

Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje

Minerva Guevara S.,¹ y Ricardo Valdez G.²

Abstract (*Models in chemistry teaching: some difficulties associated to its learning and teaching processes*)

This work makes a revision about the model's characteristics and classification for science teaching; it also concentrates the most relevant student's difficulties in learning process reported by literature in this field. With this results we propose some pedagogical recommendations, based in student centered learning, in order to improve chemistry classroom achievements. As a result of this approach an analysis about the teacher's skills needed is initiated.

Sin duda, existen algunos temas importantes que permean a la ciencia, las matemáticas y la tecnología. Estos temas aparecen una y otra vez, ya sea que se esté estudiando una civilización antigua, el cuerpo humano, la estructura de una biomolécula o un cometa. Son ideas que trascienden los límites de una sola disciplina y revelan su poder fructífero en la explicación, elaboración de una teoría, una observación y un diseño (AAAS, 1997). Dentro de estos temas se encuentran los modelos científicos.

En la época actual, claramente orientada a lo visual, la educación científica y tecnológica recurre con frecuencia al uso de imágenes y prototipos para representar diversos aspectos técnicos. Los estudiantes de hoy viven en un ambiente de información saturado de representaciones donde los materiales didácticos que se les presentan en clase no son la excepción (Lowe, 2000). Debido a que estos materiales deben competir por captar el interés de los estudiantes que se encuentran rodeados por un rico entorno visual, en la actualidad todo tipo de mate-

riales didácticos, desde los libros de texto convencionales hasta la tecnología pedagógica de última generación, contiene abundantes imágenes y representaciones. En el área de la educación química y tecnológica estas representaciones son muy diversas, desde dibujos y diagramas, fotografías de gran realismo hasta gráficos y fórmulas muy abstractas (Lowe, 1997).

Características generales de los modelos

Un modelo es una construcción imaginaria (por ende arbitraria) de un(unos) objeto(s) o proceso(s) que reemplaza a un aspecto de la realidad a fin de poder efectuar un estudio teórico por medio de las teorías y leyes usuales (Bunge, 1976). Es una representación simplificada de la cual se espera que ayude a entender mejor lo modelado y puede ser un aparato, un prototipo, un plan, un diagrama, un dibujo, una ecuación o un programa de computadora: proveen los medios para explorar, describir y explicar diversas ideas científicas y matemáticas, además de contribuir a que la ciencia sea más relevante e interesante (Harrison *et al.*, 2000). Su valor radica en la sugerencia de cómo funcionan o podrían funcionar las cosas (Van Driel *et al.*, 1999).

Como los sistemas reales de interés son de por sí usualmente muy complejos para estudiarlos directamente, se les reemplaza por un modelo que es más sencillo de manejar y cuyo comportamiento se aproxima al referente bajo varias condiciones bien definidas.

El modelo debe facilitar la visualización y/o comprensión conceptual del objeto modelado¹ y además permitir un tratamiento cuantitativo, el cual conlleve una adecuada interpretación y, en el peor de los casos, constituya una primera aproximación al comportamiento del objeto que el modelo repre-

¹ Coordinadora del proceso de evaluación de los libros de texto de química para su uso en la escuela secundaria por parte de la Secretaría de Educación Pública.

Correo electrónico: arminer@prodigy.net.mx

² Subdirector de Física y Química de la Dirección de Ciencias Naturales, DGMyme, SEByN, SEP. Dirección de Ciencias Naturales, SEP, Av. Cuauthémoc 1230, 3er piso, Col. Santa Cruz Atoyac, 03310, México, D.F.

Correo electrónico: rvaldez@sep.gob.mx

¹ Es necesario aclarar que aquellos modelos que sean utilizados en ambientes científicos requieren de una herramienta conceptual más amplia para poder ser interpretados; asimismo, sus predicciones y analogías con el fenómeno modelado que sean útiles al trabajo son más complicadas de hacer observables.

Clasificación de modelos.

Tipo	Características
Iconográfico	Se basa en similitud en cuanto forma con el objeto.
Analógico	Mantiene algunos aspectos de forma del objeto pero da énfasis a las propiedades funcionales o de comportamiento del objeto.
Simbólico	No considera la analogía de forma con el objeto y sólo se basa en la analogía funcional con ésta. De este tipo son los modelos matemáticos.

sentada. Asimismo, un modelo apropiado debe poder ser refinado conduciendo así a la comprensión más clara y profunda del sistema real.

Como imagen particularizada y simplificada de un aspecto de la realidad, un modelo es por definición incompleto respecto del referente, el cual usualmente es un sistema complejo. Sólo algunas características del referente o sistema objeto se encuentran presentes en el modelo. Es muy común que existan diferentes modelos referidos al mismo sistema objeto. Estos modelos pueden seleccionar diferentes propiedades del referente debido a que hay distintas concepciones respecto de la que esencialmente caracteriza al mismo o porque hay distintos aspectos del objeto que se desean modelar.

Cuando un modelo no representa adecuadamente el fenómeno, la naturaleza de la discrepancia es una clave de la forma en que puede mejorarse el modelo. Sin embargo, los modelos también pueden ser engañosos, sugiriendo características que realmente no se comparten con lo que se toma de referencia (AAAS, 1997).

Componentes de los modelos químicos.

Tipo	Características
Material	La parte material del modelo es la porción de materia descrita por el modelo. La misma puede corresponder a la parte efectiva de materia en la cual el fenómeno se observa o puede estar constituida por una reducción o simplificación apropiada de ella.
Físico	Los aspectos físicos del modelo consideran de un modo explícito o implícito las interacciones físicas del objeto. En algunos casos es conveniente introducir una distinción entre aquellas interacciones que involucran sólo elementos del sistema material e interacciones del sistema con el medio externo.
Matemático	Las características matemáticas del modelo son los métodos y aproximaciones usadas para describir cuantitativamente las interacciones físicas en el modelo material.

Clasificación de los modelos

En la Química, debido a lo complicado de los sistemas, el proceso de construcción de modelos es complejo. El modelo comienza a partir de una interpretación preliminar de las características del sistema objeto y uno de los posibles usos del modelo es justamente obtener una mejor definición del objeto mismo. Se llega a establecer así un ciclo interactivo, donde el modelo preliminar se emplea para llegar a una apropiada definición del objeto, y que posteriormente permitirá obtener un modelo satisfactorio por medio de aproximaciones sucesivas, en tanto no aparezcan fallas o colapsos definitivos.

Existen tres tipos de modelos: iconográfico, analógico y simbólico.

Los modelos analógicos son usados con mayor frecuencia para explicar los conceptos científicos en todos los niveles de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, si bien son herramientas epistemológicas y motivacionales útiles en el aprendizaje y enseñanza de la Química, debe tenerse mucho cuidado en su uso (Harrison *et al.*, 2000 y 1996). Debido a las particularidades que presenta el estudio de la Química es conveniente introducir una distinción entre los componentes de los modelos.

En el campo de la Química el propósito de un modelo es el de ayudar a interpretar los fenómenos químicos, permitir la predicción del comportamiento de sistemas químicos bajo condiciones específicas impuestas por el entorno circundante y establecer las adecuadas correlaciones entre conjuntos bien definidos de datos experimentales y cálculos teóricos. Estas tres características se pueden vincular con el empleo sistemático de un buen modelo (Castro, 1992).

Los sistemas objeto en la Química son muy complejos. En efecto, aun en el caso del simple átomo de He no es posible conocer a partir de primeros principios su estructura electrónica.

Toda vez que se estudia un fenómeno químico, sea de forma primordialmente teórica o experimental (ya que no es posible establecer una partición tajante entre estos dos modos de análisis) (Garritz, 1997), inevitablemente se debe recurrir a alguna aproximación modelada por cuanto la limitación de nuestros sentidos no nos permite visualizar directamente los fenómenos y resultados emergentes de los experimentos. Y así, uno imagina de algún modo cómo suceden las cosas y esto equivale a decir que se ha establecido un modelo (Van Driel *et al.*, 1999).

Dificultades asociadas a la enseñanza y al aprendizaje de los modelos

En la enseñanza de la Química se utilizan diferentes modelos analógicos aunque se sabe poco acerca de cómo cada representación del estudiante interactúa con los diversos modelos presentados por los profesores y por los materiales didácticos empleados (Benarroch, 2000).

La importancia de esta cuestión radica en la multitud de trabajos que ponen de manifiesto que los alumnos tiene concepciones derivadas de una confusión entre conceptos pertenecientes a distintos modelos (partículas, átomos, moléculas, etc.) lo que les suele llevar a carecer de elementos diferenciadores entre mezclas y compuesto químicos (Sumfleth, 1998), entre cambios físicos y químicos (Driver *et al.*, 1996), y entre el modelo y el campo de referencia empírico que se intenta modelar (Barboux *et al.*, 1987).

Estas concepciones se deben, fundamentalmente, a tres causas (Pozo *et al.*, 1991):

- 1) Las concepciones espontáneas influenciadas por la percepción.
- 2) Las concepciones inducidas a través del lenguaje.
- 3) Las concepciones analógicas, producto de enseñanzas erróneas o no adaptadas a un nivel de conocimientos y potencialidades del alumno.

Esta tercera fuente de concepciones erróneas de los alumnos revela una serie de interpretaciones de los profesores sobre los modelos que llevan a los estudiantes a los malentendidos arriba mencionados:

- En general, no se contempla como parte del desarrollo del tema, algún momento para invitar al estudiante a hacer explícitos los modelos que ya posee, ni a construir activamente otros que sean de mayor aplicabilidad o que representen mejor un fenómeno, así como tampoco, en ninguno de los casos anteriores, a comprobarlos y predecir futuros hechos. Presentan los modelos que serán aprendidos como hechos estáticos (Van Driel *et al.*, 1999).
- Ante el hecho de que los estudiantes usualmente consideran que los modelos son representaciones exactas de la realidad, o bien en diferentes escalas, suelen no interesarse por dar elementos para que los alumnos logren tal diferenciación. La función de los modelos en la explicación y predicción de fenómenos observables son raramente reconocidos por estos estudiantes (Gilbert *et al.*, 1998).

- Los profesores mantienen diferentes creencias respecto de los modos de representar los modelos científicos, lo cual presenta una imagen poco coherente y sistemática de lo que un modelo significa en diferentes asignaturas. Por ejemplo, algunos consideran como un modelo un dibujo de una casa y otros rechazan el de una molécula de agua.

Como parte de la anterior falta de coherencia, los profesores enfatizan algunas de las funciones de un modelo. En especial han sido enfatizadas las funciones explicatorias y descriptivas de los modelos. Sin embargo, su utilización para la predicción y elaboración de hipótesis son raramente atendidas. También se utiliza la función ejemplificativa, la cual se considera poco apropiada para la enseñanza de las ciencias.

- Las diferencias entre los profesores y sus orientaciones epistemológicas son expresadas a través de la modelación en ciencia. La mayoría de los profesores muestran una orientación constructivista, indicando, por instantes, que los diferentes modelos pueden coexistir en el estudio de un objeto específico y que esto depende de la orientación teórica de la investigación que se realice. Otros profesores utilizan una lógica positivista considerando que el modelo es, la mayoría de las veces, lo más cercano posible a la realidad y que dicho modelo es anticuado cuando se obtienen nuevos datos (Van Driel *et al.*, 1999).
- Desaprovecha la oportunidad de fomentar el desarrollo de conocimientos declarativos y procedimentales (Aparicio, 1995) al centrar la propuesta en la construcción de representaciones de moléculas sin propiciar el análisis sobre las características del modelo ni la elaboración de predicciones (AAAS, 1993).

En particular habilidades como la de calcular, interpretar y analizar, son pocas trabajadas a propósito de la introducción de los modelos.

- Enseñar un determinado tema de Química implica necesariamente establecer con toda nitidez cuál o cuáles son los datos primarios (el experimento en sí), cuáles las leyes sobre las que se basarán la interpretación, análisis y eventual correlación o comparación, y cuál es el modelo (construcción imaginaria) que nos permita “ver” el fenómeno. Entre los problemas que se encuentran en la enseñanza de la Química, uno muy

común es confundir estos tres aspectos, y así se llegan a considerar como datos primarios ciertas construcciones inherentes a un determinado modelo y/o teoría.

Las metodologías modernas para la enseñanza de la Química (Barrow, 1991; Nieda *et al.*, 1998; Gil, 2000) exigen un significado dinámico del concepto modelo, mismo que refleje la relevante importancia que tiene este tema para la ciencia contemporánea (Hoffmann, 1997). De lo anterior se pueden derivar algunas recomendaciones pedagógicas acerca de la enseñanza con modelos:

- Los modelos analógicos abarcan los métodos, productos y las herramientas de enseñanza y aprendizaje de la ciencia. Como la mayoría de los modelos analógicos son diseñados por maestros y científicos, los estudiantes pueden no estar familiarizados con la analogía específica que se usa para explicar un objeto o concepto. Por lo tanto, los maestros deberían revisar regularmente la “visualización” que tienen los estudiantes respecto de cualquier metáfora, analogía o modelo que planeen usar en clase o que se encuentre en los libros de texto.
- Los aspectos centrales de las metáforas, analogías y características determinantes de los modelos importantes deben ser activamente discutidos con los estudiantes. No puede esperarse que los estudiantes interpreten adecuadamente modelos que no han sido diseñados por ellos o con los cuales no han experimentado. Aun cuando ellos aseguren “saber” acerca de las analogías, las metáforas o los modelos deben revisarse su comprensión antes de volver a utilizarlos.
- La naturaleza arbitraria de los modelos y su uso como herramientas del pensamiento deben hacerse explícitos. Si bien la naturaleza contradictoria de algunos modelos puede ser entendida por el maestro o por los autores de libros, los modeladores inexpertos (como los estudiantes) pueden no compartir esta visión. Los maestros deben tener en cuenta las diferencias entre modeladores expertos (como ellos mismos) y los modeladores novatos (sus estudiantes) (Pozo *et al.*, 1995).
- La validez y conveniencia de los modelos debe resaltarse desde un inicio y durante todas las discusiones de aprendizaje. La habilidad de modelar es una herramienta del pensamiento que no puede ser aprendida como un contenido, sólo se alcanza mediante la práctica y durante un periodo

de tiempo prolongado.

- Los maestros deben estar alertas de la evolución de las concepciones de los estudiantes respecto a las metáforas, analogías y modelos que se utilizan en las clases. En este sentido, destacan tres líneas de acción que parecen ser especialmente útiles: la escritura de explicaciones cualitativas del significado del modelo; la resolución de problemas basados en modelos y permitir que los estudiantes elaboren, jueguen y exploren con diferentes modelos. Los maestros que son sensibles a la evolución de las concepciones de los estudiantes parecen entender mejor la “zona de desarrollo proximal” de sus estudiantes. Este conocimiento les permitirá a los maestros presentar nuevos modelos analógicos o bien extender los modelos previos de tal forma que maximicen el aprendizaje de sus estudiantes.

Por lo que respecta a la formación continua de los profesores es necesario considerar:

- Dado que el conocimiento que los profesores tienen sobre los modelos científicos y sobre la modelación en ciencias es frecuentemente limitado y en muchas ocasiones incorpora inconsistencias, es conveniente acrecentar el conocimiento sobre este tema, por lo que se les debe proveer con información específica y literatura relevante.
- Además, es necesario que los profesores conozcan y discutan diferentes modelos, poniendo énfasis en las razones por las cuales éstos se consideran o no como ejemplos de modelos científicos. Lo anterior con la finalidad de identificar las características comunes de los modelos científicos. También es útil analizar los modelos propuestos por los libros de texto y discutir si cubren los requisitos de un modelo científico.
- Otro tipo de actividades específicas pueden ser aprovechadas para anticipar las orientaciones epistemológicas de los profesores. Por ejemplo, la coexistencia de varios modelos en el estudio de un mismo objetivo podría contribuir a clarificar el hecho de que un modelo no necesariamente comparte todas las características con el objetivo modelado. Muchos fenómenos químicos, por momentos, pueden ser adecuadamente explicados con un “modelo simple” de palos y pelotas para representar moléculas, en oposición a un modelo mucho más complicado que involucre, por ejemplo, la mecánica cuántica. Dichos ejemplos pueden promover la comprensión por parte de los

profesores del rol que juega la elaboración de preguntas relacionadas con los modelos seleccionados. Específicamente, las limitaciones de un modelo y la inclusión deliberada de diferencias entre el modelo y el objeto, son aspectos que se deben tomar en cuenta. Además, las discusiones sobre los análisis de diferentes modelos pueden contribuir a aclarar posibles inconsistencias de sus conocimientos sobre los modelos y la modelación en ciencias.

La enseñanza integral de la Química implica ofrecer las opciones necesarias para que el educando gane capacitación tanto en el terreno experimental y computacional como en el de la teoría y la interpretación. En particular, debe saber qué clase de modelo está usando y cómo manejarlo, teniendo claro cuáles son las limitaciones del mismo y cuáles sus posibles extensiones y generalizaciones. ▣

Referencias

- AAAS (1993), *Benchmarks for science literacy*, Nueva York, Oxford University Press.
- AAAS (1997), "Modelos" y "Temas comunes", en: *Ciencia: conocimiento para todos*, Oxford University Press/SEP (Biblioteca del Normalista), México, p. 172-176 y 169.
- Aparicio, Juan José (1995), El conocimiento declarativo y procedimental que encierra una disciplina y su influencia sobre el método de enseñanza, *Tarbiya. Revista de investigación e innovación educativa*, 10, 23-38.
- Barboux, M., A. Chomat, C. Larcher y M. Meheut (1987), *Modele particulaire et activités de modélisation en classe de 4ème, Rapport de fin de recherche*, núm. 12.09.84.87, LIRESP, París.
- Barrow, G. M. (1991), Learning Chemistry. Intellectual integrity or mental servility, *Journal of Chemical Education*, 68 (6), 449-453.
- Benarroch, Alicia (2000), Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas, *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 23, 95-108.
- Bunge, Mario (1976), *La investigación científica*, Ariel, Barcelona, y Mario Bunge (1985), *Epistemología*, Ariel, Barcelona.
- Castro, E. A. (1992), El empleo de modelos en la enseñanza de la química, *Enseñanza de las ciencias*, 10 (primer cuatrimestre), Barcelona, Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona, p. 73-79.
- Driver, Rosalind, Edith Guesne y A. Tiberghien (1996), Más allá de las apariencias: la conservación de la materia en las transformaciones físicas y químicas", en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Morata, Madrid, p. 225-258.
- Garriz Ruiz, Andoni (1997), "La química y los contenidos escolares", en: González, Jaime, Ana Isabel León T. y Norma Venegas (1997), *Contenidos relevantes de Ciencias Naturales para la educación básica. Antología*, Fundación SNTE para la Cultura del Maestro Mexicano, México, p. 23-26.
- Gil Pérez, Daniel (2000), "El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas", consultado por última vez en junio, 2003, de la URL: <http://www.campus-oei.org>
- Gilbert, J. K., C. Boulter y M. Rutherford (1998), "Models in explanations", en *International Journal of Science Education*, vol. 20, Earley (UK), pp. 83-97.
- Harrison, Allan G. y David F. Treagust (1996), Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, *Science Education*, 80 (5), 509-534.
- Harrison, Allan G. y David F. Treagust (2000), Learning about atoms, molecules and chemical bonds: A case study of multiple model use in grade 11 chemistry, *Science Education*, 84 (3), 352-381.
- Hoffmann, Roald (1997), "¿Hay dos moléculas idénticas?", "¿A qué se parece esa molécula?" y "Representación y realidad", en: *Lo mismo y no lo mismo*, México, FCE, p. 43-46, 80-85 y 86-89.
- Lowe, Richard K. (1997), "How much are pictures worth?", *Actas del Seminario "Putting you in the picture"*, Universidad de Newcastle, Londres, p. 20-24.
- Lowe, Richard K. (2000), Alfabetismo visual y Educación científica y tecnológica, *Contacto, Boletín Internacional de la UNESCO de Educación Científica y Tecnológica*, XXV, (2), 1-3.
- Nieda, Juana y Beatriz Macedo (1998), "Importancia de la enseñanza de las ciencias en la sociedad actual", en: *Un currículo científico para jóvenes de 11 a 14 años*, México, SEP (BAM)/OEI/UNESCO-Santiago, p. 19-24.
- Pozo, José Ignacio et al. (1991), *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*, Ser. Publ. del MEC, Madrid.
- Pozo, Juan Ignacio y Ma. Puy Pérez Echeverría (1995), "La solución de problemas como un proceso específico: diferencias entre expertos y novatos", en: Rodríguez Moneo, María (comp.) (1995), *El papel de la psicología del aprendizaje en la formación inicial del profesorado*, Madrid, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, p. 121-140.
- Sumfleth, E. (1998), Knowledge of terms and problems-solving in chemistry, *International Journal of Science Education*, 10 (1), 45-60.
- Van Driel, Jan H. y Nico Verloop (1999), Teacher's knowledge of models and modeling in science, *International Journal of Science Education*, 21, (11), 1141-1153.