

Analogías en la enseñanza del equilibrio químico

Andrés Raviolo¹ y Andoni Garritz²

Parece que no existe tópico en la química introductoria universitaria que presente más dificultades a los estudiantes que el del equilibrio químico.

Después de tratar durante más de 30 años de dar respuestas claras a sus preguntas he llegado a lograr gran simpatía con ellos, dándome cuenta de que el tema es inherentemente uno difícil. (Hildebrand, 1946, p. 589).

Los últimos veinte años han visto un creciente interés en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia usando modelos y las explicaciones químicas a menudo utilizan modelos analógicos que aceptan científicos, maestros o autores de textos. (Harrison y De Jong, 2005, p. 1135)

Abstract

The results of a comprehensive bibliographic research on analogies proposed to teach chemical equilibrium are presented. The authors pretend to contribute with that to teachers and students. A lot of the analogies that have been published are unknown to teachers because they have appeared with great dispersion of time and inside international journals. These analogies were classified in five groups and the aspects that present the phenomenon, the possible learning difficulties and the alternative conceptions that may promote are stood out. A few of the analogies are explained in detail. Furthermore, the use of them in the classroom and by scientists, their presentation in textbooks and the analogies created by students are aspects also examined.

Introducción

En química, así como en todas las ciencias y en la vida diaria, se emplean analogías, metáforas o modelos para ayudar a explicar un fenómeno que no es observable. Sin embargo, nos dicen Treagust, Duit y Nieswandt (2000) que la literatura sobre la utilización de analogías en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia es ambivalente acerca de la validez o

invalidez de la presentación de analogías sencillas o múltiples como la mejor manera de enseñar (Goswami, 1993; Zook, 1991). La visión de que la posesión de múltiples analogías es propia de los expertos fue defendida por Grosslight, Unger, Jay y Smith (1991), pero Garnett y Treagust (1992) mostraron que algunos estudiantes prefieren que no se les presente más de una analogía en una sola ocasión. Hoy día parece haber un consenso en lo apropiado que resulta la exposición ante los alumnos de un conjunto múltiple de analogías, incluso ya se ha dado una validación de este hecho mediante entrevistas con los estudiantes (Harrison y De Jong, 2005).

La naturaleza abstracta del concepto equilibrio químico es resaltada por muchos autores que estudiaron las dificultades en su aprendizaje. Entre ellos Johnstone, Macdonald y Webb (1977) mencionan que los aspectos más abstractos de este tema son: su naturaleza dinámica, distinguir entre situaciones de no equilibrio y situaciones de equilibrio, la manipulación mental del principio de Le Chatelier y tratar con consideraciones sobre la energía. Por ello, las analogías han sido muy utilizadas como apoyo a la enseñanza del equilibrio químico (Van Driel y Gräber, 2002).

El razonamiento analógico es una actividad de comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento. Las analogías comprenden: (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base, fuente) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender y (c) un conjunto de relaciones que se establecen entre (a) y (b) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos. Además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía. Harrison y De Jong (2005, p. 1136) nos indican que "el análogo (o fuente) se refiere a estructuras o procesos en un ente cotidiano que se mapea sobre estructuras o procesos del concepto científico objetivo. Los análogos son representaciones *simplificadas o exageradas* del objetivo que ponen atención sobre las similitudes análogo-objetivo de manera que se estimule la indagación científica". Como se verá para el equilibrio químico, el análogo puede existir

¹ Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina.

Correo electrónico: araviolo@bariloche.com.ar

² Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: andoni@servidor.unam.mx

en la mente de la persona o ser presentado con esa intención por otros, por ejemplo a través de: un juego, un experimento, una historia, un modelo, un dispositivo, etcétera.

Aunque las analogías contribuyen a la enseñanza ayudando a la visualización de conceptos abstractos y aportando elementos motivacionales a las clases, pueden presentar su lado negativo como pueden ser la generación de comprensiones erróneas: (1) la analogía en sí misma es asumida como el objeto de estudio, (2) la atribución incorrecta de atributos del análogo al objetivo, (3) la sola retención de aspectos superficiales o pintorescos, o (4) la no abstracción de las correspondencias entre los dominios.

En 1933 Lewis presenta una discusión de las analogías utilizadas en sus clases, para los temas estructura de la materia, catálisis, equilibrio químico y producto de solubilidad, y afirma: "...se deberían usar analogías porque: muchos estudiantes, en cursos introductorios, no están apropiadamente preparados para una presentación convencional de la temática, y dado que la química es una ciencia en crecimiento, es aconsejable el uso de analogías hasta que una presentación matemática más rigurosa pueda ser absorbida por los estudiantes" (p. 627).

Recientemente, Piquette y Heikkinnen (2005) hablan de las analogías como una de las cuatro estrategias instruccionales comúnmente utilizadas para intentar incorporar las condiciones necesarias para el cambio conceptual: "los grupos cooperativos, los textos de refutación, las analogías y los modelos paso a paso, como el ciclo del aprendizaje". Estos autores encuentran en buena parte de sus 52 académicos entrevistados la idea de que las analogías pueden enfocarse sobre las cuatro premisas del cambio conceptual de Posner *et al.* (1982): insatisfacción, inteligibilidad, plausibilidad y provecho, por lo cual Piquette y Heikkinnen indican que "el uso de analogías debería considerarse como una aproximación valiosa". Fue el único remedio basado en la literatura que fue identificado como útil por los profesores participantes en su investigación.

El objetivo de este trabajo es presentar una revisión bastante exhaustiva de las analogías propuestas para presentar el equilibrio químico y discutir aspectos que hacen a su aprendizaje y enseñanza.

Analogías propuestas para el equilibrio químico

Las analogías han sido muy utilizadas como apoyo a la enseñanza del equilibrio químico, y hasta el día de hoy, se siguen presentando en revistas de la

especialidad propuestas de analogías con una gran diversidad de formatos, como por ejemplo la actualización de la analogía del juego con monedas que se mueven de una pila a la otra (Bartholow, 2006). Se encuentran ejemplos precursores, como la analogía hidráulica, sugerida por Rakestraw en 1926 o la de Karns en 1927.

En esta revisión de las analogías sugeridas para la enseñanza del equilibrio químico, se incluyen analogías propuestas en: (a) revistas (especialmente las aparecidas en el *Journal of Chemical Education*), (b) los proyectos Nuffield (1967), CBA (1964) y Chem Study (1963) y (c) también en algunos libros de texto, el más reciente es ACS (2005).

Una clasificación de estas analogías se muestra en la tabla: 1) donde están incorporados los aspectos del equilibrio químico que cubre la analogía, las posibles dificultades o concepciones alternativas que promueve y las citas bibliográficas más representativas. Esta tabla estuvo inspirada, inicialmente, en la confeccionada por Pereira (1990).

Las analogías se clasificaron en cinco categorías:

- (1) análogos familiares,
- (2) juegos,
- (3) experimentos,
- (4) flujo o transferencia de fluidos y
- (5) máquinas.

Un antecedente de clasificación de analogías para el equilibrio químico y cinética química se encuentra en Wood (1975). Este autor clasifica a los "modelos para la instrucción" en: hidrodinámicos, movimiento de esferas, verbales y matemáticos, computacional analógico, computacional digital y Monte Carlo. Los tres primeros coinciden con las categorías 4, 5 y 1, de la clasificación que se utiliza aquí.

Entre los aspectos del equilibrio químico ilustrados por las analogías se destacan en la tabla 1 los siguientes:

- aspecto dinámico,
- igualdad de velocidades en el equilibrio,
- reversibilidad,
- deducción de una constante,
- alteración del equilibrio (y/o aplicación del principio de Le Chatelier) y
- catalizador en un sistema en equilibrio.

A su vez, entre las confusiones y concepciones alternativas que pueden transmitir las analogías sobre el equilibrio químico se resaltaron:

- a. la compartimentación del equilibrio: los reactivos se encuentran en un recipiente distinto a los productos, los reactivos generalmente a la iz-

Tabla 1. Principales analogías utilizadas en la enseñanza del equilibrio químico.

	Analogías	Aspectos	Dificultades	Referencias
		aspecto dinámico veloc. iguales equilibrio reversibilidad deducción de constante alteración del equilibrio catalizador y equilibrio	visión compartimentada confusión nivel micro confusiones en cinética [productos] = [reactivos] sistema no cerrado cantidad-concentración humanización	
Análogos familiares	1. Parejas de baile	√ √ √ - √ √	- - - - - √	Caldwell (1932), Hildebrandt (1946), Olney (1988)
	2. Parejas de baile	√ - √ √ √ -	- - - - - √	Battino (1975), Baisley (1978)
	3. Pelotas de golf en una furgoneta	√ √ √ - - -	√ √ √ √ - - -	Chem Study (1963)
	4. Dos grupos lanzándose pelotas/ manzanas	√ √ √ - - -	√ √ √ - - - -	Hambly (1975), Dickerson y Geis (1981)
	5. Persona corriendo en una cinta	√ √ √ - √ -	- √ √ - - - -	Mickey (1980)
	6. Escalera mecánica/nadar contra corriente	- √ - √ - √	√ √ √ - - - -	Hill y Holman (1978), Chem Study (1963)
	7. Peces entre dos acuarios	√ √ √ - - -	√ - √ √ - - √	Chem Study (1963), Olney (1988)
	8. Peces entre dos acuarios	√ √ √ - √ √	√ - √ - - - √	Russell (1988)
	9. Abejas en colmena	√ √ √ - - -	- √ √ - √ - √	Olney (1988)
	10. Dos operarios con palas	√ √ √ - - -	√ √ √ √ - √ -	Riley (1984)
	11. Pintor y despintor	√ √ √ - - -	√ √ √ - - √ -	Garritz (1997)
	12. Malabarista	√ √ √ - - -	- √ √ - - - -	Umland y Bellana (2000)
	13. Personas (ciudades, centro deportivo, etc.)	√ - √ - - -	√ √ √ √ √ - -	Lewis (1933), Licata (1988), Thiele (1990), Chang (1999)
Juegos	14. Bloques de madera	- - √ √ √ -	√ √ √ - - √ -	Slabaugh (1949)
	15. Fichas de papel	√ √ √ - - -	√ - √ - - - -	Lees (1987)
	16. Esferas	√ √ √ √ √ -	- - √ - - - -	Cullen (1989)
	17. Clips	√ √ √ - √ -	- - √ - - - -	Desser (1996)
	18. Frijoles, judías	√ √ √ - √ -	- - - - √ √ -	Dickinson y Erhardt (1991)
	19. Cartas, fósforos, cubos, monedas	√ √ √ √ √ -	√ - - √ - - -	Marzacco (1993), Huddle y Ncube (1994), Ncube y Huddle (1994), Wilson (1998), Quílez y otros (2003), Edmonson y Lewis (1999), Huddle y otros (2000), Harrison y Buckley (2000), Hanson (2003), Bartholow (2006)
Experimentos	Experimentos de cambios físicos		√ - - - - √ -	Nuffield (1967), Thiele (1990), Caruso y otros (1997)
	20. Cambio de fase	√ √ √ - - -		
	21. Solubilidad	- - √ - - -	√ - √ - - - -	Chem Study (1963), CBA (1964), Lees (1987)
	22. Tira de goma (elástico)	- - √ - √ -	- √ √ - - - -	Balckwill (1976), Smith (1977)
Flujo	Transferencia de líquido entre recipientes			Sorum (1948), Kauffman (1959), Carmody (1960), Huggdahl (1976), Martin (1976), Dunn (1980), Laurita (1990), Garritz y Chamizo (1994), ACS (2005)
	23. Vasos o recipientes pequeños	√ √ √ - - -	√ √ √ - - √ -	
	24. Probetas y pipetas	√ √ √ √ √ √	À √ √ - - √ -	Russell (1988)
	25. Sifón, equilibrio hidrostático	- - √ - √ -	À √ √ √ - √ -	Hansen (1984), Donati y otros (1992)
	26. Bombas	√ √ √ - - -	√ √ √ √ - √ -	Rakestraw (1926)
	27. Bombas	√ √ √ - - -	√ √ √ √ - √ -	Karns (1927), Weigang (1962)
	28. Flujo de gas entre jeringas	- - √ - √ -	À √ √ √ - √ -	Thomson (1976)
Máquinas	29. Carrete movido por agua	- - √ - √ -	√ √ √ √ √ √ -	Tucker (1958)
	30. Movimiento de esferas por flujo de aire	√ √ √ - √ √	√ - - - - - -	Dainton y Fisher (1969), Sawyer y Martens (1992), Nash y Smith (1995)
	31. Movimiento de esferas por paletas	√ √ √ √ √ -	√ - - - - - -	Alden y Schmuckler (1972), Hauptmann y Menger (1978), Rämme (1995)
	32. Movimiento de esferas por vibrador	√ √ √ - - -	√ - - √ - - -	Fiekers y Gibson (1945)
	33. Sube y baja	- - - √ √ -	√ √ √ - √ √ -	Russell (1988)
	34. Balanza con tubos de ensayo	- - √ - √ -	√ √ √ √ - √ -	MacDonald (1973)
	35. Sistema de poleas	- - √ √ √ -	√ √ √ - - - -	Thomson (1976)
	36. Leyes del equilibrio mecánico	- - √ - - -	- √ - - - - -	Canagaratna y Selvaratnam (1970)

- quiera y los productos a la derecha (ej. Johnstone y otros, 1977, Gorodetsky y Gussarsky, 1986).
- b. la relación difícil con el nivel molecular: la analogía no proporciona una imagen microscópica, a nivel átomos, moléculas o iones (Bradley y otros, 1990, Nakhleh, 1992).
 - c. si genera confusiones con relación a la cinética química: no ilustra el modelo de colisiones entre partículas, o transmite la idea de que se tiene que acumular cierta cantidad de producto para que comience la reacción inversa, o favorece la imagen pendular del equilibrio (una vez que finaliza la reacción directa comienza la reacción inversa y así sucesivamente) (ej. Bergquist y Heikkinen, 1990).
 - d. la idea que la concentración de reactivos es igual a la de productos en el equilibrio químico (ej. Hackling y Garnett, 1985, Huddle y Pillay, 1996).
 - e. si el sistema considerado no es cerrado (ej. Furió y Ortiz, 1983, Bradley y otros, 1990).
 - f. si genera confusiones entre cantidad y concentración (ej. Wheeler y Kass, 1978, Furió y Ortiz, 1983).
 - g. si brinda imágenes antropomórficas (humanización de los objetos) o animistas (por ejemplo, al utilizar animales) (ej. Astolfi, 1994).

Las imágenes, sobre el fenómeno del equilibrio químico, que construyen los alumnos a partir de lo que la enseñanza presenta (proposiciones, dibujos, analogías) y desde las teorías implícitas previas, fueron abordadas recientemente por Raviolo (2006) desde la perspectiva de los modelos mentales.

En "aspecto dinámico" se han considerado sólo los casos que muestran que las reacciones en el equilibrio siguen ocurriendo en ambos sentidos simultáneamente, manteniendo la composición del sistema constante. El dinamismo a nivel molecular, con la rotura y formación de enlaces simultáneamente en el equilibrio, se observa en pocas analogías, por ejemplo: las parejas danzando (Hildebrandt, 1948) o el juego con clips (Desser, 1996).

Cabe aclarar que muchos autores no llaman a sus propuestas como "analogías", más bien se encuentra una gran diversidad terminológica, donde se usan como sinónimos: analogía y modelo, además de otros términos. Aquí se adoptó el término analogía considerando la función que cumplen estas propuestas como ayudas a la visualización de conceptos a través de la comparación analógica entre un domi-

nio conocido (o que primero se hace conocer a través de una actividad) y el dominio conceptual. Existe una tendencia a llamar modelo ("modelo físico" o "modelo mecánico") cuando se incluyen materiales concretos. A modo de ejemplo, la analogía de transvasar agua de un recipiente a otro fue llamada: "experimento" por Sorum (1948), "demostración" por Hugdahl (1976), "modelo físico" por Hansen (1984), "modelo" por Pereira (1990), "modelo mecánico" por Laurita (1990), "similar" por Garritz y Chamizo (1994) y "analogía mecánica" por Garritz (1997).

Se analizaron 73 artículos o textos de los que se extrajeron 36 propuestas de analogías para el equilibrio químico, que se clasificaron a su vez en los cinco grupos mencionados. En la tabla 2 se presentan en porcentajes, para el total de 36 propuestas de analogías, los aspectos que abordan y las concepciones alternativas que promueven.

A continuación se describen algunos ejemplos, para cada una de las cinco categorías propuestas.

1. La utilización de análogos familiares

Una de las analogías más populares es la "escuela de danza" (Caldwell, 1932; Hildebrand, 1946). Esta analogía es discutida en los trabajos de Thiele y Treagust, (1994a y b). En esta última referencia se explica que un cierto número de estudiantes de ambos sexos se encuentran en el gimnasio, todos cegados por tapajos; los niños llevan un corte de pelo muy pequeño y las niñas unas colitas, de tal forma que tocar la cabeza es una forma de conocer el sexo

Tabla 2. Porcentajes resultantes del análisis de analogías para el equilibrio químico (total 36).

Aspectos abordados del equilibrio químico	equilibrio dinámico	69
	velocidades iguales	67
	reversibilidad	94
	deducción constante	19
	perturbación equilibrio	56
	catalizador	17
Dificultades o concepciones alternativas que promueve	visión compartimentada	72
	dificultad nivel molecular	61
	confusiones en cinética	75
	[reactivos] = [productos]	33
	sistema no cerrado	14
	cantidad = concentración	39
	antropomorfismo	14

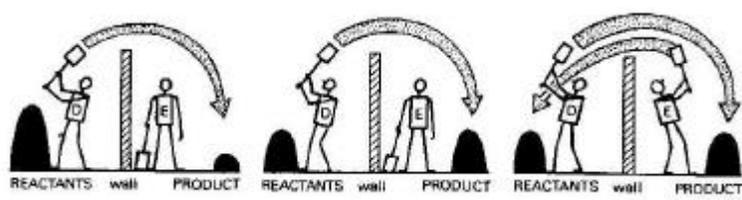


Figura 1. Ejemplo de analogía propuesta por Riley (1984).

de la persona que se encuentra. Cuando se halla una persona del otro sexo, hay que llevarla al cuarto "de compromiso", con lo cual se logra reunirlos, ocurre la reacción química y quedan unidos, bailando; es decir, que mientras más actividad tengan los estudiantes ello los conduce a incrementar el número de "colisiones" entre ellos, lo que es el símil a incrementar la energía cinética de las partículas, es decir, la temperatura, y, por ende, la rapidez de la reacción.

Inmediatamente se incrementa el razonamiento en la analogía, diciendo a los estudiantes que hay un número máximo de parejas en el cuarto "de compro-

miso" y que solamente puede entrar otra cuando alguna de las existentes se suelta (se introduce entonces el tema de la reacción inversa y el equilibrio, con un número fijo de parejas unidas). La versión elaborada de la "escuela de danza" es precisamente ésta, en la que el profesor pregunta a los estudiantes si ambas reacciones (la hacia adelante y la inversa) pueden ocurrir simultáneamente. Entonces se presenta la condición de equilibrio de la analogía: que la velocidad de formación de las parejas se iguala con las que se deshacen.

Otra versión de la analogía de la "escuela de danza" la presenta Baisley (1978), consiste en parejas danzando en la pista y personas sentadas a los costados de la pista. Esta analogía parte, por ejemplo, de una situación inicial en la cual todos están sentados y supone que el 30 % de las parejas se forman para bailar cada minuto ($k_d = 0,30$) mientras que un 10% abandonan la pista ($k_i = 0,10$). Una vez alcanzado el "equilibrio" el número de parejas bailando permanece constante, aunque los integrantes de esas parejas van rotando con los que se encuentran sentados.

Esta analogía de las parejas danzando fue usada también por Last (1983) para ilustrar conceptos de estequiometría como el del reactivo limitante, y por DeLorenzo (1977) en problemas de equilibrio para hallar, por ejemplo, el porcentaje de disociación de un ácido débil. Como ya se mencionó, esta analogía es una de las pocas que ilustra el aspecto dinámico del equilibrio químico a nivel atómico con la redistribución de átomos en las moléculas.

Caldwell, en 1932, nos habla de una gran variedad de analogías utilizadas por los profesores para enseñar el equilibrio químico y su naturaleza dinámica, entre ellas la de la "escuela de danza", sin la presencia del "cuarto de compromiso", pero con otras variedades interesantes. También cita, por ejemplo, la de los "practicantes de caballería", que entran en un terreno encerrado a practicar montar y desmontar sus caballos. Cuando la velocidad de la monta es igual a la de la desmonta, los estudiantes comprenden muy bien que debe haber un número constante de caballeros montados.

Una de las analogías que tuvo más difusión, a partir de la película del Chem Study (1963), fue la de "movimiento de peces entre dos acuarios". Esta analogía representa muy bien el aspecto dinámico del equilibrio e ilustra el método de marcación radiactiva de una de las especies. Russell (1988) comenta que dado que los dos acuarios son de igual tamaño y el equilibrio se alcanza cuando hay aproximadamente



Figura 2. Uno de los habitantes de Pintalandia decide pintar la línea de la carretera de 100 metros que conecta su pueblo con Despintalandia, el pueblo de los expertos removedores de pintura. El torpe pintor empieza la línea, pero deja la cubeta con la pintura en su pueblo, en el lugar donde comienza la línea. Por ello, cada vez que se le seca la brocha debe volver atrás, hasta la cubeta, para remojarla. Entonces vuelve a la línea y continúa pintando. Entre tanto, un despintor del otro pueblo toma una esponja con removedor de pintura, camina hasta el extremo de la línea recién pintada y comienza a removerlo, deshaciendo parcialmente la labor del pintor. Este despintor resulta igual de torpe que el pintor, pues cada vez que se le agota el removedor debe volver a su pueblo a mojar nuevamente su esponja, para volver al extremo de la línea a seguir removiendo la pintura. ¿Cuál es el final de la historia? ¿Cómo cambia la distancia de la línea pintada con el tiempo?

igual número de peces en cada uno, esta analogía contribuye a que los estudiantes saquen como conclusión errónea que en el equilibrio es igual la cantidad de productos que la de reactivos. Propone modificar esta analogía dibujando un recipiente más grande que el otro y presentarla directamente en el pizarrón prescindiendo del film. De cualquier forma esta analogía contribuye a la imagen de que reactivos y productos se encuentran en diferentes recipientes.

Una analogía similar a la sugerida por Hambly (1975) que trata de dos grupos de personas lanzándose pelotas, es la analogía de la "guerra de manzanas" (Dickerson y Geis, 1991). En esta analogía dos vecinos se arrojan manzanas mutuamente a través del cerco que separa los dos jardines. La diferente agilidad de las personas, que representa la constante de velocidad, k , lleva a que se acumulen diferentes cantidades de manzanas en cada jardín (concentraciones); después de un tiempo, aunque ambos siguen arrojándose manzanas, la cantidad de cada lado permanece constante.

Otra analogía con movimientos de operarios (figura 1) se refiere a dos personas una de cada lado de una pared traspasando al otro lado arena con una pala (Riley, 1984).

Chang (1999) para ilustrar el aspecto dinámico del equilibrio utiliza la analogía del centro de esquí repleto de personas, donde el número de personas que asciende por el teleférico es igual al número de personas que desciende, con lo cual no se observa cambio en la cantidad de personas que se encuentran en las pistas. Otro texto universitario (Umland y Bellana, 2000) presenta al equilibrio dinámico como análogo a un malabarista, en el cual la velocidad con que lanza al aire los objetos es igual a la velocidad con que regresan a las manos.

En la analogía del pintor y el despintor (Garritz, 1997), la longitud de la línea de la carretera pintada es el análogo de la concentración de los productos de la reacción, cuando empieza desde los reactivos (ver el pie de la figura 2 para entender la analogía).

Pensando en esta analogía, los estudiantes aceptan que el equilibrio es un proceso dinámico y que el final de la historia ocurre desde el momento en que las velocidades de pintado y despintado se igualan, lo cual ocurre a una distancia alrededor de la mitad de la carretera, cuya longitud exacta depende de la velocidad de caminata del pintor y del despintor y su eficiencia en pintar o despintar un cierto número de metros en cada vez que "atacan" la línea. Si el pintor y el despintor tienen la misma velocidad

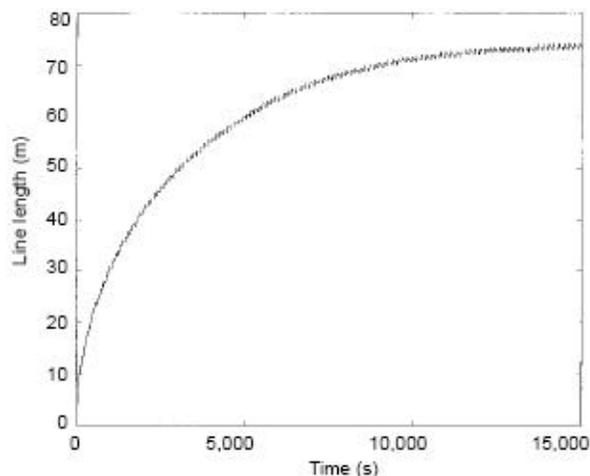


Figura 3. Longitud de la línea pintada cuando la velocidad de caminata del pintor es de 1 m/s y la del despintor 0.7 m/s. El pintor logra pintar 1 m de línea con el contenido que puede absorber su brocha, mientras que el despintor puede remover únicamente 0.5 m cada vez. El punto de equilibrio se alcanza a los 74 m de Pintalandia.

y habilidad, la línea deja de crecer a la mitad del camino entre los dos pueblos. Pero si el pintor es más eficaz que el despintor (lo cual resulta lo lógico) la línea llega más allá de la mitad. La figura 3 presenta la distancia conforme el proceso avanza para las condiciones mencionadas de velocidad al caminar y eficiencia del pintor y el despintor.

2. La utilización de juegos como analogías

Desser (1996) utiliza un juego con clips como una simulación para ilustrar el equilibrio químico. El juego consiste en sintetizar y descomponer "moléculas" formadas por la unión de un clip grande y uno pequeño ("átomos"). Cada una de estas tareas simultáneas las realiza un alumno con los ojos vendados para garantizar que estas acciones se ejecuten al azar. A distintos grupos de alumnos se les da una caja con el mismo número de clips, pero con distintas proporciones de moléculas ya formadas. Otros alumnos auxiliares registran la composición del sistema cada 30 segundos. La simulación incluye también la perturbación del equilibrio alcanzado, con la adición del mismo número de clips en alguna de sus formas (pequeños, grandes o enlazados).

En el juego *Egame* presentado por Edmonson y Lewis (1999) participan dos estudiantes, a uno de ellos se le provee de 20 cubos (cubos de azúcar), cada uno de los cubos tiene una cara roja con una X y una cara azul con una Y. El estudiante al cual se le dan los 20 cubos es designado como custodio de la colección de reactivos, R. El otro estudiante, que

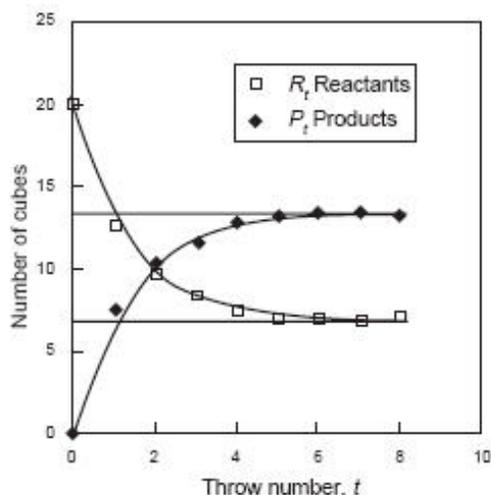


Figura 4. Número de cubos en las colecciones de P y R a lo largo de ocho tiradas. Se muestran los resultados límite del número de cubos, cercanos a 13 y a 7.

inicialmente tiene 0 cubos es el custodio de la colección de productos, P. Los cubos en la colección R son tirados y aquellos cubos que muestran ya sea una cara marcada con azul o con rojo son transferidos a la colección P. Después de la primera tirada, ambas colecciones, la R y la P, son lanzadas simultáneamente. Nuevamente, los cubos de R que muestren ya sea una cara roja o azul se transfieren a la colección P. Pero solamente los cubos de la colección P que muestren una cara roja después de la tirada se sepa-

ran y transfieren a la colección R nuevamente. Se registra después de cada tirada tanto el número de la tirada como el número de cubos que quedan en las colecciones P y R. El proceso continúa hasta por ocho tiradas y es repetido por completo unas diez veces. De esta forma se obtienen gráficos análogos a la variación de las concentraciones en el tiempo para la aproximación al equilibrio. Esta simulación puede hacerse por computadora si se escoge un número aleatorio del 1 al 6 para cada tirada del cubo y el número 1 como el resultado de la caída en el lado pintado de rojo y el 2 como el del lado pintado de azul.

A la octava tirada, el número de cubos en ambos estudiantes corresponden a los "de equilibrio", P_{eq} y R_{eq} , donde $P_{eq} + R_{eq} = 20$. Las velocidades en ese momento son, de R hacia P, $k_f R_{eq}$, donde k_f debe tender hacia $2/6$ a la larga, pues dos caras de los cubos son reactivas y cambian hacia la colección P; y de P hacia R, $k_r P_{eq}$, donde k_r debe tender hacia $1/6$, pues solamente cambia hacia R la cara roja. Igualando ambas velocidades tenemos: $k_f R_{eq} = k_r P_{eq}$. De aquí puede definirse la constante de equilibrio K como el cociente k_f/k_r , que tiende a valer 2, estadísticamente. La constante K vale $K = 2 = P_{eq}/R_{eq} = P_{eq}/(20-P_{eq})$, de donde vemos que P_{eq} tiende a $40/3=13.33$ y R_{eq} a $20/3=6.67$.

Un resultado típico sería el de la figura 4.

Este tipo de juego ya había sido propuesto anteriormente, por ejemplo por Wilson (1998) y fue complementado y variado en diversas ocasiones (Moog y Farrel, 2002; Paiva, Gil y Correia, 2003). Recientemente fue rescatado por Bartholow (2006). En esta última versión se necesitan 48 monedas, lápiz, papel y una calculadora. Durante cada ronda se van a mover monedas de la pila R (reactivos) a la pila P (productos) y de la pila P a la R. hay que detenerse cuando las pilas alcanzan el equilibrio y ya no se modifica el número de monedas en cada pila. Las monedas no pueden dividirse, de tal manera que si en algún cálculo resulta una fracción de moneda, debe redondearse el resultado, para que siempre se mueva un número entero de monedas. Hay que seguir los siguientes pasos:

1. Escribe sobre la hoja de papel (en otro momento pueden cambiarse estas constantes de velocidad de reacción y repetir la analogía):
 Constante de velocidad de reacción directa
 $R \rightarrow P$ vale $k_d = 1/2$
 Constante de velocidad de reacción inversa
 $P \rightarrow R$ vale $k_i = 1/4$
 Construye una tabla como la número 3.

Tabla 3. Tabla de la analogía de Bartolow (2006).

Vuelta No.	Empiezan en pila R	Empiezan en pila P	No. de R que hay que mover	No. de P que hay que mover
1				
2				
3				
...				

Tabla 4. Resultado de la analogía de Bartolow.

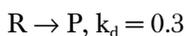
Vuelta No.	Empiezan en pila R	Empiezan en pila P	No. de R que hay que mover	No. de P que hay que mover
1	48	0	24	0
2	24	24	12	6
3	18	30	9	7
4	16	32	8	8
5	16	32	8	8

- Empieza con 48 monedas en la pila R y cero en la pila P. Escribe estos números en la segunda y tercera columnas de la tabla. Calcula, utilizando las constantes de velocidad de reacción para cada una, cuántas monedas hay que mover de R a P y cuántas de P a R y escríbelas en las columnas cuarta y quinta de la tabla.
- Lleva a cabo el movimiento de las monedas apuntadas y empieza la siguiente ronda apuntando cuántas monedas empiezan en las dos pilas.
- Vuelve a calcular con las constantes de velocidad de reacción del paso 1 cuántas monedas hay que mover de R a P y cuántas de P a R. Apunta tus resultados y lleva a cabo la movida de monedas para completar una ronda más.
- Repite el paso 4 hasta que las pilas no cambien el número de monedas en dos vueltas consecutivas.
- Calcula la constante de equilibrio mediante el cociente "número final de monedas en la pila P"/ "número final de monedas en la pila R".

El resultado con las constantes de velocidad de reacción dadas es el de la tabla 4 y la $K_{eq} = 2 = 32/16$.

Los estudiantes se dan cuenta que el mismo resultado de la K_{eq} puede obtenerse mediante el cociente de las dos constantes de velocidad de reacción $K_{eq} = k_d/k_i$. Se llevan además la idea de que el equilibrio es dinámico, pues deben seguirse traspasando monedas de R a P y de P a R, pero con posterioridad al equilibrio el mismo número de ellas en ambas direcciones. Inténtelo hacer ahora el lector, pero con los siguientes datos para las constantes de velocidad:

Constante de velocidad de reacción directa



Constante de velocidad de reacción inversa



Vale la pena también presentar la analogía de Huddle, White y Rogers (2000), que emplea cartas. Nos dicen que tomemos 49 cartas, con un lado rojo y otro lado blanco (por supuesto, las cartas pueden tomarse de un mazo normal, con fondo blanco del lado donde está especificada la carta y el otro lado, con el dibujo del juego). En el primer turno de cada jugador, se escoge que $k_d=1/4$ de las cartas rojas se transformen en blancas y que $k_i=1/3$ de las cartas blancas lo hagan en rojas. Si el número de cartas no es divisible entre 3 o entre 4, se toma el entero más

cercano al cociente. Veamos en la tabla 5 cómo se alcanza el equilibrio en unos pocos turnos. El cociente entre el número en equilibrio de cartas blancas entre el número de rojas es:

Los mismos resultados de equilibrio se obtienen si se empieza con 49 cartas blancas (productos). Se deja al lector el ejercicio de demostrarlo.

3. La utilización de experimentos de cambios físicos como análogos

Utilizar un experimento de un cambio físico como análogo del equilibrio químico, o de alguno de sus aspectos, es sugerido por varios autores. Ya los proyectos Nuffield (1967) y CBA (1964) proponían el experimento de la difusión del yodo en una disolución acuosa de yoduro de potasio y en una disolución de un disolvente orgánico (cloroformo o n-heptano, respectivamente) con el objetivo de ilustrar que los estados finales son los mismos partiendo de una mezcla de reactivos que de una mezcla de productos. Para después de este experimento, Lees (1987) propone la analogía de "un juego con tiras de papel" y el proyecto Nuffield (1967) sugiere ver y discutir dos películas sobre el equilibrio sólido/líquido y líquido/vapor. Como se mencionará más adelante, en el apartado sobre las analogías que utilizaron y utilizan los científicos en su trabajo, la analogía de un cambio de fases como el equilibrio entre el agua líquida y el agua gaseosa, inspiró a Pfaundler en su explicación molecular del equilibrio químico. Actualmente, y como una forma de introducir el concepto de equilibrio dinámico, el equilibrio de fases entre el agua líquida y agua vapor es sugerido, entre otros, por Caruso y otros (1997).

Rocha y otros (2000) presentaron a un grupo de alumnos de primer año de universidad, una activi-

Tabla 5. Analogía de Huddle, White y Rogers (2000). Se inicia con 49 cartas rojas (reactivos), con $k_d=1/4$ y $k_i=1/3$.

Turno	Reactivos			Productos		
	N _{rojas}	Veloc. neta	Cambian	N _{blancas}	Veloc. neta	Cambian
0	49			0		
1	49-12+0	-	12	0-0+12	-	0
2	37-9+4	-12	9	12-4+9	12	4
4	32-8+5	-5	8	17-5+8	5	5
4	29-7+6	-3	7	20-6+7	3	6
5	28-7+7	-1	7	21-7+7	1	7
6	28	0	7	21	0	7

dad consistente en relacionar un cambio de fase (agua-vapor) con un cambio químico (descomposición del carbonato de calcio) ambos en recipientes abiertos y cerrados. Los aprendizajes logrados los compararon, a través de un cuestionario escrito de tres cuestiones, con un grupo que recibió la enseñanza habitual. Los alumnos que realizaron la actividad mostraron una noción más acabada del equilibrio químico como dinámico y de las condiciones del sistema. Una de las cuestiones solicitaba la interpretación de una representación microscópica. Esta cuestión permitió indagar sobre la coexistencia de todas las especies y sobre la composición del sistema en equilibrio químico.

También se suelen presentar cambios físicos como las disoluciones para introducir el concepto de equilibrio químico, por ejemplo la disolución de cloruro de sodio en agua. Tyson, Treagust y Bucat (1999) comprobaron que los alumnos transfieren la noción de saturación a los equilibrios químicos y presentan dificultades al hacer predicciones sobre cómo el agregado de más sólido afecta la composición de la mezcla en equilibrio. Por ello, recomiendan no dejar de abordar en la enseñanza las similitudes y diferencias entre ambos tipos de sistemas.

4. La utilización de fenómenos de flujo o transferencia de fluidos

En un libro reciente (ACS, 2005), elaborado con base en actividades, aparece la analogía de "los vasos de diferentes tamaños" para ejemplificar el equilibrio químico: cada dos estudiantes trabajan en pequeños grupos para discutir, reunir y analizar los resultados. Cada uno de los estudiantes tiene un recipiente de plástico de 10 cm de altura (como una cubeta o una pecera). Se añade agua hasta llenar uno de los dos recipientes hasta las dos terceras partes de

su volumen y el del otro estudiante se deja vacío. Uno de los estudiantes tiene un pequeño vaso de 100 mL y el otro un vaso de 250 mL, con los cuales toman el agua que pueden de su recipiente (sin tratar de llenar el vaso si ello no es posible) y lo transvasan al de su compañero en cada ocasión, hecho que repiten varias veces. Se van anotando los volúmenes de agua en ambos recipientes. Se pregunta en este libro "¿qué se observa en relación al nivel del agua en los dos recipientes? ¿Existe alguna diferencia en saber qué recipiente contenía inicialmente agua? ¿Qué se podría predecir si hubiéramos partido de dos recipientes con diferentes cantidades de agua?"

En una versión de esta analogía (Garritz y Chamizo, 1994) se cuenta con dos cubetas transparentes y dos vasos iguales. Un alumno saca agua de su cubeta y la vierte en la otra, otro alumno hace lo mismo desde la otra cubeta, ambos al unísono (equilibrio dinámico) respetan la condición de llenar el vaso hasta donde puedan sin inclinar las cubetas. Se formulan preguntas del tipo: Si uno de los vasos tiene mayor volumen que otro: ¿toda el agua pasará de una cubeta a otra?, ¿o quedará agua en ambas cubetas?

Esta analogía ya fue sugerida en los años cincuenta por autores como Sorun (1948) o Kauffman (1959) (figura 6).

Otra analogía presenta dos recipientes comunicados en su parte inferior por un tubo (Donati y otros, 1992). Inicialmente uno puede contener agua y el otro estar vacío (si se cierra con una pinza la conexión del tubo entre ambos). Esta analogía es propuesta para dar la idea de que el sistema evoluciona espontáneamente hacia el estado de menor energía (potencial gravitatoria) alcanzando un equilibrio (hidrostático). Aunque, mostrar el estado final de equilibrio como la situación donde se igualan los niveles de agua, conduce a la concepción errónea de consi-

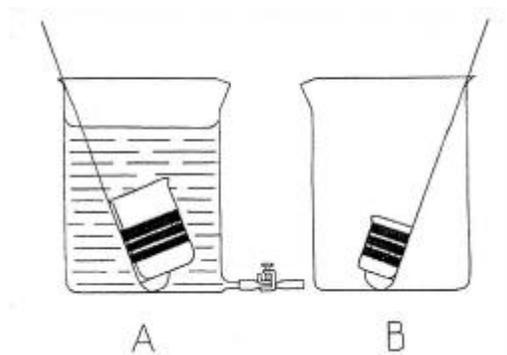


Figura 6. La analogía de transferencia de agua sugerida por Kauffman (1959).



Figura 7. Estado de equilibrio alcanzado en la analogía del equilibrio hidrostático de Donati y otros, 1992.

derar al equilibrio químico como una situación donde la cantidad de reactivos y productos son iguales. Si una vez alcanzado el equilibrio se agrega más agua a uno de los recipientes el sistema compensa la perturbación retornando a otro estado de equilibrio. Adicionalmente, este resulta ser un ejemplo de la compartimentación del equilibrio.

Estos "modelos hidrodinámicos" son utilizados en la propuesta de enseñanza del equilibrio químico sugerida por Tóth (2000), que se comenta más adelante.

5. La utilización de máquinas como analogías

En la bibliografía se encuentran varias máquinas que producen el movimiento y transferencia de esferas entre dos compartimentos. Estas esferas (pelotas de ping pong, de unicel o telgopor) se ponen en movimiento por choque con paletas, con corrientes de aire o con un vibrador. Por ejemplo, el dispositivo propuesto por Alden y Schmuckler (1972) (figura 8) ilustra por analogía a los diagramas de energía potencial. Dos ruedas con paletas se mueven a la misma velocidad ("temperatura") por un motor eléctrico. Ambos recipientes están separados por un tabique ("energía de activación"). Las esferas se pueden poner en cualquier compartimiento lo que mostrará que el equilibrio se puede alcanzar partiendo de cualquier dirección. Esta analogía permite calcular la constante de equilibrio.

Uno de los primeros dispositivos que se propuso (Fiekers y Gibson, 1945) consistió en unos compartimentos puestos en un plano horizontal, donde se mueven esferas sacudidas por un vibrador, todo ensamblado sobre un proyector vertical. Este modelo dinámico permite ilustrar las leyes de los gases, la cinética molecular, y brinda una analogía mecánica del equilibrio químico.

La relación entre equilibrio y termodinámica se ilustra en la analogía, usada frecuentemente (por ejemplo Harris, 1982), que sostiene que un sistema en equilibrio es análogo a una pelota detenida en la parte inferior de un valle, donde su estado de equilibrio está definido por la mínima energía potencial gravitatoria de la pelota. En forma similar, el equilibrio es definido mediante el mínimo de otro potencial: el G de Gibbs. Canagaratna y Selvaratnam (1970) ilustran al equilibrio químico por analogía con el equilibrio mecánico, que resulta más familiar para los estudiantes, a través de la comparación de ecuaciones.

Analogías presentadas en libros de texto

Los autores de libros de texto de ciencias utilizan analogías como una estrategia para facilitar el aprendizaje de conceptos abstractos, pero no se observa que hayan asumido las recomendaciones sugeridas por la investigación en este campo, como por ejemplo, algunos consejos sobre las características y posición de las analogías en los textos o sobre las estrategias más adecuadas para presentarlas (Curtis y Reigeluth, 1984).

Una de las primeras discusiones sobre la presentación de analogías en textos de química general se encuentra en Lewis (1933), en la que resalta las ventajas y las objeciones de su uso. Previene sobre un uso no instructivo, sino anecdótico o humorístico, de las analogías; también sobre ciertas suposiciones absurdas que hacen los profesores al sobreestimarlas y advierte sobre el peligro de que la analogía genere en la mente de los estudiantes ideas no deseadas por el profesor. Describe algunas analogías encontradas en cuatro textos de la época, como la analogía del balance financiero de los estudiantes para el equilibrio químico, en ella la reserva de dinero para un curso se mantiene constante si se logra que los ingresos y egresos se igualen.

En la década de los años sesenta se presentaron un buen número de analogías en los textos de la reforma curricular post-Sputnik (Chem Study, 1963; CBA, 1964; Nuffield, 1967).

Thiele y Treagust (1994a) analizaron las analogías presentadas en 10 libros de texto de química

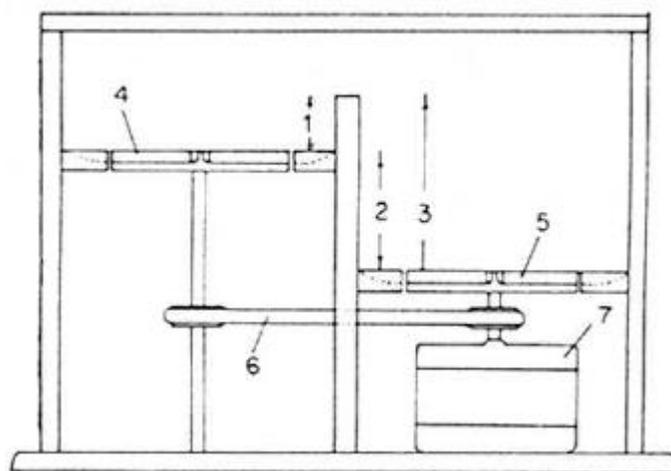


Figura 8. Dispositivo analógico propuesto por Alden y Schmuckler (1972). Referencias: 1 y 3 energías de activación para las reacciones directa e inversa; 2 cambio de energía potencial neto, 4 y 5 ruedas con paletas, 6 correa de goma, 7 motor eléctrico.

australianos para el nivel medio y concluyeron que el uso frecuente de analogías simples (que constan sólo de un objetivo, una base y un conector del tipo "es como"), y la carencia de afirmaciones sobre sus limitaciones, pueden crear problemas en el aprendizaje de los estudiantes. Los temas para los cuales se presentaron mayor número de analogías fueron los de naturaleza no observable como estructura atómica (23%), enlace (13%) y energía (12%); el tema equilibrio químico se ubicó con el 5% del total. El formato de las analogías presentadas mostró un 53% de escrito-verbal y un 47% de pictórico-verbal, donde la analogía verbal es reforzada con un dibujo o una foto.

También los análogos y los objetivos se clasifican, de acuerdo con su grado de abstracción, en concretos o abstractos. Se considera que el dominio es concreto si es directa y sensorialmente observable y/o consistente con experiencias de la vida diaria de los estudiantes. Como se compró en el análisis de las analogías propuestas para el equilibrio químico, la mayoría corresponden al tipo "análogo concreto y objetivo abstracto" dada la finalidad misma de las analogías. Thiele y Treagust hallaron que el 87% de las 93 analogías incluidas en textos eran de este tipo.

Recientemente el libro de la ACS (2005) retoma la costumbre de colocar analogías en los textos.

Analogías en las clases

A pesar que los docentes manifiestan ser concientes de los beneficios de las analogías en el aprendizaje, Treagust y otros (1992) observaron un escaso uso de las mismas en las clases de ciencias. Los profesores entrevistados por estos autores, no diferenciaban analogías de ejemplos y, cuando empleaban analogías, no lo hacían de una forma óptima describiendo

las similitudes y las limitaciones de las mismas.

Thiele y Treagust (1994b) recogieron las analogías que emplearon cuatro profesores en sus clases cuando abordaban temas conceptualmente abstractos como el equilibrio químico. La mayoría de las analogías surgieron como una respuesta del profesor a ciertos estímulos de los alumnos, como la cara de desconcierto o ante preguntas de los estudiantes.

Las analogías que hallaron para el equilibrio químico se detallan en la tabla 6.

Las analogías encontradas fueron similares a las presentadas en los textos, por ejemplo la analogía del flujo de agua entre dos recipientes, lo que da apoyo a la afirmación de que los textos constituyen una de las principales fuentes de analogías para los profesores.

Tóth (2000) presenta las ventajas y desventajas de una estrategia de enseñanza del equilibrio químico basada, fundamentalmente, en la utilización de analogías ("modelos dinámicos"), para introducir el tema a estudiantes de secundaria (15-16 años). Los principales pasos de esta estrategia responden a las siguientes preguntas:

- ¿Qué significa el "estado de equilibrio"? (los estudiantes usan un juego, con dados por ejemplo).
- ¿Cómo la concentración y velocidad de reacción cambian en una reacción simple que sí está o que no está en equilibrio? (los estudiantes y el profesor usan el modelo hidrodinámico para hacer gráficos concentración vs. tiempo y velocidad vs. tiempo).
- ¿Cuáles son las características de una reacción en equilibrio? (Deducción desde modelos: las concentraciones no cambian, equilibrio dinámico, $v_d = v_i$).
- ¿Qué clase de datos son característicos del equilibrio? (Medidas sobre el modelo hidrodinámico. Generalización del concepto "constante de equilibrio").
- ¿Cómo un cambio en la concentración afecta el equilibrio? (Medidas sobre el modelo hidrodinámico. Investigación de reacciones química reales).

Analogías creadas por los alumnos

Varias investigaciones solicitaron a los estudiantes que produjeran sus propias analogías (por ejemplo, Pittman, 1999). De su análisis se concluyó que esta actividad constituye una buena forma de evaluación diagnóstica de la comprensión de los conceptos,

Tabla 6. Analogías observadas en clases sobre el equilibrio químico.

Análogo	Objetivo
Sacar el capuchón de un bolígrafo	Energía requerida para romper enlace químico
Flujo de agua desde y hacia un recipiente	Propiedades constantes en un sistema abierto
Efectos gravitacionales sobre un cuerpo	Tendencia de un sistema a retornar al equilibrio
Elástico retornando a su longitud original	Tendencia de un sistema a retornar al equilibrio
Gente entrando y saliendo de un comercio	Velocidades de reacción directa e inversa en el equilibrio
Persona subiendo y bajando una escalera	Competencia velocidad de reacción directa e inversa

dado que se enriquecían las explicaciones dadas por los alumnos, aunque a veces permitían el surgimiento de eventuales concepciones alternativas. También, este tipo de participación activa fomentó la autonomía y autoestima del alumno.

Fabiao y Duarte (2005) indagaron las dificultades de futuros profesores de ciencias en producir analogías sobre el equilibrio químico, en particular sobre perturbaciones a sistemas en equilibrio y el principio de Le Chatelier. Este artículo hace énfasis en los problemas ya mencionados por otros sobre la aplicación del principio de Le Chatelier en la enseñanza (Quílez, 1998; Van Driel y Gräber, 2002). Las dificultades se apreciaron en la selección del análogo y/o en las correspondencias que establecieron entre análogo y objetivo. Algunas analogías inducían o reforzaban concepciones alternativas. Por ejemplo, la analogía propuesta de dos globos conectados entre sí, transmite la idea compartimentada del equilibrio. Otras mostraron un desconocimiento sobre las características del sistema en equilibrio (sistema cerrado, composición constante). En general, los análogos seleccionados por los alumnos permitían establecer correspondencias superficiales. La analogía de "la cacerola con agua hervida", propuesta por un grupo de estos alumnos, constituye la conocida estrategia de introducir el equilibrio químico a partir del equilibrio de fases.

Analogías utilizadas por científicos

Los científicos utilizan, y han utilizado, a las analogías en la elaboración y comunicación de sus teorías.

Para el caso del equilibrio químico, Pfaundler en 1867, reformuló la idea de Williamson (que explicaba al equilibrio como la producción simultánea de dos reacciones químicas en sentidos opuestos) basándose en la explicación molecular dada por Clausius en 1857 sobre la evaporación de un líquido. Pfaundler supuso que igual número de moléculas se unen y se separan por colisión. En la enseñanza, esta analogía es propuesta, por ejemplo, por Caruso y otros (1997), con el objetivo de construir la idea de equilibrio dinámico a partir de un hecho conocido y significativo para el alumno, como lo es la evaporación del agua. Según estos autores, se trata de utilizar un equilibrio dinámico de fases para construir la "esencia" de dicho concepto, para luego aplicarlo a situaciones más complejas como el equilibrio químico.

Otro ejemplo histórico interesante lo constituye las alusiones de Hittorf sobre cómo el modelo cinético molecular de los gases es transferido por analo-

gía a las disoluciones. En definitiva, las analogías usadas en la construcción histórica del conocimiento pueden constituir otra fuente de analogías para el uso docente. Si los científicos utilizaron analogías para divulgar sus ideas a otros científicos, para hacer más accesible aspectos complejos, con mayor razón se justifica su utilización en el ámbito de la enseñanza.

Conclusiones

Las analogías constituyen una estrategia válida para la enseñanza del equilibrio químico, dada la complejidad y la abstracción del concepto. La naturaleza reversible del cambio químico y la naturaleza dinámica del equilibrio químico se pueden visualizar mediante analogías.

Cuando se presenta un fenómeno químico suelen establecerse relaciones entre los niveles macroscópico, simbólico y microscópico. Aunque a menudo los estudiantes transfieren inadecuadamente propiedades de un nivel a otro, por ejemplo propiedades del mundo macroscópico a los átomos, iones y moléculas. Si esto ocurre para un mismo fenómeno con mayor razón es esperable que surja cuando se presenta una analogía, en donde se recurre a un fenómeno distinto.

Muchas de las analogías encontradas ilustran un estado de equilibrio de composición constante, sin embargo estático. Pocas analogías muestran el dinamismo de la reacción química con la ruptura de enlaces y redistribución de los átomos en las moléculas. Es, por ello, aconsejable incluir en la enseñanza analogías como la de la "escuela de danza" o el "juego de los clips".

También es conveniente tener en cuenta aspectos metodológicos para el uso de analogías, como el decálogo elaborado por Raviolo y Garritz (2006), que destaca por ejemplo, la necesidad de presentar más de un análogo para el mismo objetivo. Además, en la bibliografía se encuentran ejemplos donde las analogías han sido complementadas con experimentos, simulaciones en el ordenador, hojas de cálculo, etcétera.

Con esto hemos reunido un amplio conjunto de analogías para ser empleadas en la enseñanza del equilibrio químico y hemos hablado de las limitaciones de muchas de ellas, con lo cual esperamos que los docentes que lean y estudien este artículo pongan atención en las reacciones estudiantiles después de su presentación. ■

Referencias

- ACS, American Chemical Society, Jerry Bell y coautores, *Química. Un proyecto de la ACS*. Barcelona, España: Editorial Reverté, 2005.
- Alden, R. y Schmuckler, J. The design and use of an equilibrium machine. *Journal of Chemical Education*, 49(7), 509-510, 1972.
- Astolfi, J. P. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 206-216, 1994.
- Baisley, D. Equilibrium and the dance floor problem. *Chem 13 News*, 92, 3, 1978.
- Balkwill, F. J. Le Chateliers principle – a tacto-visual aid. *School Science Review*, 58, 71, 1976.
- Bartholow, M. Modeling dynamic equilibrium with coins. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 48A, 2006.
- Battino, R. A dynamic lecture demonstration of dynamic equilibrium- the BG system. *Journal of Chemical Education*, 52(1), 55, 1975.
- Bergquist, W. y Heikkinen, H. Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003, 1990.
- Bradley, J., Gerrans, G. y Long, G. Views of some secondary school science teachers and student teachers about chemical equilibrium. *South African Journal of Education*, 19(1), 3-12, 1990.
- Caldwell, W. Usable analogies in teaching fundamentals of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 9(12), 2079-2080, 1932.
- Canagaratna, S. y Selvaratnam, M. Analogies between chemical and mechanical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 47(11), 759-760, 1970.
- Carmody, W. Dynamic equilibrium: a simple quantitative demonstration. *Journal of Chemical Education*, 37(6), 312-313, 1960.
- Caruso, F. y otros. Propuesta didáctica para la enseñanza – aprendizaje del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*. N° extra, V Congreso, 287-288, 1997.
- CBA Project. *Chemical Bonding Approach*. United Kingdom: Earlham College Press, 1964. Traducido como *Sistemas químicos*. Barcelona: Reverté, 1967.
- Chang, R. *Química (6ª edición)*. México: McGrawHill, 1999.
- Chem. Study. New York: W. H. Freeman, 1963. Traducido como *Química: una ciencia experimental*. Zaragoza: Reverté, 1966.
- Cullen, J. Computer simulation of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 66(12), 1023-1025, 1989.
- Dainton, F. y Fisher, D. Chemical kinetics and equilibrium at school level. *Education in Chemistry*, 6(6), 217-220, 1969.
- DeLorenzo, R. Chemical equilibrium: analogies that separate the mathematics from the chemistry. *Journal of Chemical Education*, 5, 676, 1977.
- Desser, D. Approaching equilibrium. *Science Teacher*, 63(7), 40-43, 1996.
- Dickerson, R. y Geis, I. *Chemistry, matter and the universe*. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings Publishing, 1981.
- Donati, E., Jubert, A. y Andrade Gamboa, J. Uso de un modelo sencillo para la enseñanza de equilibrio químico. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 2, 259, 1992.
- Dunn, B. Model of dynamic equilibrium. *School Science Review*, 62, 334-335, 1980.
- Edmonson, L. y Lewis, D. Equilibrium principles: a game for students. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 502, 1999.
- Fiekers, B. y Gibson, S. Illustration of the gas laws. *Journal of Chemical Education*, 22(6), 305-308, 1945.
- Fabiao, L. y Duarte, M. Dificultades en la producción y exploración de analogías: un estudio en el tema equilibrio químico con alumnos futuros profesores de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 2005.
- Furió, C. y Ortiz, E. Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 15-20, 1983.
- Garnett, P. J. y Treagust, D.F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 121-142, 1992.
- Garritz, A. The painting-sponging analogy for chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 544-545, 1997.
- Garritz, A. y Chamizo, J. A. *Química*. Wilmington: Addison-Wesley, 1994.
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), 427-441, 1986.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822, 1991.
- Goswami, U. *Analogical reasoning in children*. Hove, U.K.: Lawrence Erlbaum, 1992.
- Hackling, M. y Garnett, P. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214, 1985.
- Hambly, G. Equilibrium –a novel classroom demonstration. *Journal of Chemical Education*, 52(8), 519, 1975.
- Hansen, R. Thermodynamic changes, kinetics, equilibrium, and Le Chatelier's principle. *Journal of Chemical Education*, 61(9), 804, 1984.
- Hanson, R. Playing-card equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1271-1274, 2003.
- Harris, W. F. Clarifying the concept of equilibrium in chemically reaction systems. *Journal of Chemical Education*, 59(12), 1034-1036, 1982.
- Harrison, J. y Buckley, P. Simulating dynamic equilibria. *Journal of Chemical Education*, 77(8), 1013, 2000.
- Harrison, A. y De Jong, O. Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 42(10), 1135-1159, 2005.
- Hauptmann, S. y Menger, E. The statistical basis of chemical equilibria. *Journal of Chemical Education*, 55(9), 578-580, 1978.
- Hildebrand, J. Catalyzing the approach to equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 23(12), 589-592, 1946.
- Hill, G. y Holman, J. *Chemistry in context*. Thames: Nelson, 1978.
- Huddle, P. y Ncube, N. A dynamic way to teach chemical equilibrium-part 1. *Spectrum*, 32(3), 39-40, 1994.
- Huddle, P. y Pillay, A. An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 65-77, 1996.
- Huddle, P., White, M. y Rogers, F. Simulations for teaching chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 77(7), 920-926, 2000.
- Hugdahl, W. Dynamic equilibrium. *Chem 13 News*, 81, 12, 1976.

- Johnstone, A., Macdonald, J. y Webb, G. Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171, 1977.
- Karns, G. A lecture demonstration of dynamic equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 4(11), 1431-1433, 1927.
- Kauffman, G. Dynamic equilibrium: a student demonstration. *Journal of Chemical Education*, 36(3), 150, 1959.
- Last, A. A bloody nose, the hairdresser's salon, flies in an elevator, and dancing couples: the use of analogies in teaching introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 60(9), 748-750, 1983.
- Laurita, W. Another look at a mechanical model of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(7), 598, 1990.
- Lees, A. The equilibrium game. *School Science Review*, 69, 304-306, 1987.
- Lewis, J. Analogies in teaching freshman chemistry. *Journal of Chemical Education*, 10, 627-630, 1933.
- Licata, K. Chemistry is like a *Science Teacher*, 55(8), 41-43, 1988.
- MacDonald, J. *Chemical equilibrium, acids and bases*. ASE: John Murray, 1973.
- Martin, D. F. A mechanical demonstration of approach to equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 53(10), 634, 1976.
- Marzocco, C. Spreadsheet simulation of a simple kinetic system. *Journal of Chemical Education*, 70(12), 993-994, 1993.
- Mickey, C. D. Chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 57(11), 801-804, 1980.
- Moog, R. y Farrel, J. *Chemistry—A Guided Inquiry, 2nd edition*. New York: John Wiley & sons, 2002.
- Nakhleh, M. Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196, 1992.
- Nash, J. y Smith, P. The "collision cube" molecular dynamics simulator. *Journal of Chemical Education*, 72(9), 805-807, 1995.
- Ncube, N. y Huddle, P. A dynamic way to teach chemical equilibrium-part 2. *Spectrum*, 32(4), 2-3, 1994.
- Nuffield Foundation, Chemistry, United Kingdom: Longmans/Penguin books, 1967. Traducido como *Química*. Barcelona: Reverté, 1970.
- Olney, D. Some analogies for teaching rates/equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 65(8), 696-697, 1988.
- Paiva, J., Gil, V., Correia, A., Le Chat: Simulation in Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 80(1), 111, 2003.
- Pereira, M. *Equilibrio químico. Dificultades de aprendizaje y sugerencias didácticas*. 2º Edición. Lisboa: Sociedad Portuguesa de Química, 1990.
- Pittman, K. Student-generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22, 1999.
- Quílez, J., Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Châtelier, *Educación Química*, 9(6), 367-377, 1998.
- Quílez, J., Lorente, S., Sendra, F., Chorro, F. y Enciso, E. *Química. Bachillerato 2*. Ecir Ed.: Valencia, 2003.
- Rakestraw, N. Demonstrating chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 3(4), 450-451, 1926.
- Rämme, G. Simulating physical chemistry for undergraduates. *Education in Chemistry*, 32(2), 49-51, 1995.
- Raviolo, A. Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 17(nº extr.), 300-307, 2006.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, 51, en prensa.
- Riley, P. Dynamic equilibria - a simple model. *School Science Review*, 65, 540, 1984.
- Rocha, A., Scandroli, N., Domínguez, J. y García-Rodeja, E. Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11(3), 343-352, 2000.
- Russell, J. Simple models for teaching equilibrium and Le Chatelier's principle. *Journal of Chemical Education*, 65(10), 871-872, 1988.
- Sawyer, D. y Martens, T. An equilibrium machine. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 551-553, 1992.
- Slabaugh, W. Lecture demonstration: derivation of the equilibrium constant. *Journal of Chemical Education*, 26, 430-432, 1949.
- Smith, D. Le Chatelier's principle demonstrate with a rubber band. *Journal of Chemical Education*, 54(11), 701, 1977.
- Sorum, C. H. Lecture demonstration for general chemistry. *Journal of Chemistry Education*, 25(9), 489-490, 1948.
- Thiele, R. Useful analogies for the teaching of chemical equilibrium. *Australian Science Teachers Journal*, 36(1), 54-55, 1990.
- Thiele, R. y Treagust, D. The nature and extend of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*, 22, 61-74, 1994a.
- Thiele, R. y Treagust, D. An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242, 1994b.
- Thomson, M. Models to demonstrate chemical equilibrium. *School Science Review*, 57, 509-511, 1976.
- Tóth, Z. How to introduce chemical equilibrium – a teaching strategy. *16th International Conference on Chemical Education*. Budapest, Hungary, 2000.
- Treagust, D., Duit, R. y Nieswandt, M. Sources of students' difficulties in learning Chemistry, *Educación Química*, 11(2), 228-235, 2000.
- Tyson, L., Treagust, D.F. y Bucat, R.B. The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554-558, 1999.
- Umland, J. y Bellana, J. *Química general* (3º edición). México: Thomson, 2000.
- Van Driel, J. y Gräber, W. Teaching and learning of chemical equilibrium. En J. K. Gilbert et al. (eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 271-292. Netherlands: Kluwer, 2002.
- Weigang, O. A model for demonstrating dynamic equilibria. *Journal of Chemical Education*, 39(3), 146-147, 1962.
- Wheeler, A. E. y Kass, H. Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232, 1978.
- Wilson, A. Equilibrium: a teaching/learning activity. *Journal of Chemical Education*, 75(9), 1176-1177, 1998.
- Wood, D. A bibliography of chemical kinetics and equilibrium instructional models. *School Science and Mathematics*, 75(5), 627-633, 1975.
- Zook, K. Effect of analogical processes on learning and misrepresentation. *Educational Psychology Review*, 3(1), 41-72, 1991.