

UNA TIPOLOGÍA DE LOS MODELOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

José Antonio Chamizo

Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

jchamizo@servidor.unam.mx

[Recibido en Agosto de 2009, aceptado en Octubre de 2009]

RESUMEN

A partir del cuestionamiento de la función de la enseñanza de las ciencias derivada de una postura filosófica específica se presenta una definición y una tipología de los modelos para su uso en la enseñanza de las ciencias a través del modelaje.

Palabras clave: Modelos; modelaje; naturaleza de la ciencia; analogía; contexto.

INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en un momento en que muchas de las estrechas recetas sobre la actividad científica provenientes del positivismo lógico (Marcos, 2000; Echeverría 2003), asumidas y operadas por los investigadores y trasladadas a las aulas por los profesores, confunden (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002) y fracasan en muchos lugares (Van Aalsvoort, 2004) al tiempo que se da una importante discusión sobre la naturaleza de la ciencia y las ventajas de su inclusión explícita en las aulas (Acevedo, 2008), validando las propuestas de diversos filósofos contrarios a la "tradición heredada" como los son, entre otros, Laudan (Colombo, 1997) y Toulmin (Chamizo, 2007). Por ello se vuelve a reconsiderar el reestructurar completamente la enseñanza de las ciencias a través de sus modelos (por ejemplo en química; Erduran y Duschl, 2004). A pesar de haberse informado con anterioridad diferentes y complejas tipologías de modelos (Black, 1962; Suckling, 1978; Harrison, 2000; Casanueva, 2005), en el presente texto se presenta una sencilla definición y una tipología de los modelos para su uso en la enseñanza de la ciencias a través del modelaje.

LOS MODELOS

La palabra modelo es polisémica; se ha empleado y se emplea aún con sentidos diversos. Por un lado es ejemplar, es decir indica aquellas cosas, actitudes o personas que se propone imitar. La valentía de un guerrero, la inteligencia de un sabio, la solidaridad de un médico, la velocidad de un corredor o la belleza de una mujer son ejemplos de modelos en este sentido. En el presente texto se emplea la palabra

modelo en su otro y también generalizado sentido. Así, aquí: *Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico.*

En esta definición todas las palabras son importantes: las *representaciones* son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por si mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes. Las representaciones lo son de alguien (ya sea una persona, o un grupo, generalmente este último) que las identifica como tales. Una *analogía* está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en **m** y **M**. *Que se construyen contextualizando*, (Chamizo e Izquierdo, 2005) remite a un tiempo y lugar históricamente definido lo que además enmarca la representación; *cierta porción del mundo* indica su carácter limitado, los modelos **m** son respecto al mundo **M** parciales. *Un objetivo específico*, establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar, y sobre todo predecir. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias (Bailar-Jones, 2002), pero que en determinados casos aún sin poder del todo explicar una buena parte de su prestigio radica en predecir.

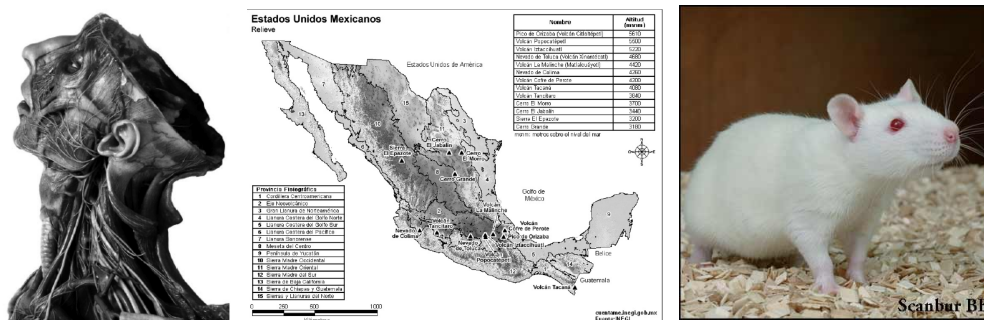


Figura 1.- Ejemplos de modelos materiales, aquí bidimensionales. Maqueta tridimensional, mapa bidimensional, rata experimental.

Hay que precisar más aún sobre tres aspectos de los modelos que permiten identificarlos claramente:

- (1) De acuerdo con la analogía los modelos (**m**) pueden ser mentales, materiales (Figura 1) o matemáticos.
- (2) De acuerdo a su contexto pueden ser a su vez didácticos o científicos dependiendo de la comunidad que los justifique y el uso que se les dé. Aquí es muy importante el momento histórico en el que los modelos son construidos. Puede decirse, en general, que los modelos más sencillos son los más antiguos.
- (3) La porción del mundo (**M**) que se va a modelar puede ser una idea, un objeto, un fenómeno o un sistema integrantes del mismo.

Así, como se esquematiza en la figura 2, hay modelos materiales didácticos sobre un determinado objeto (por ejemplo un dibujo de un mapa o de una célula) o modelos científicos matemáticos sobre un sistema específico (por ejemplo la ecuación de *van der Waals* sobre los gases, $P(V-nb) = nRT$ donde *b* considera que efectivamente estas

partículas tienen un volumen propio, siendo un modelo más sencillo $PV = nRT$ en donde las partículas no tienen volumen) (Atkins, 1982).



Figura 2.- Tipos de modelos.

1. Clasificación de los modelos de acuerdo a la analogía

Los modelos (**m**) son representaciones, basadas generalmente en analogías (Achinstein, 1987; Clement, 2008). Así pueden ser semejantes a esa porción del mundo, generalmente más sencillos, pero no enteramente, de manera que se pueden derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba. Los resultados de esta prueba dan nueva información sobre el modelo. Las analogías pueden ser: mentales, materiales y matemáticas.

Los modelos mentales (Greca y Moreira, 1998; Franco y Colinvaux, 2000; Rapp, 2005; Clement y Rea-Ramirez, 2008) son representaciones construidas por nosotros para dar cuenta de (dilucidar, explicar, predecir) una situación. Son los precursores de las conocidas "ideas previas" (ideasprevias, Kind, 2005) o concepciones alternativas y en ocasiones pueden ser equivalentes. Son inestables, al ser generados en el momento y descartados cuando ya no son necesarios, cognitivamente serían modelos de trabajo desechables.

Los modelos materiales (que también pueden ser identificados como prototipos) son a los que tenemos acceso empírico y han sido construidos para comunicarse con otros individuos. Los modelos materiales son los modelos mentales expresados (Gilbert, Boulter and Elmer, 2000) a través de un lenguaje específico, como el de la química, (Hoffmann and Lazlo, 1991), objetos en dos, por ejemplo un mapa, (Tversky, 2005) o tres dimensiones, maquetas diversas, (de Chadarevian and Hopwood, 2004, o los llamados 'modelos moleculares', (Francoeur, 2001) y cuyo más famoso ejemplar es el de la molécula de ADN por Watson y Crick. También lo son los modelos experimentales (Pérez Tamayo, 2005) como las ratas macho Sprague-Dawley (Figura 1) que se utilizan de manera estandarizada en las investigaciones biomédicas para

modelar enfermedades o la acción de posibles remedios para las mismas (piénsese en ellas como una especie de maqueta robot no construida por nosotros). Así, por ejemplo, para conocer la toxicidad de una sustancia es necesario matar, pero en la actualidad en lugar de matar esclavos como se sugería en la antigua Grecia o prisioneros en los campos de concentración nazis se matan ratas. La toxicidad de cualquier producto es lo que se conoce como dosis letal media (LD_{50} por sus siglas en inglés). El LD_{50} indica la masa de una sustancia que, una semana después de que la ingirieron un determinado número de ratas aisladas, mata a la mitad de las mismas. Cuando se realiza un experimento dándoles a las ratas esa determinada sustancia sobre ellas se modela la toxicidad.

Los modelos matemáticos (Malvern, 2000) son, generalmente, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está modelando. Los modelos matemáticos constituyen las leyes que son la manera más común, que no la única, de explicar en la tradición científica (Suppe, 1989) y sobre esto ya el filósofo R. Giere adelantó la posibilidad de tener ciencia sin leyes (1999). La ecuación $PV = nRT$ es un ejemplo de un modelo matemático que nos permite explicar el comportamiento de los gases "ideales". Aquí hay que recordar la opinión del gran químico L. Pauling sobre lo que son las leyes que empleamos tan frecuentemente en las aulas sin pensar suficiente lo que son en realidad (1950, p. 111):

"Una ley es una descripción sucinta del resultado de un número finito de experimentos. No es un dogma inflexible. Describe únicamente los experimentos que se han realizado mientras la ley se reconoce como válida. Éstas leyes básicas de la naturaleza, dependiendo del resultado de un nuevo experimento, podrán no ser válidas el próximo año".

Por lo demás, los modelos matemáticos no únicamente pueden formularse lingüísticamente (con algún lenguaje matemático, se entiende) sino también mediante signos, diagramas, gráficas u objetos tridimensionales (Mehrtens, 2004).

Las simulaciones y las animaciones (Talanquer e Irazoque, 1990; Harrison and Treagust, 2000; Kozma and Rusell, 2005), son modelos materiales que cambian en el tiempo y se podrían considerar como un tipo mixto de los modelos anteriormente caracterizados una vez que se construyen con una formulación matemática (generalmente resuelta y visualizada en una computadora). Estos modelos materiales matemáticos (es decir doblemente expresados) constituyen la conocida "realidad virtual" presente en los video juegos de computadora.

2. Clasificación de los modelos de acuerdo al contexto

La palabra contexto, nos indica el diccionario, remite al entorno físico o la situación determinada, ya sea política, histórica, cultural o de cualquier otra índole en la cual se considera un hecho. También establece el sentido y el valor de una palabra, frase o fragmentos considerados. Sobre los modelos hay que diferenciar claramente dos contextos: el de la investigación científica por un lado y el de la ciencia escolar y sus didácticas, por el otro (Galagovsky y Arduriz-Bravo, 2001; Viau *et al*, 2008). En ambos casos tenemos modelos consensuados (Gilbert, Boulter and Elmer, 2000) por comunidades diferentes en un momento histórico específico.

Los modelos científicos

El conocimiento científico (cuando no está sujeto a las restricciones de secrecía que le imponen las compañías comerciales o los ministerios de defensa) es conocimiento público sujeto a comprobación por otras personas, generalmente científicos. Es esa posibilidad de repetir una y otra vez los experimentos y las observaciones en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlos comúnmente, lo que hace que el conocimiento científico se presente como objetivo y confiable. La principal forma de comunicarlo es a través de artículos en revistas especializadas de las cuales se publican miles de ellas, mes tras mes en todo el mundo. Uno de los ejemplos más famosos de lo anterior proviene de la astronomía. Cuando en 1687 el físico y alquimista inglés *I. Newton* publicó su libro *Principia* lo que hizo fue describir el mundo físico a partir de modelos que no hacían necesariamente referencia explícita a objetos del mundo real. Unos años más tarde, en 1695, *E. Halley* un astrónomo y amigo de *Newton* aplicó dichos modelos para explicar el movimiento de los cometas. Así pudo predecir que a finales del entonces lejano 1758 regresaría un cometa que se había observado en 1530-31, 1607-08 y 1682. El asunto no era tan sencillo una vez que junto con estas observaciones "confiables" de cometas había al menos otras 24 en otras tantas fechas. *Halley* publicó su trabajo en 1705 el cual fue recibido con entusiasmo en Inglaterra y, como era de esperarse, con escepticismo en Francia. Pasaron los años, *Halley* murió 15 años antes de 1758 pero para ese entonces la evidencia experimental sobre los modelos de *Newton* era tan amplia que en 1756 la misma Academia de Ciencias de Francia ofreció un premio a la predicción más exacta del retorno del cometa, el cual apareció, ya bautizado como cometa *Halley* antes de la navidad del esperado 1758.

Regresando a los artículos aparecidos en las revistas científicas, cuya publicación es la garantía de validez (también provisional) de ese conocimiento. Como lo ha indicado *Díaz* (2005, p 11):

"Una pesquisa por los índices de revistas y los títulos de trabajos científicos actuales muestra que la palabra 'modelo' está entre las diez más frecuentes en los títulos de artículos de las ciencias fisicomatemáticas, biomédicas, conductuales, sociales e incluso las humanidades. Además se trata del único término de esa menuda muestra de palabras favoritas que no designa sistemas o procesos concretos, como son los términos 'rata', 'humano', 'célula', 'proteína' o 'gene', que encabezan la lista en los títulos de artículos biológicos y biomédicos, o de las palabras 'niño', 'familia', 'lenguaje', 'trabajo' o 'social', que con mayor frecuencia especifican los artículos en ciencias sociales y de conducta. La palabra 'modelo' es, entonces, la que en mayor medida comparten los cuatro puntos cardinales de la indagación académica, y es una palabra proveniente de la teoría y, en particular, de la metodología".

Los científicos construyen modelos sobre una determinada porción del mundo y son dichos modelos, con sus ventajas y desventajas lo que reportan a sus colegas. Contrariamente a lo que se piensa comúnmente, una vez que no hay un método científico universal (*McComas*, 1998), una de las actividades principales de los científicos es evaluar cuál, de entre dos o más modelos rivales, encaja con la evidencia disponible y por lo tanto cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo (*Driver, Newton and Osborne*, 2000).

Los modelos didácticos

La ciencia escolar (Izquierdo *et al*, 1999; Izquierdo y Aduriz, 2003) es la que corresponde a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia tal cual de los científicos, sino una reconstrucción de ésta, al mismo tiempo que tampoco es un reflejo de los saberes cotidianos de los alumnos. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica (Chevallard, 1997), que indica los procesos por medio de los cuales el conocimiento científico se transforma de manera que sea posible su aprendizaje por los alumnos, independientemente de su edad y de sus condiciones socioculturales. Como estas últimas son extremadamente diversas también lo es la transposición didáctica. A pesar de ello, una condición necesaria es que el conocimiento no deje de ser riguroso y abstracto. Resumiendo, la transposición didáctica es la transformación del conocimiento científico en un conocimiento posible de ser enseñado en un aula específica a unos alumnos particulares. Para más detalle aquí podrían reconocerse dos tiempos y/o dos subconjuntos de los modelos didácticos: los que corresponden a la enseñanza, es decir tal como son presentados por los expertos en el ambiente escolar y los que corresponden al aprendizaje, que son los expresados por los aprendices.

Ejemplos de modelos didácticos son, además de los dibujos que hacen tanto alumnos como docentes, muchas de las ilustraciones que se muestran en los libros de texto y que generalmente aparecen como verdades incuestionables, sin identificar sus limitaciones y descontextualizadas históricamente (en lo que se ha denominado modelos híbridos, Justi, 2000).

Lo anterior obliga a repensar el sentido de la ciencia que estamos enseñando y en qué medida es realmente ciencia escolar. Como bien lo ha indicado el investigador educativo D. Hodson (2003, pp. 647-648):

"Hay un extenso reconocimiento entre los educadores de la ciencia que ésta es un producto de su lugar y de su tiempo estrechamente relacionada con instituciones locales y profundamente influenciada por sus métodos de construcción y validación. Muchos estudiantes no aprenden lo que nosotros quisiéramos: su conocimiento sobre la ciencia y la capacidad de usar tal conocimiento efectivamente están lejos de lo que ambicionamos; su entendimiento sobre la naturaleza y los métodos de la ciencia son generalmente incoherentes, distorsionados y confusos...Ahora, por primera vez en la historia, estamos educando alumnos para vivir en un mundo acerca del cual sabemos muy poco, excepto que estará caracterizado por un vertiginoso cambio y que será más complejo e incierto que el mundo de hoy...¿qué tipo de educación en ciencias es apropiada para preparar a nuestros estudiantes para ese desconocido mundo del futuro?"

Así respecto al contexto, que hay que reconsiderar de acuerdo con la cita anterior, hay dos formas diferentes en las cuales los modelos son interpretados, una vez que están dirigidos y/o construidos por dos grupos diferentes: los aprendices y los expertos Tabla 1 (modificada de Grosslight, Unger, Jay and Smith, 1991). De acuerdo con la misma hay que hacer notar que los aprendices adquieren, construyen y aplican modelos de manera inconsciente. Una manera importante de entender en que consiste la práctica científica pasa por tener conciencia de que se está trabajando con modelos.

Aprendices	Expertos
Los modelos son materiales.	Los modelos son mentales, materiales y matemáticos.
Ayudan a conocer y a comunicarse con el mundo real.	Los modelos ayudan a entender o a pensar sobre una porción contextualizada del mundo.
Modelos diferentes del mismo objeto, sistema, fenómeno o proceso muestran diferentes aspectos del objeto, sistema, o proceso real.	Diferentes modelos de diferentes objetos, sistemas o procesos pueden construirse para diferentes propósitos.
Los modelos pueden cambiar si son equivocados o se encuentra nueva información.	Los modelos son reemplazados por otros más adecuados con los propósitos establecidos.
Los modelos más actualizados son siempre los más correctos y los que mejor explican el objeto, fenómeno o sistema.	Los modelos ya reemplazados pueden seguir utilizándose si los propósitos de su uso son satisfechos por dicho modelo, que incluso puede resultar más simple.

Tabla 1.- Diferencias en cómo son entendidos los modelos por los aprendices (que no solo son los alumnos, en este grupo también se encuentran visitantes de museos y consumidores en general) y los expertos.

3. Clasificación de los modelos (m) de acuerdo a la porción del mundo (M)... que se modela.

Obviamente los modelos lo son de "algo". "Algo" que se encuentra en el mundo. "Algo" que es el mundo. Ahora bien el mundo real (**M**) es tan extraordinariamente complejo, en cada objeto (cómo un automóvil, o un puente) o fenómeno (algo que sucede y que es percibido, como la lluvia o la digestión), o sistema (el conjunto de cosas que se relacionan entre sí y funcionan juntas integralmente, como algunos mapas del metro o el sistema solar) influyen tantas y tan diversas variables que para intentar entenderlo los relacionamos con sus respectivos modelos (**m**). Aquí no se pueden dejar de lado las ideas como entidades del mundo (**M**) construidas por las sociedades humanas. Así, por ejemplo, las sirenas, las fuerzas o la democracia también pueden modelarse. Resumiendo, a lo largo a lo largo de su historia las diversas sociedades humanas han construido varios modelos **m** diferentes (**m**₁, **m**₂, **m**₃, etc) para representar una determinada porción del mundo **M**. En la siguiente sección esto se ejemplificara con aquella porción del mundo que llamamos átomo (Cruz, Chamizo y Garritz, 1987).

La anterior tipología se aplica a todos los modelos. Así hay modelos materiales didácticos sobre un objeto (el átomo de Bohr como se muestra usualmente en los libros de texto para educación básica); materiales didácticos sobre un sistema (las maquetas del sistema solar); matemáticos científicos sobre un sistema (como las publicadas originalmente sobre los gases, Edwards and Shupe, 1930); mentales científicos sobre un proceso o sistema (algunas de las indicadas en Neressian, 2007 sobre la construcción de nuevos modelos por Galileo, Newton, Faraday, Maxwell, Bohr

y Einstein) o materiales matemáticos didácticos sobre un sistema, como las simulaciones que se realizan en la enseñanza de la ecología .

MODELAJE

La construcción de un modelo es un compromiso entre las analogías y las diferencias que tienen con la porción del mundo que se está modelando. Así, cuando el modelo no encaja con los datos empíricos puede ser ampliado y corregido. Como ya se dijo, su mayor complejidad generalmente se reconoce a lo largo del tiempo (Justi and Gilbert, 1999).

Los modelos se desarrollan a través de un proceso iterativo en el cual la evidencia empírica permite revisar y modificar los presupuestos básicos de los mismos (Suckling, Suckling and Suckling, 1978). Un modelo es generalmente uno, en una secuencia histórica (Chamizo, 2007) en un área particular del saber, ya sea este científico o escolar. La historia de la ciencia es rica en ejemplos de cómo las comunidades científicas han desarrollado modelos para explicar el mundo real y cómo éstos han ido evolucionando para ir acomodando la evidencia empírica acerca de los hechos observados. El modelo atómico de *Dalton* es más sencillo que el modelo atómico de *Thomson* (una vez que éste considera la existencia de los electrones) y éste a su vez que los de *Rutherford* o de *Bohr* (ya que ambos consideran además de la existencia de los electrones, la del núcleo). Otro modelo atómico (únicamente del átomo de carbono) le sirvió a *van't Hoff* para explicar algunas de las propiedades exclusivas (en su tiempo) de los compuestos en los que forma parte, Figura 3.

No siempre es fácil establecer la sencillez o complejidad de un determinado modelo. Hay que hacer notar que los modelos son útiles para alguien en particular. Así un modelo sencillo, como el modelo atómico de Lewis (que considera la existencia del núcleo y de los electrones pero asume que estos últimos están fijos en los vértices de un cubo) es muy conveniente para discutir mucha de la química de los compuestos orgánicos, en lugar del mucho más complejo modelo cuántico atómico (Purser, 1999).

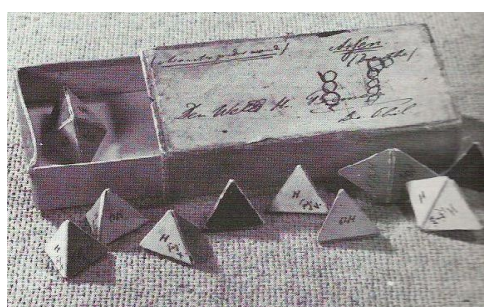


Figura 3.- Modelo bidimensional de modelos tridimensionales de átomos de carbono tetraédrico construidos por van't Hoff en 1884. Con ellos se puede explicar la estereoisomeria y predecir que compuestos de carbono la presentarán, asunto que, por ejemplo, el modelo de Bohr es incapaz de hacer.

La actividad científica consiste, fundamentalmente, en la construcción y validación de modelos y modelar es construir modelos ya sea en los laboratorios de investigación o en las aulas (Justi, 2002, 2006). Ahora bien la actividad científica no empieza en los

hechos, sino en las preguntas; y las preguntas dependen del marco teórico desde el cual se formulan. Así, los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. La sociedad en que viven día a día la comunidad científica, los docentes y los alumnos (los dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones, debido a la presencia o ausencia de programas educativos o de investigación científica, de reconocimientos o castigos a la misma actividad y de tolerancia o imposición de áreas de investigación (Echeverría, 2003). Un primer esquema sobre los modelos y el modelaje se muestra en la Figura 4, en donde el resultado obtenido de enlazar los tres cuadros a través de las tres funciones es conocimiento, ya sea este escolar o científico.

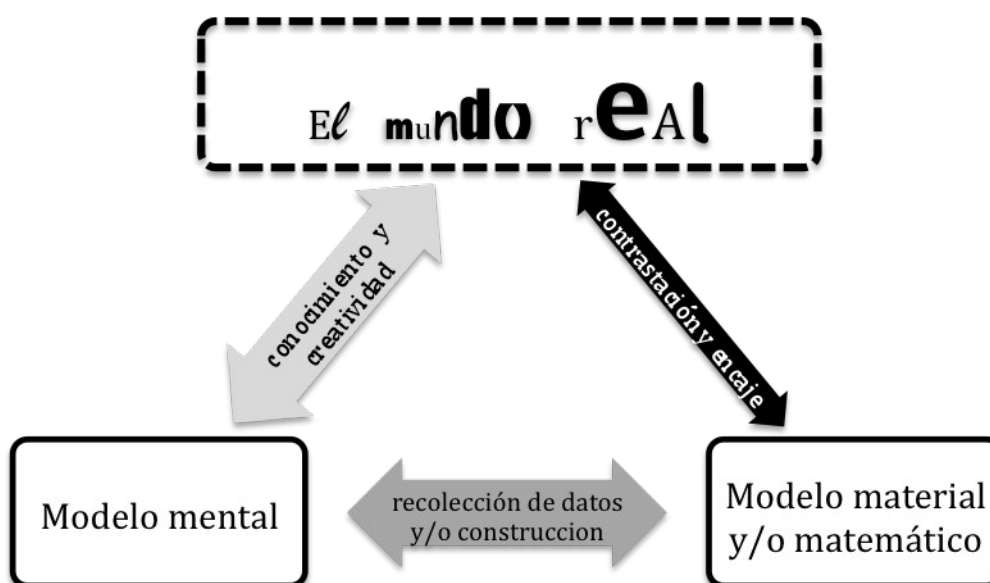


Figura 4.- El complejo y diverso 'mundo real' del cual se construyen modelos (en cuadros sólidos) a través del proceso de modelaje (en flechas).

Así, a partir de las preguntas sobre el mundo real, se deriva la construcción de un primer modelo: un modelo mental. Esta actividad de modelaje privada se representa con una flecha que une ambos cuadros (Figura 4) y tiene dos puntas porque asume que las preguntas dependen de la estructura mental del individuo que las realiza, y por el otro defiende la postura empirista de acuerdo con la cual la representación depende en su totalidad de los datos obtenidos a partir de la percepción del mundo. Lo anterior recordando que los modelos se construyen contextualizando una determinada porción del mundo con un objetivo específico. No hay ni reglas, ni métodos para aprender a hacerlo (Nerssesian, 2007) , pero sin duda requiere de dos condiciones:

- √ conocimiento (para saber hasta donde sea posible cómo es esa porción del mundo);
- √ imaginación y creatividad (para diseñar virtualmente el modelo compatible con esa porción del mundo de acuerdo al objetivo establecido).

El segundo paso en el modelaje consiste en expresar el modelo mental construyendo un modelo material y/o matemático. La expresión es, comparada con la riqueza y

diversidad del modelo mental, necesariamente limitada. La persona (s) que esta modelando considera los aspectos más relevantes del modelo mental, recolecta datos, corrige, recomienza, afina y finalmente arriba a una versión final del modelo material. Aquí se promueve una primera discusión entre los diversos constructores del modelo. Es un proceso de ida y vuelta que se construye generalmente contestando las pregunta ¿qué pasaría si? o ¿cómo explicar esto? De allí que la flecha que une ambos cuadros y que caracteriza el proceso del modelaje también sea bidireccional.

Finalmente el modelo material debe ser sometidos a la prueba más importante que es la del experimento real, siempre y cuando éste sea posible. El contraste y encaje entre el modelo material y el mundo real, en el proceso de modelaje, implica la observación del modelo material y la conducta de la idea, el objeto, fenómeno o sistema de referencia. Es una observación pública indicada con una flecha también bidireccional, una vez que resultado de la misma observación se pueden realizar adecuaciones al modelo material de manera que encaje de la mejor manera con el mundo real. En el encaje se prioriza la calidad de la explicación y de las predicciones hechas por el modelo. Aquí, dependiendo de la postura filosófica de la persona o la comunidad que construyó el modelo se puede ser más o menos estricto haciendo notar que un modelo material le puede quedar bien a cierta realidad concreta, tal y como un traje le puede quedar bien a una persona y mal a otra. Así si el modelo encaja satisfactoriamente con la porción del mundo (**M**) que se identificó previamente (idea, objeto, fenómeno o sistema) de acuerdo al objetivo establecido, una importante y última pregunta que deben hacerse los constructores del modelo (**m**) es si el modelo puede extenderse a otras porciones del mundo. Lo anterior sin olvidar que se puede tener al final más de un modelo (**m₁, m₂, m₃...etc.**) de diferente complejidad para la porción del mundo modelada (**M**).

En el entorno de ciencia escolar (Izquierdo, Caamaño y Quintanilla, 2007) se pueden construir los tres tipos de modelos: mentales, materiales y matemáticos. Muchos profesores desde luego estarán familiarizados con los modelos materiales de dos y tres dimensiones (modelosymodelajecientífico) y seguramente, sin saberlo a plenitud, con los modelos mentales. También es posible modelar matemáticamente, como se hace por ejemplo al construir la ecuación que permite predecir la altura a la que rebotará una pelota si se conoce la altura a la que se le deja caer (desde luego después de recopilar una buena cantidad de datos experimentales; Radford, 1990).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Como Justi y Gilbert lo han indicado (2002a) aprender a hacer ciencia implica que los alumnos sean capaces de crear, expresar y comprobar sus propios modelos, es decir modelar. Como ya se indicó el modelaje requiere de tres pasos:

- A partir del mundo real conocimiento, imaginación y creatividad para concebir el modelo mental.
- A partir del modelo mental recolección de datos y construcción física del modelo para expresarlo socialmente ya sea de forma material o matemática.
- A partir del modelo expresado material o matemáticamente su contrastación y encaje con el mundo real.

Todas estas habilidades debieran de formar parte explícita en los procesos educativos a cualquier nivel y su posible comprensión puede facilitarse con la tipología de modelos aquí presentada, particularmente en lo que se refiere a la analogía (Raviolo y Garritz, 2007, Oliva y Aragón, 2009) y al contexto (Gilbert, 2006).

Finalmente se puede concluir con M. Izquierdo (Izquierdo, Sanmarti y Estana 2007, p. 161) pero extendiéndolo a todas las ciencias:

"La enseñanza de la química planificada como actividad de modelización de los fenómenos permitiría recuperar el significado práctico y axiológico de los conceptos químicos, puesto que éstos sólo dicen cómo es el mundo a partir de lo que se puede hacer en él. Si los fenómenos que se escogen son relevantes desde un punto de vista social este nuevo enfoque de la enseñanza sería adecuado para la alfabetización científica de la ciudadanía, permitiendo introducir las entidades científicas a partir del conocimiento profundo de fenómenos en los que se puede intervenir".

Lo anterior queda explícito de manera muy clara indicando que, para la enseñanza y el aprendizaje efectivo de las ciencias se debe de realizar en el salón de clases y en los laboratorios escolares (Chamizo y García, 2009) lo que hacen los científicos, que en el caso de la química es modelar la estructura de la materia posible (Erduran, 2004).

AGRADECIMIENTOS

A las atinadas sugerencias de los evaluadores con las que se ha mejorado la claridad y amplitud del presente texto y a la financiación del CONACYT a través de su proyecto 49281.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO J.A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias, *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* 5, 134-169. En línea en: <http://www-apaceureka.org/revista>
- ACHINSTEIN P. (1987). *Los modelos teóricos. Seminario de problemas científicos y filosóficos.* México: UNAM.
- ATKINS P.W. (1982). *Physical Chemistry.* Oxford: Oxford University Press.
- BAILAR-JONES D. (2002). Models, Metaphors and analogies en *Philosophy of Science* Machamer P. and Silbestein M. (Eds). Oxford: Blackwell Publishers.
- BLACK M. (1962). *Models and Methaphors,* New York: Cornell University Press.
- CASANUEVA M. (2005). Los modelos en la filosofía de la ciencia del siglo XX, en López Austin (coord.) *El modelo en la ciencia y la cultura,* Siglo XXI, México.
- CHAMIZO J.A. E IZQUIERDO M. (2005). Ciencia en contexto. Una reflexión desde la filosofía, *Alambique,* 46, 9-17.
- CHAMIZO J.A. (2007). Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias *Enseñanza de las ciencias,* 25, 133-146.
- CHAMIZO J.A. (2007). Teaching modern chemistry through historical recurrent teaching model, *Science & Education,* 16, 197-216

- CHAMIZO J.A. Y GARCÍA A. (eds) (2009). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias*. México: FQ-UNAM.
- CHEVALLARD Y. (1997). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- CLEMENT J.J. AND REA RAMIREZ M.A. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. NewYork: Springer.
- CLEMENT J.J. (2008) *Creative Model Construction in Scientists and Students*. New York: Springer.
- COLOMBO L. (1997). Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 327-331.
- CRUZ D., CHAMIZO J.A. Y GARRITZ A. (1987). *Estructura atómica. Un enfoque químico*. Wilmington: Addison Wesley Iberoamericana.
- DE CHADAREVIAN S. AND HOPWOOD N. (2004). *Models. The third dimension of science*. Stanford: Stanford University Press.
- DÍAZ J.L. (2005). Modelo científico: conceptos y usos en López Austin (coord.) *El modelo en la ciencia y la cultura*, Siglo XXI, México.
- DRIVER R., NEWTON P., OSBORNE J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms, *Science Education*, 84, 287-312.
- ECHEVERRÍA, J. (2003). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.
- EDWARDS W., AND SHUPE L.E. (1930) The constants of the Beattie-Bridgeman Equation of State with Bartlett's P-V-T Data on nitrogen, *Journal of the American Chemical Society*, 52, 1382-1389.
- ERDURAN S., DUSCHL R. (2004). Interdisciplinarity Characterization of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom, *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- FERNÁNDEZ I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ A. y PRAIA, J., (2002). Visiones Deformadas de la Ciencia Transmitidas por la Enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 477-488.
- FRANCO C. AND COLINVAUX D. (2000). Grasping Mental Models in Gilbert J. K and Boulter C.J. (eds), *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- FRANCOEUR E. (2001). Molecular models and the articulation of structural constrains in chemistry, in Klein U (ed) *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Dordrecht: Kluwer.
- GALAGOVSKY L. Y ARDURIZ-BRAVO A. (2001). Modelos y Analogías en la enseñanza de las ciencias naturales, El concepto de modelo didáctico analógico, *Enseñanza de las ciencias*, 19, 231-242.

- GIERE R.N. (1999). *Science without laws*. Chicago: Chicago University Press.
- GILBERT J. BOULTER C. AND ELMER R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology education in Gilbert J. K and Boulter C.J. (eds) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- GILBERT J.K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education, *International Journal of Science Education*, 28, 957-976.
- GRECA, I.M. Y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo, *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 289-303.
- GROSSLIGHT L., UNGER C., JAY E. AND SMITH C. (1991). 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.
- HARRISON A.G. AND TREAGUST D.F. (2000). A tipology of school science models, *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- HODSON D. (2003). Time for action: science education for an alternative future, *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- HOFFMANN, R. AND LAZLO P.(1991). Representation in Chemistry, *Angew Chem.Int.Ed. Engl.* 30, 1-16
- IDEASPREVIAS <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/>
- IZQUIERDO M., ESPINET M., GARCÍA M.P., PUJOL R.M. Y SANMARTÍ N, (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 79-91.
- IZQUIERDO M. Y ADÚRIZ A. (2003). Epistemological Foundations of School Science, *Science & Education*, 12, 27-43.
- IZQUIERDO M., CAAMAÑO A Y QUINTANILLA M. (2007). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- IZQUIERDO M., SANMARTÍ N., Y ESTAÑA J.L. (2007). Actividad Química Escolar: modelización del cambio químico, en Izquierdo M, et al (eds) *Investigar en la enseñanza de la química Nuevos horizontes:contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- JUSTI R., AND GILBERT J. (1999). History and Philosophy of Science through Models: The case of Chemical Kinetics, *Science and Education*, 8, 287-307.
- JUSTI R. (2000). Teaching with historical models, in Gilbert J. K and Boulter C.J. (eds) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- JUSTI R. AND GILBERT J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers, *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- JUSTI R. AND GILBERT J.K. (2002a). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning sciences, *International Journal of Science Education*, 24, 1273-1292.

- JUSTI R. (2006). La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos, *Enseñanza de las ciencias*, 24, 173-184.
- KIND V. (2005). *Mas allá de las apariencias*. México: Santillana-UNAM.
- KOZMA R. AND RUSSELL J. (2005) Modelling students becoming chemists: Developing representational competence, in Gilbert J.K. (ed) *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer.
- MCCOMAS W.F. (1998). The principal elements of the nature of science: dispelling the myths, in McComas W.F. (ed) *The Nature of Science in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- MALVERN D. (2000). Mathematical Models in Science, in Gilbert J. K and Boulter C.J. (eds) *Developing Models in Science Education*, Dordrecht: Kluwer.
- MEHRTENS H. (2004) Mathematical models in de Chadarevian S. and Hopwood N. *Models. The third dimension of science*. Stanford: Stanford University Press.
- MARCOS A. (2000), *Hacia una filosofía de la Ciencia amplia*. Madrid: Tecnos.
- MODELOS Y MODELAJE CIENTÍFICO.
<http://www.modelosymodelajecientifico.com/main.html>
- NERSESIAN N. (2007) *Razonamiento basado en modelos y cambio conceptual*, ver reseña en *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien*, 4, 563-570. En línea en:
<http://www.apac-eureka.org/revista>
- OLIVA J.M., ARAGÓN M.M (2009). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos de química, *Educación Química*, 20, 41-54.
- PAULING L. (1950). The place of chemistry in the integration of the sciences, *Main Currents in Modern Thought*, 7, 108-111.
- PÉREZ TAMAYO R. (2005). Los modelos en las ciencias experimentales, en López Austin (coord.) *El modelo en la ciencia y la cultura*, Cuadernos del Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos de la UNAM. México: Siglo XXI.
- PURSER G. (1999). Lewis Structures Are Models for Predicting Molecular Structure, Not Electronic Structure. *J. Chem. Ed.*, 76, 1013-1017.
- RADFORD D. (1990). *Science, models and toys. Stage 3*. London: Simon & Schuster.
- RAPP D.N. (2005). Mental models: theoretical issues for visualizations in science education, in Gilbert J.K. (ed) *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer.
- RAVIOLO A., GARRITZ A. (2007). Uso de las analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios, *Alambique*, 51, 28-39.
- SUCKLING C.J., SUCKLING K.E., SUCKLING C.W. (1978) *Chemistry through models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SUPPE F. (1989). *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism* Urbana: University of Illinois Press.

- TALANQUER V. E IRAZOQUE G. (1990) Para saber, experimentar y simular. Transiciones de fase y universalidad, *Educación Química*, 2, pp.59-66
- TVERSKY B. (2005). Prolegomenon to scientific visualizations, in Gilbert J.K. (ed) *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer.
- VAN AALSVOORT J. (2004). Logical positivism as a tool to analyze the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education, *International Journal of Science Education*, 26, pp. 1151-1168.
- VIAU J.E., MORO L.E., ZAMORANO R.O. Y GIBBS H.M. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico, *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* 5, 170-184. En línea en: <http://www-paceureka.org/revista>.

SCIENCE'S EDUCATION MODELS' TYPOLOGY

SUMMARY

From the discussion of the function of science education derived from a philosophical specific position here a definition and a typology of models and modelling for its use in science education is introduced.

Key words: *Models; modelling; nature of science; analogy, context.*