

Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química

Andrés Raviolo*

ABSTRACT (Models, analogies and metaphors in chemistry teaching)

Models, analogies and metaphors are strategies for constructing the knowledge because they construct, compare and evoke images. Models, analogies and metaphors are frequently used in chemistry teaching although of a non conscious or planned way. In this article, the relationships between models, analogies and metaphors are presented. Some conclusions about teaching with them are also showed. This work is based on the plenary conference presented for the author in the V International Meeting of Chemistry Teaching at College and Precollege Levels, Santiago de Chile, November 13-16, 2007.

KEY WORDS: Models, Analogies, Metaphors, Chemistry Teaching.

Precisando términos

Las palabras modelo, analogía y metáfora se usan frecuentemente como sinónimos y se confunden con otros términos como: símil, modelo analógico, ejemplo, demostración, simulación, animación, prototipo, análogo concreto, maqueta, imagen, etc. La situación se torna aún más compleja por el hecho de que estos términos están presentes en ámbitos y procedimientos diferentes como el pensamiento diario, el lenguaje cotidiano, la psicología, la metacognición y también en —y nos interesa particularmente— la enseñanza y la naturaleza de la ciencia.

El objetivo de este trabajo es desarrollar el tema de los modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química, profundizar en lo que tienen en común y de diferente estos tres conceptos, y realizar una reflexión pedagógica sobre su uso.

Deliberadamente en este trabajo se emplearán modelos, analogías y metáforas para referirse a modelos, analogías y metáforas y sus implicaciones en la enseñanza, mostrando un juego de relaciones recíprocas y aprovechando el potencial explicativo de ellos.

Modelo

Es una representación simplificada de un hecho, objeto, fenómeno, proceso, que concentra su atención en aspectos específicos del mismo, y tiene las funciones de describir, explicar y predecir. Es una construcción humana abstracta utilizada para conocer, investigar, comunicar, enseñar.

Un modelo es una herramienta de investigación que se emplea para obtener información acerca del objeto de estudio, el cual no puede ser observado o medido directamente

(ej: átomo, molécula, estrella, agujero negro). Tiene ciertas relaciones o analogías con el objeto de estudio que permiten al investigador derivar hipótesis del mismo, pero un modelo siempre difiere en ciertos aspectos del objeto. Dependiendo de los intereses de una investigación específica algunos aspectos del objeto son deliberadamente resaltados y otros son excluidos del modelo.

Los modelos están asociados a imágenes o representaciones de los modelos como, por ejemplo, las distintas representaciones de los modelos atómicos.

Analogía

Es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento (Duit, 1991). Comprenden: (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base) 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.

Por ejemplo las analogías de: choques de bolas de billar (modelo cinético molecular), analogías con bolitas dentro de una botella (diferencias entre sólido, líquido o gas), el auto que tiene subir una montaña (energía de activación), el pintor y el despintor (equilibrio químico), la pelea de puños (teoría de las colisiones de la reacción química), etc.

Es posible abstraer y/o poner en palabras el concepto superordinario (un modelo) que incluye al análogo y al objetivo como subordinados. Por ejemplo, en la analogía de la estantería de libros para el átomo de Bohr, el concepto superordinario es “un sistema de almacenamiento en gradas” (Glynn, 1991).

Metáfora

Es una figura del lenguaje por la cual se transporta el sentido de una palabra a otra mediante una comparación mental. Las

*Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Argentina.

Correo electrónico: araviolo@bariloche.com.ar

expresiones metafóricas evocan: “a la luz de la ciencia”, “el árbol de la vida”, “la red cristalina”, “la nube electrónica”.

La metáfora es una figura que cambia el sentido de las palabras. Tomadas literalmente son absurdas, son falsas: “la química abre una *ventana* al mundo microscópico”, “un polisacárido es como *un tren de carga*”, “el mol es la *docena* del químico”, “los electrones de valencia son el *pegamento* de los átomos”. “... en un *mar* de electrones de valencia deslocalizados”, “los espectros de emisión de líneas son las *huellas digitales* de los átomos”, “el CO es el *enemigo invisible*”, “la *familia* de hidrocarburos”.

Al contrario de las analogías, comparan sin hacerlo explícito, son un tipo de analogía extremo. Evocan imágenes y pueden ser poéticas, como la siguiente metáfora para el enlace puente hidrógeno: “como la atracción de un colibrí hacia una flor, fuerte y direccional, y también precioso”.

Para un especialista químico las palabras “red” (cristalina) o “nube” (electrónica) no tienen la connotación metafórica que tiene para una persona que comienza a estudiar química.

Analogía y modelo

A menudo suelen usarse los términos analogía y modelo indistintamente. Contribuye a ello el hecho de que en toda analogía hay un modelo, considerado como la abstracción de las correspondencias entre ambos dominios (concepto superordinario). A su vez, los modelos guardan cierta analogía (semejanzas, relaciones) con el sistema que representan, de manera que se puedan derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba. Por ello, algunos autores llaman modelos analógicos a los modelos científicos, por ser una representación simplificada o exagerada de un objeto o proceso, donde existe una evidente correspondencia entre el modelo y el fenómeno científico que describe y explica su estructura y funciones (Harrison y Treagust, 2000).

Pero a diferencia de las analogías, los modelos pueden no mantener la similitud estructural entre los dominios. Un modelo es una construcción abstracta, no es una copia de la realidad; por el contrario, puede resultar más útil cuanto más difiere de ella. Por ejemplo, los modelos de “gas ideal” u “orbital atómico”. Un modelo es una construcción hipotética, una herramienta de investigación útil para obtener información acerca de un objeto de estudio que no puede ser observado o medido directamente, no se basa, como una analogía, en un dominio conocido.

Analogía, símil, metáfora y ejemplo

Como se mencionó anteriormente las metáforas constituyen un caso extremo de analogía que compara sin hacerlo explícito. Entre ambas se ubica el caso de los *similes*, comparaciones donde se utiliza la palabra “como”: “los átomos son a un cristal lo que los nudos a una red” (analogía), “un cristal es como una red” (símil), “la red cristalina” (metáfora).

La metáfora debe generar una tensión dinámica entre el análogo y el término. Deben ser diferentes a “primera vista” para provocar al pensamiento: “la ignorancia es una enfermedad”. No deben estar demasiado cercanos, ser *ejemplos*: “la gri-

pe es una enfermedad”, ni demasiado lejanos, que no halla relación: “la pintura es una enfermedad”.

La diferencia entre un ejemplo y una analogía es que entre los ejemplos y el concepto existe una relación jerárquica, el concepto es de mayor generalidad, se construye inductivamente desde los ejemplos. En cambio, en las analogías no existe una relación jerárquica entre análogo y objetivo, están en el mismo nivel.

En forma similar al concepto superordinario de las analogías, también existe una abstracción detrás de las metáforas, algunos autores hablan de una similitud ontológica entre término y análogo (Ogborn y Martins, 1996), que pertenecen al mismo tipo de entidad o de evento. En el caso anterior ignorancia y enfermedad son dos estados de hechos evitables, factibles a remediar. En la metáfora “los virus son *intrusos invisibles*”, término y análogo son entidades causales, y en la metáfora “el dióxido de carbono de la atmósfera es un *invernadero* en el cielo” son entidades materiales.

Clasificaciones de modelos

Black (1962) clasifica a los modelos en: a escala, análogos, matemáticos, teóricos y arquetipo; a su vez, Gilbert (1991) en: bases de datos, representaciones, analogías, simulaciones, procedimentales y conceptuales/teóricos. A estas clasificaciones se suman las de Harrison y Treagust (2000) en modelos analógicos y la de Gilbert y Boulter (2000) de acuerdo al estatus ontológico de los modelos.

Tomadas estas clasificaciones en conjunto se aprecia que toda representación podría ser considerada un modelo; por eso, algunos autores hablan de modelos científicos en un sentido estricto, como los que cumplen ciertas condiciones (Van Driel y Verloop, 1999). Por ejemplo, un modelo a escala no es considerado un modelo científico en un sentido restringido, porque se puede acceder al objeto que representa en forma directa. Tampoco un modelo puede interactuar directamente con el objeto; así, una fotografía o un espectro de líneas de emisión no son considerados modelos. Por otro lado, los modelos a escala refuerzan la concepción alternativa, frecuente en alumnos, de que un modelo es copia de la realidad, que un modelo es mejor cuanto más se asemeja a lo real.

Modelo científico y modelo enseñado

En la enseñanza el término modelo se usa, fundamentalmente, con dos significados: como contenidos a enseñar o como recursos didácticos (ver cuadro 1).

Cuadro 1: Uso de modelos en la enseñanza.

Modelos como contenidos

- modelo científico y modelo histórico
- modelo del currículo o curriculares
- modelo enseñado

Modelos como recursos didácticos

- modelo analógico didáctico
- modelo concreto

Los modelos surgen en un determinado contexto histórico. Así, se considera como *modelos científicos* a los vigentes, a aquellos modelos aceptados, verificados y consensuados por la comunidad científica. En cambio, los *modelos históricos* son modelos científicos producidos en un contexto específico que han sido reemplazados o sustituidos por el avance de la ciencia. Por ejemplo, los modelos atómicos de Thomson o de Rutherford.

Los diseñadores del currículo y los autores de libros de texto seleccionan y adaptan modelos científicos y modelos históricos que consideran apropiados que se enseñen en ese nivel educativo. Estos *modelos del currículo o curriculares* forman parte de los contenidos a enseñar (Gilbert y Boulter, 2000).

Los modelos científicos son construcciones “eruditas” que apelan a términos abstractos. Presentan hipótesis con un alto nivel de abstracción con respecto a un campo problemático de la realidad, acompañados con un alto grado de formalización. Estos modelos científicos sufren una transformación o transposición para convertirlos en contenidos escolares, en modelos del currículo. Por ejemplo, el modelo cinético molecular (modelo científico) se transforma, como modelo curricular, en una serie de 4 postulados con poco grado de formalización (Chang, 1999). En este texto de química general universitaria la formalización no va más allá de incluir alguna ecuación del tipo: $EC \propto T$ (la energía cinética promedio de una molécula es proporcional a la temperatura absoluta) y se observa que pone el énfasis no en aspectos matemáticos del modelo sino en su gran poder explicativo: se usa explícitamente para explicar las leyes de los gases.

Los profesores, a su vez, suelen simplificar o acotar los modelos curriculares como contenidos de enseñanza, y surgen las versiones de aula o *modelos enseñados*. Éstos constituyen representaciones intermediarias orientadas a alcanzar la comprensión de los modelos del currículo. Estos modelos enseñados tienen como referente a los modelos eruditos, aunque se diferencian de ellos en que buscan resolver problemas escolares, que tengan sentido para los estudiantes en una clase de ciencias.

También los profesores utilizan *modelos analógicos didácticos* que constituyen recursos didácticos. Por ejemplo: los modelos con partículas (submicroscópicos) utilizados en los trabajos sobre el aprendizaje conceptual de la química (Nurrenbern y Pickering (1987), Sawrey (1990), Raviolo (2001), etc.), el gas antropomórfico para energía interna y temperatura (Zamorano y otros, 2006), el modelo de cuadros y puntos para el concepto de concentración de disoluciones (Raviolo, 2004), el modelo de cuadros y puntos para el concepto de densidad (Raviolo y otros, 2005), calor y capacidad calorífica (Zamorano y otros, 2007), etc.

Suelen llamarse *modelos concretos* a los modelos presentados a través de objetos de tres dimensiones. Por ejemplo, modelos moleculares, maqueta del sistema solar, pelotas unidas por resortes, máquinas y dispositivos para el equilibrio químico (Raviolo y Garritz, (2007a), modelos submicroscópicos

con imanes (Gabel y otros, 1992), etc., Por sus correspondencias analógicas algunos suelen llamarse *análogos concretos*. Con estos recursos didácticos se espera que los alumnos abstraigan el concepto de estas representaciones y no se queden con lo concreto o anecdótico.

Como se aprecia, no existe un límite muy preciso para diferenciar un modelo analógico de una analogía en la enseñanza, se puede afirmar que la diferencia suele radicar en la utilización de representaciones abstractas o simbólicas en los modelos, y de objetos–procesos conocidos (incluyendo animales o personas) en las analogías: por ejemplo, las moléculas como puntos o las moléculas como pelotas de ping pong.

Los libros de texto incluyen modelos curriculares y modelos didácticos, también analogías y metáforas, y prestan cada vez más atención al uso de las imágenes. Los modelos del currículo están asociados a imágenes, que constituyen las representaciones del modelo, por ejemplo las imágenes de los modelos del átomo; estas imágenes, a su vez, suelen estar asociadas a otras imágenes provenientes de analogías: la esfera (Dalton), el pastel con pasas (Thomson), el sistema solar (Rutherford), la estantería de libros (Bohr), la nube (actual). Los modelos didácticos ayudan a construir imágenes en los estudiantes (o modelos mentales) de objetos, fenómenos o procesos, contenidos de la enseñanza. Así, modelos, analogías y metáforas respectivamente construyen, comparan y evocan imágenes.

Analogías para el concepto de modelo

Dos analogías son efectivas para construir el concepto de modelo y vivenciar el proceso de modelización: la analogía del mapa y la analogía de la caja negra.

En la analogía del mapa (Smith, Snir y Grosslight, 1992) se entrega a cada grupo de alumnos distintos tipos de mapas de una misma ciudad, por ejemplo: mapa callejero, mapa de transporte, mapa de subterráneos y mapa turístico, y se les pregunta: ¿qué muestra cada mapa?, ¿es un mapa mejor que otro?, ¿puede el mapa ser igual o copia de lo que representa?, ¿un mapa puede no tener nada que ver con lo que representa?, ¿una foto es un mapa?, ¿y una foto satelital?, ¿cuáles son las funciones del mapa?, ¿cuándo decimos que un mapa está bien hecho?, ¿será útil un mapa viejo? Se explicitan las correspondencias entre mapa y modelo. La discusión se orienta para concluir con la idea de que cada mapa fue diseñado para un propósito diferente, que no hay un mapa mejor que el otro; que el mapa sirve para moverse en un terreno desconocido, para predecir el siguiente paso, para tomar decisiones; que un mapa puede ser más o menos abstracto pero mantiene algunas relaciones con lo que representa; que un mapa no puede proveer toda la información acerca de algo, la persona que hace el mapa necesita decidir cuál es la información relevante y luego presentarla en forma clara, precisa y accesible.

La analogía de la caja negra es una comparación ya clásica, fue propuesta, por ejemplo por Haber-Schaim y otros (1979) y permite relacionar hipótesis, experimento y modelo. Algunas correspondencias analógicas con el concepto de modelo a las que se arriban son:

- El modelo surge como respuesta a un problema, a una pregunta, delimita el objeto de estudio (¿Cuál es la composición y estructura de la unidad llamada caja negra? ¿Cuál es la composición y estructura del átomo?)
- Se modeliza con fenómenos a los que no se puede acceder directamente, por ser muy pequeños, muy grandes, muy lejanos, muy peligrosos, etc. (la caja no se puede abrir)
- Los experimentos que realiza un grupo tienen que poder ser reproducidos o repetidos con los mismos resultados por otro grupo (utilizar cajas negras iguales)
- La representación y los postulados definitivos del modelo se logran como producto de acuerdos entre científicos (puesta en común entre los diferentes grupos, logro de un consenso)
- El conocimiento obtenido sobre el objeto de estudio nunca será completo o exacto. Si tendrá que ser consistente y útil (la representación del contenido de la caja negra permite realizar predicciones)
- El conocimiento previo, las teorías del experimentador, influyen en las observaciones (por ejemplo, los alumnos suponen el material de los objetos incluidos en la caja sobre la base de su experiencia previa)
- Los modelos son dinámicos, nuevos descubrimientos o nuevas observaciones pueden llevar a revisar, adecuar o rechazar el modelo (ej. los resultados obtenidos por el uso de un imán, o por un descubrimiento sorprendente como los rayos X: una radiografía de la caja negra)

Analogías y metáforas sobre el conocimiento químico

En la epistemología de las ciencias abundan las metáforas y las analogías. Al respecto, hemos armado a modo de ejemplo el siguiente párrafo: El conocimiento químico es un *edificio* de conceptos interconectados (aspecto abstracto) *construido* sobre una *sólida base* de experimentos y observaciones (aspecto empírico). En esta *construcción*, los conceptos más básicos están *ligados* íntimamente a los fenómenos (surgen de la experiencia directa con nuestros sentidos). Estos conceptos se *en-cadenan* entre sí dando lugar a esquemas conceptuales más abstractos (leyes, modelos, teorías), *más altos* en el edificio. Los conceptos y definiciones operacionales están en el *primer piso* de este edificio (por ej. la definición de densidad como el cociente entre la masa y el volumen de una muestra de sustancia). Los *pisos* siguientes los ocupan definiciones teóricas, que se refieren a conceptos teóricos (no a operaciones a realizar) *bajo el techo* de una teoría determinada. Una buena teoría es *resistente, robusta*, no se *desmorona* fácilmente. El derrumbe de un modelo no siempre anula o *arrastra* a una teoría.

Otra muy frecuente: A la *luz* de la ciencia. Los modelos deben *iluminar el terreno* no transitado, es decir ofrecer predicciones sobre *observaciones* aún no realizadas.

Metáforas en relación con las analogías y los modelos

Los científicos y los expertos, usan modelos y analogías para investigar y comunicar. Al aprender con modelos y analo-

gías se está construyendo ideas o concepciones sobre la naturaleza de las ciencias. Algunas metáforas que decantan de ese proceso:

- “Los modelos son *puentes* entre la teoría y la realidad”
- “Los modelos constituyen los *intermediarios visibles* entre el mundo imaginario (las teorías) y el mundo real”
- “Las analogías y modelos son *herramientas o atajos* para la comprensión”
- “Las analogías actúan como *puentes* que acortan las distancias entre aquello que el docente quiere que el alumno aprenda y lo que el alumno realmente aprende”
- “Los modelos y las analogías funcionan como *lentes conceptuales*: focalizan o *ponen el foco* en diferentes aspectos del concepto”

Si las teorías comprenden una población de modelos y varias hipótesis que relacionan estos modelos con sistemas del mundo real, si los modelos constituyen los intermediarios visibles entre el mundo imaginario y el real, su relevancia en educación es evidente, porque son más visibles que las teorías. Por otro lado, si los modelos focalizan en distintos aspectos de un fenómeno será necesario presentar en la enseñanza varios análogos para el mismo objetivo.

La analogía como recurso de enseñanza

Las analogías constituyen un recurso variado y dinámico en la enseñanza porque se pueden abordar a través de diversos medios: un juego, un experimento, una historia, un modelo, un dispositivo, un problema, etc. Por ejemplo, la historia del basurero propuesta por el proyecto CHEM Study sobre por qué creemos en la existencia de los átomos.

Algunas analogías utilizan un concepto ya enseñado para abordar uno nuevo, como un modo de integración intra-asignatura, por ejemplo la presentación del equilibrio líquido-vapor (equilibrio de fases) para introducir el equilibrio químico. Aquí el equilibrio dinámico es el concepto superordinario.

Existen varias categorías utilizadas frecuentemente para clasificar a las analogías que aparecen tanto en textos como en las clases, por ejemplo los criterios utilizados por Curtis y Reigeluth (1984). De acuerdo con esta clasificación una **buena analogía** sería la que: (a) presenta muchas correspondencias (estructurales y funcionales), (b) se muestra con un formato mixto (verbal y pictórico), (c) utiliza un análogo concreto (bien familiar) para un objetivo abstracto, (d) puede enriquecerse fácilmente con correspondencias y limitaciones, (e) el objetivo admite varios análogos y (f) puede emplearse en distintos momentos de la presentación del tema (organizador previo, activador, sintetizador).

Aprendizaje con modelos, analogías y metáforas

Aunque las analogías contribuyen a la enseñanza ayudando a la visualización de conceptos abstractos, suelen presentar su lado negativo como puede ser la generación de comprensiones erróneas:

- La analogía en sí misma es asumida como el objeto de estudio
- La atribución incorrecta de atributos del análogo al objetivo
- La sola retención de aspectos superficiales o pintorescos
- La no abstracción de las correspondencias entre los dominios

Las analogías comparten estas dificultades con los modelos usados para enseñar:

- A los modelos suele asignarse características reales de lo modelado (“el átomo de cobre es maleable”, “las moléculas líquidas”)
- Son concebidos como meras descripciones, una comprensión ingenua del papel que cumplen en la ciencia
- Les otorgan estatus de realidad, especialmente a los modelos.

También en las clases hay que tomar precauciones con el uso de análogos antropocéntricos o animistas, que además de propiciar las dificultades mencionadas, conducen a una infantilización del discurso de aula.

No siempre docentes y alumnos son concientes de estas dificultades. La construcción de modelos mentales es una actividad que se realiza aun pasivamente, es decir, incluso cuando el alumno está aparentemente distraído.

Enseñanza con modelos, analogías y metáforas

Es ampliamente reconocido que el empleo de modelos, analogías y metáforas aporta elementos motivacionales en las clases. Para mejorar su propia eficiencia es importante que sean complementarias a otras estrategias, que no sean el único recurso pedagógico.

Hay consenso en la investigación de que si causan confusiones o concepciones alternativas se debe a su presentación asistemática tanto de profesores como de autores de libros. Los estudiantes suelen sacar conclusiones erróneas del objetivo cuando sólo se esbozan las analogías y modelos, cuando son abordadas superficialmente.

Por ello, y como producto de la experiencia y de la investigación se han sugerido secuencias para enseñar con analogías. Por ejemplo, la secuencia TWA (Glynn, 1991), que consta de seis pasos: (1) introducir el concepto objetivo; (2) recordar el concepto análogo (activarlo); (3) identificar características relevantes del objetivo y del análogo; (4) establecer las correspondencias de similitudes (transferir y aplicar); (5) indicar las limitaciones de la analogía, y (6) sacar conclusiones. El orden de estos pasos puede variar pero lo importante es que se den todos los pasos.

La efectividad de una analogía estará dada por el conocimiento de los atributos del análogo y por el aprovechamiento que pueda hacerse de los atributos compartidos.

Recientemente, Harrison y Coll (2008) presentaron la guía FAR: Foco, Acción y Reflexión (ver cuadro 2).

Integrando los aportes de éstos y otros autores Raviolo y

Cuadro 2. Guía FAR para la presentación de analogías.

Foco
<i>Concepto:</i> ¿Es difícil, no familiar, abstracto?
<i>Estudiante:</i> ¿Qué conocen ya sobre el concepto?
<i>Análogo:</i> ¿Es familiar el análogo a los estudiantes?
Acción
<i>Similitudes:</i> Discutir características análogo y concepto y establecer semejanzas
<i>Diferencias:</i> Discutir dónde el análogo es distinto al concepto
Reflexión
<i>Conclusiones:</i> ¿Fue el análogo claro, útil o confuso?
<i>Mejoramiento:</i> ¿Qué cambios haría la próxima vez con esta analogía, a la luz de los resultados obtenidos?

Garritz (2007b) propusieron un decálogo sobre el uso de analogías en la enseñanza.

Otras tres actividades son poco frecuentes y sin embargo muy apropiadas:

- Generación de analogías: los alumnos crean, aplican y modifican sus propias analogías.
- Uso de Internet: los estudiantes en su casa o en el colegio buscan en la Web analogías, modelos y simulaciones, y las analizan. Llevan al aula los resultados y conclusiones.
- Evaluación con analogías y modelos: los alumnos son evaluados con actividades similares que incluyen modelos y/o analogías. Las imágenes están presentes en la evaluación.

Algunas conclusiones de la investigación

A continuación se enumeran algunas conclusiones relevantes aportadas por la investigación sobre modelos y analogías en las clases de ciencias:

- Modelos, metáforas y analogías forman parte natural de la explicación, muchas veces el profesor no es conciente de que los está usando. Su presentación no siempre es planificada, sigue un criterio intuitivo sin una reflexión pedagógica sobre su uso.
- Surgen automáticamente, especialmente ante preguntas de los alumnos o ante la percepción de la cara de desconcierto de los estudiantes. Suelen comenzar con expresiones coloquiales: “es como”, “es parecido a”, “es lo mismo que”, “es lo opuesto a”, “se puede representar como”.
- Rara vez se mencionan en clase las limitaciones (menos aún se discuten en grupo), a pesar de que los profesores cuando son entrevistados destacan que es un aspecto importante.
- Se aconseja que las correspondencias y limitaciones se negocien con los alumnos. Esto implica escucharlos, en especial a los alumnos con más dificultades de abstracción.
- Se sugiere evitar las analogías improvisadas y utilizar analogías testeadas y cuidadosamente preparadas, usar el conocimiento didáctico sistematizado.
- Los estudiantes de profesorado de ciencias reconocen el valor de las analogías pero tienen poca conciencia de sus dificultades.

- Surgen problemas cuando se solicita a los alumnos que aprendan modelos de la misma forma que se les pide que aprendan hechos observables.
- Estudios que indagan cómo los científicos (los expertos) usan, o usaron históricamente, modelos y analogías para investigar y comunicar, resultan útiles para elaborar propuestas para la enseñanza.
- Los alumnos aprenden mejor el contenido si son conscientes de que están usando modelos, metáforas y analogías. Y, más aún, aprenden mejor el contenido si conocen sobre la naturaleza de los mismos.

Metáforas finales

A modo de conclusión, nada más coherente al espíritu de lo abordado que utilizar metáforas para finalizar este artículo.

En relación a las concepciones erróneas que pueden promover las analogías:

“Las analogías son una *espada de doble filo*”

“El *lado oscuro* de la analogías”

“Llevan la analogía *demasiado lejos*”

“Identificar dónde la analogía se *quiebra*”

“Pueden dar lugar al *nacimiento de más monstruos que bebés saludables*”

Respecto a la necesidad de realizar una presentación sistemática de ellos, no librada al azar:

“Los modelos mentales iniciales sirven de *anclaje* de los nuevos modelos”

“*Sacarle el jugo* al uso didáctico de analogías y modelos”

“Es importante *negociar* el significado que se les otorga tanto a correspondencias como limitaciones”

“Son una *vía rápida* de aprendizaje, se aprende en corto plazo. Son como una *copiadora rápida*, necesita una revisión”

“Las analogías son *como un paracaídas*: son útiles mientras llegamos al destino, luego tenemos que desprendernos de ellas porque dificultan avanzar”

“Que el alumno sea *protagonista* y no mero *espectador*”.

Bibliografía

Black, M., *Models and metaphors*, New York, Cornell University Press, 1962.

Chang, R., *Química* (6ª edición), México, McGrawHill, 1999.

Curtis, R. y Reigeluth, C., The use of analogies in written text, *Instructional Science*, **13**, 99-117, 1984.

Duit, R., On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, **75**(6), 649-672, 1991.

Gabel, D., Briner, D. y Haines, D., Modelling with magnets, *The Science Teacher*, **59**(3), 58-63, 1992.

Gilbert, S., Model building and a definition of science, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(1), 73-79, 1991.

Gilbert, J. K. y Boulter, C. (eds.), *Developing models in science education*, Dordrecht, Kluwer, 2000.

Glynn, S., Explaining science concepts: a teaching with analogies model. En Glynn y otros (eds.), *The psychology of learning science*, Hillsdale, Erlbaum, 1991.

Haber-Schaim, U., Cross, J., Abegg, G., Dodge, J. y Walter, J., *Curso de introducción a las ciencias físicas*, Barcelona, Ed. Reverté, 1979.

Harrison, A. y Treagust, D., A typology of school science models, *International Journal of Science Education*, **22**(9), 1011-1026, 2000.

Harrison, A. y Coll, R. (eds.), *Using analogies in middle and secondary science classrooms*, California, Corwin Press, 2008.

Nurrenbern, S. y Pickering, M., Concept learning versus problem solving: is there a difference?, *Journal of Chemical Education*, **64**(6), 508-510, 1987.

Ogborn, J. y Martins, I., Metaphorical understandings and scientific ideas, *International Journal of Science Education*, **18**(6), 631-652, 1996.

Raviolo, A., Assessing students' understanding of solubility equilibrium, *Journal of Chemical Education*, **78**(5), 629-631, 2001.

Raviolo, A., Siracusa, P., Gennari, F. y Corso, H., Utilización de un modelo analógico para facilitar la comprensión del proceso de preparación de disoluciones, *Enseñanza de las Ciencias*, **22**(3), 379-388, 2004.

Raviolo, A., Moscato, M. y Schnersch, A., Enseñanza del concepto de densidad a través de un modelo analógico, *Revista de Enseñanza de la Física*, **18**(2), 93-103, 2005.

Raviolo, A. y Baumgartner, E., La analogía de la pelea de puños para la teoría de colisiones, *Educación en la Química*, **12**(3), 109-110, 2006.

Raviolo, A. y Garritz, A., Analogías en la enseñanza del equilibrio químico, *Educ. quim.*, **18**(1), 16-29, 2007a.

Raviolo, A. y Garritz, A., Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios, *Alambique*, **51**, 28-39, 2007b.

Sawrey, B., Concept learning versus problem solving: revisited, *Journal of Chemical Education*, **67**(3), 253-254, 1990.

Smith, C., Snir, J. y Grosslight, L., Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation, *Cognition and Instruction*, **9**(3), 221-283, 1992.

Van Driel, J. y Verloop, N., Teachers' knowledge of models and modelling in science, *International Journal of Science Education*, **21**(11), 1141-1153, 1999.

Zamorano, R., Gibbs, H., Moro, L. y Viau, J., Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura, *Revista Eureka*, **3**(3), 392-408, 2006.

Zamorano, R., Gibbs, H., Viau, J. y Moro, L., Calor y capacidad calorífica. Un modelo analógico como herramienta cognitiva, *Revista de Educación en Ciencias*, **8**(2), 111-115, 2007.