *Education in Chemistry*, 11 (6), 201-205.
- Shurvell, H.F. (1966). The activation energy of an ionic reaction. A physical chemistry experiment. *Journal of Chemical Education*, 43 (10), 555-556.
- Sinnott, Dr.M.L. (1979). Understanding enzymes. *Education in Chemistry*, 16 (1), 6-9.
- Snehalatha, T.; Rajanna, K.C. y Saiprakash, P.K. (1997). Methylene blue – ascorbic acid. An undergraduate experiment in kinetics. *Journal of chemical Education*, 74 (2), 228-233.
- Splitzgerber, A.G. (1985). The catalytic function of enzymes. *Journal of chemical Education*, 62 (11), 1008-1012.
- Storey, R.D. (1992). Textbook errors & misconceptions in biology: Cell physiology. *The American Biology Teacher*, 54 (4), 200-203.
- Swain, P.A. (1997). The iodine-clock reaction – a spread sheet simulation to test. *School Science Review*, 79 (287), 81-85.
- Touville, M. y Venugopalan, M. (1986). Using microcomputers in the physical chemistry laboratory: Activation energy experiment. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 50-51.

- 
- Treptow, R.S. y Jean, L. (1998). The iron blast furnace. a study in chemical thermodynamics. *Journal of chemical Education*, 75 (1), 43-47.
- Truhlar, D.G. (1978). Interpretation of the activation energy. *Journal of Chemical Education*, 55(5), 309-311.
- 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.
- War, S.; Zeya, M. y Wynn, N. (1978). Chem ed compacts. Compact compacts. *Journal of Chemical Education*, 55 (12), 794-795.
- Wheeler, A.E. y Kass H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science education*, 62 (2), 223-232.
- Wiederholt, E. (1983). Influence of temperature and catalyst on the decomposition of potassium chlorate in a simple DTA-apparatus. *Journal of chemical Education*, 60 (5), 431-434.
- XUGA (1993). Decreto 78/1993, de 25 de febrero, por el que se establece el currículum de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma de Galicia. DOG 63, de 2 de abril.
- Zielinski, T.J. (1995). Promoting higher-order thinking skills. Uses of Mathcad and classical chemical kinetics to foster student development. *Journal of chemical Education*, 72 (7), 631-638.