

**POLISEMIA ACTUAL DEL CONCEPTO “MODELO MENTAL”.
CONSECUENCIAS PARA LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA
(Polisemy of the “mental model” concept. Consequences for the didactical research)**

Rufina Gutierrez[rufina.gutierrez@fund-castroverde.es]
Didáctica de las Ciencias. Fundación Castroverde. Madrid. España

Resumen

En este artículo se examina en la literatura didáctica de los últimos diez años, el uso del concepto de “modelo mental” que se encuentra en los diversos artículos revisados. En dichos artículos se observa un uso tan plural del término, que nos permite afirmar que el constructo, claramente identificado y definido como un término técnico en el ámbito de la Ciencia Cognitiva, se está vertiendo en la literatura relativa a la Didáctica de las Ciencias como un término genérico, cargado de polisemia, que hace imposible reconocer lo genuino del concepto. La consecuencia de esta diversidad de comprensiones, es la imposibilidad de que en la investigación didáctica se den las condiciones para la construcción de conocimiento científico en este campo, ya que el hecho de la polisemia hace imposible la convergencia necesaria en las distintas investigaciones que permitan la comunicación clara, la comparación, la discusión y la evaluación de resultados y el consenso entre la comunidad científica. Se advierte que la polisemia está actuando como un obstáculo en la actividad docente, que impide la apertura a nuevas formas de comprender el pensamiento espontáneo de los alumnos y, por consiguiente, dificultando también los beneficios de una acción docente que incorporase los logros obtenidos dentro de esta línea de investigación.

Palabras-clave: teoría de los esquemas, sistema de inferencia, “the frame problem”, modelos mentales, polisemia en el concepto de modelo mental.

Abstract

In this paper a summary of the use of the construct “mental model” in Science Education literature produced in the last ten years is presented. The diversity of understanding found on the different articles allows us to state that the concept of mental model, clearly defined and identified in Cognitive Science, is a polysemic term, in such a way that its genuine meaning is impossible to guess from reading only this literature. As a consequence, the construction of scientific knowledge in this field is quite difficult, because in this situation the conditions for it (communication of findings, comparing, discussing, evaluating, achieving consensus) are not possible, due to the lack of convergence in the meaning of the data. Other important issue can be foreseeing for Science Education itself: all the didactic consequences of applying research’s finding on mental models, as are those related to understand the students’ spontaneous thinking, its mental organisation, the uncovering of mechanisms capable to drive a conceptual change, etc., can be missed, and the teachers obstructed to apply them in their teaching activities.

Keywords: schema theory, inference system, “the frame problem”, mental models, polysemy within the concept of mental model.

Introducción

La representación del “razonamiento” en la Teoría de los Esquemas.

El constructo “modelo mental” se crea en el ámbito de la Ciencia Cognitiva (Gadner 1985), y más particularmente, en el de la Inteligencia Artificial, para intentar subsanar ciertas limitaciones que presentaba la Teoría de los Esquemas (Rumelhart y Ortony 1977) en sus diversos intentos de modelizar el pensamiento de sentido común.

Como es sabido, la Teoría de los Esquemas – o los “Guiones”, de Schank y Abelson (1977) - se diseña como una alternativa a los tipos de “representación” y “razonamiento” que permitían las arquitecturas de las máquinas que trabajaban sólo con memorias asociativas o conceptuales. Los autores antes citados critican dichos modos de modelizar el pensamiento de sentido común, argumentando que los conceptos sólo tienen sentido dentro de un sistema o contexto, del que adquieren su significado. El “esquema” opera con una memoria de tipo “holista”, donde las representaciones están constituidas por conjuntos de conceptos referidos a un “escenario” o contexto de la vida cotidiana que los dota de sentido.

Pero la Teoría de los Esquemas también se enfrenta a un problema importante: el dar cuenta de la *evolución* de los escenarios o de los sistemas que representan; que es lo mismo que explicar cómo el usuario de un “esquema” puede *inferir*, a partir de un determinado estado del mundo, representado en el esquema, otro estado *futuro*; o lo dicho de otro modo: cómo se explica, desde la teoría de los esquemas, la posibilidad de *predecir*, a partir de un estado de cosas, *la evolución* de ese estado de cosas. Esta capacidad es algo totalmente natural y espontánea para los humanos, la cual ponemos en ejercicio, p. e., cuando aplicamos nuestro sentido común para *explicar* cómo ha evolucionado un sistema de un estado A a otro B.

Desde el principio, se constituyeron en la comunidad científica dos corrientes de tendencias opuestas para resolver esta cuestión, representadas por J. McCarthy y por M. Minsky. El primero (McCarthy 1968) propone para el esquema un sistema de inferencia causal, definido por una lógica proposicional, del tipo “IF ... THEM”. El problema es que en los lenguajes lógicos, lo que es verdad una vez es verdad siempre; consecuentemente, en los cambios experimentados en el tiempo no se reconoce la identidad del sistema que evoluciona. En la teoría de los esquemas esto se intenta remediar acotando un espacio/tiempo en el que las relaciones entre las entidades que constituyen el sistema estén claramente definidas en términos de esta causalidad lógica. Fuera de este espacio/tiempo acotado, no se sabría afirmar o negar nada acerca de la identidad de un sistema que haya cambiado con el paso del tiempo, ni explicar cómo han llegado a realizarse tales cambios. Por ejemplo, si el sistema estuviera formado por una pareja de recién casados, con un niño de seis meses, viviendo en un piso nuevo, su sistema de inferencia sería incapaz de afirmar la identidad del sistema 20 años después, ya que ha habido cambios tales como que al marido se le está cayendo el pelo, la mujer se tiñe, el bebé es ahora un joven, y el piso está algo deteriorado. Para cualquier humano con un saludable sentido común la tarea de identificación es trivial, lo mismo que explicar el por qué de los cambios experimentados. McCarthy y sus seguidores mantienen la creencia de que el pensamiento de sentido común opera con algún tipo de lógica, y de hecho el esfuerzo de esta corriente en Inteligencia Artificial ha ido dirigido al desarrollo de tipos de lógica que intenten remediar el problema del reconocimiento del cambio en los sistemas, que es lo mismo que resolver el problema de cómo es posible *la predicción* en el pensamiento de sentido común (McCarthy 1980, 1986, McDermott y Doyle 1980, McDermott 1985). Los autores que siguen esta línea de investigación son conscientes de las limitaciones de su

postura, y el llamado “*frame problem*” sigue siendo hoy tan actual como lo fue cuando se enunció por primera vez (McCarthy y Hayes 1969, Sperber y Wilson 1996, Sahanahan 2004). Minsky, en cambio, afirma, basándose también en su sistema de creencias, que *ningún* tipo de sistema de inferencia lógico *es, ni será adecuado*, para representar en una máquina el razonamiento de sentido común (Minsky 1968, 1974). Lo seguidores de esta línea han tratado de desarrollar sistemas de representación basados en otros tipos de sistemas de inferencia, especialmente los cualitativos, muchos de ellos derivados de una concepción causal de tipo físico-mecanicista (de Kleer 1984, Willians 1986, Forbus, Nielsen y Faltings 1987).

En este contexto aparece el constructo “Modelo Mental” en la Ciencia Cognitiva, en un intento, en su origen, de responder a los problemas que deja sin resolver la Teoría de los Esquemas.

Modelos mentales y representación del conocimiento de sentido común

Aunque el concepto “modelo mental” venía trabajándose anteriormente en Ciencia Cognitiva (Jonson-Laird 1980, 1982), en 1983 aparecen dos contribuciones teóricas que marcan la entrada vigorosa y madura del constructo en la investigación: la publicación por parte de Jonson-Laird del libro *Mental Models*, y la publicación por parte de Gentner y Steven de una compilación de artículos, en el libro titulado también *Mental Models*. El primero se presenta como una alternativa al intento de modelizar el sentido común en términos de lógica proposicional; se sitúa, pues, en la tradición de la investigación minskyana. El segundo presenta unos artículos situados en la tradición minskyana y otro en la tradición mccarthyana. De entre los que se sitúan en la línea de McCarthy está el artículo de Norman (1983), que explicita la concepción de modelo mental que presentan los seguidores de este autor.

A pesar de las diferencias de concepciones que pueden apreciarse, debidas a sus distintos planteamientos teóricos, entre Jonson-Laird y Norman, encontramos en ellos coincidencias esenciales, que son las que, en definitiva, dan unidad al constructo en la Ciencia Cognitiva. Son las siguientes:

- a) Los objetivos *funcionales* del Modelo Mental, que son la *explicación* del comportamiento del sistema físico modelizado, y la *predicción* de futuros estados del sistema físico modelizado¹.
- b) Los elementos *constitutivos* esenciales del nuevo constructo, que son
 - i.- Una primera representación del sistema físico o del “estado del mundo” que se quiere modelizar
 - ii.- Una segunda representación, derivada de la primera, que dispone de un sistema de inferencia que la capacita para la predicción de futuros estados del sistema modelizado
 - iii.- La segunda representación tiene la propiedad de poder ejecutarse mentalmente (simulación mental), de manera que se pueden comparar los comportamientos del sistema modelizado con los que tendría el sistema físico “real” si se pusiera en funcionamiento.

La Tabla 1 resume las características comunes que aparecen en las descripciones del Modelo Mental que realizan Jonson-Laird y Norman.

¹ Aunque el concepto “modelo mental” puede referirse a cualquier ámbito de la realidad, nosotros nos referimos aquí exclusivamente a modelos mentales del mundo físico, por razones obvias.

Funciones	Elementos constitutivos
-Explicar el comportamiento del sistema físico modelizado -Predecir futuros comportamientos del sistema físico modelizado	1)Una representación del sistema físico o “estado del mundo” que se quiere modelizar 2)Una segunda representación, derivada de la primera, dotada de un sistema de inferencia que permite la predicción de futuros estados del sistema que se está modelizando. 3)La segunda representación se puede ejecutar mentalmente, de manera que se puede comparar esta ejecución mental con el comportamiento del sistema “real” modelizado si éste se pone en funcionamiento.
<i>Otras características comunes</i>	
-Los modelos mentales pertenecen al ámbito de los conocimientos implícitos (no están en el ámbito de la conciencia explícita del usuario) -Los modelos mentales no son completos (no contienen todos los elementos del sistema que quieren representar, sino sólo los que son útiles para el propósito del usuario)	

Tabla 1. Comparación de los elementos comunes de las concepciones de Jonson-Laird y Norman acerca de los Modelos Mentales.

Como sería de esperar, también aparecen diferencias entre los dos autores, debidas a sus puntos de partida teóricos. Las principales diferencias se centran en las posibilidades que conceden a la ejecución mental del Modelo Mental construido. La Tabla 2 resume las principales semejanzas y diferencias que aparecen cuando se comparan sus descripciones acerca de este punto.

Jonson-Laird (Trad. Minskyana)	Norman (Trad. McCarthyana)
-Correspondientes (evaluables) \approx dotados de mecanismos reestructuradores -Coherentes -Robustos	-Correspondientes (evaluables) \approx dotados de mecanismos reestructuradores -No necesariamente coherentes (pueden aparecer contradicciones al ejecutarse el modelo) -No necesariamente robustos (la predicción puede fallar si cambia el “escenario”)

Tabla 2. Semejanzas y diferencias de las concepciones de Jonson-Laird y Norman acerca de la puesta en marcha de los Modelos Mentales.

Centrándonos en los puntos esenciales comunes, es decir, las funciones y los elementos constitutivos, podemos analizarlos en términos operativos. Se puede decir que la primera representación constituye una ONTOLOGÍA del sistema que se quiere modelizar, seleccionada por el sujeto según su sistema de creencias y sus intereses en la utilización del modelo; la segunda representación, al incorporar un sistema de inferencia, es la que permite la predicción y la explicación. Parece obvio que el usuario del modelo busque las explicaciones más certeras, por lo que manejará una EPISTEMOLOGÍA implícita, que le proporcionará “criterios de verdad” para validar esas explicaciones; el tercer elemento permite la comparación entre el comportamiento del sistema físico o “real” que se está modelizando y la simulación en la mente del modelo mental construido. Esta comparación permite juzgar acerca de la correspondencia entre ambos comportamientos, de manera que si falta ésta, el modelo mental construido no será válido, y se pondrán en marcha los mecanismo de reconstrucción del modelo. La Figura 1 es una representación gráfica de los constituyentes básicos del modelo mental y de sus relaciones.

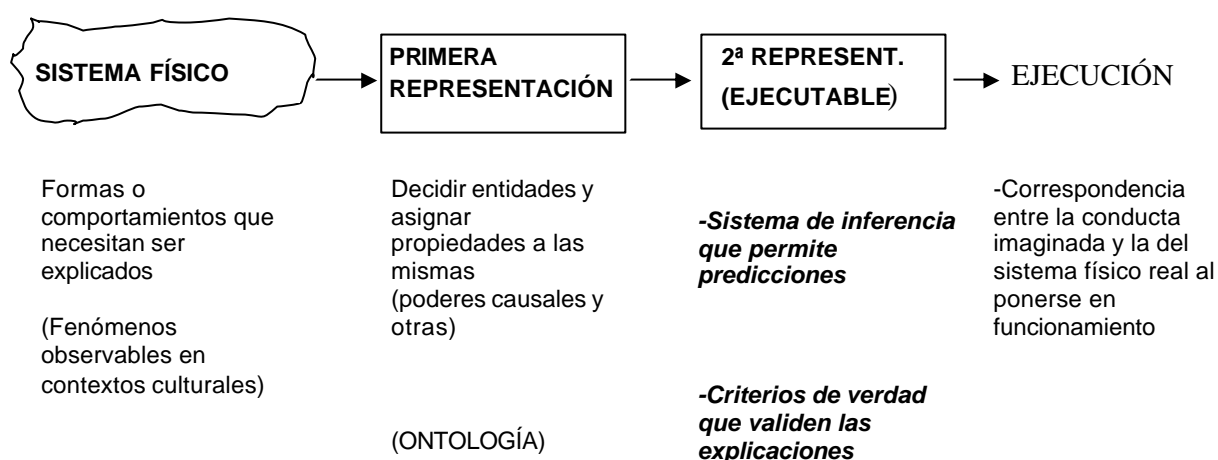


Figura 1: Elementos constituyentes del modelo mental

Como hemos visto, el Modelo Mental es un término técnico, que adquiere su significado dentro de un cuerpo de conocimientos determinado, la Ciencia Cognitiva, dentro del cual tiene sentido unívoco cuando nos referimos a sus constituyentes esenciales.

El hecho de la polisemia

La “polisemia” a nivel teórico

Nueve años después de la aparición de los dos libros en que se formaliza de modo sistemático el constructo “Modelo Mental”, aparece publicado el libro *Models in the Mind. Theory, Perspective & applications*, editado por Rogers, Rutherford y Bybby (1992), constituido por una colección de artículos en los que se presenta el “estado de la cuestión” de los modelos mentales desde la perspectiva teórica. En el capítulo primero (Introducción) del libro, Rogers afirma:

“El concepto de modelo mental se ha introducido en la teoría y en la práctica psicológica en multitud de situaciones, hasta el punto de que está en la vanguardia de la investigación psicológica contemporánea. (...) El lado positivo de que todos utilicen el término, ha sido la creación de un verdadero debate

interdisciplinar, en cuyos bordes hay mucha controversia. El lado negativo es que el término ha llegado a ser bastante confuso, y en algunos casos ha sido secuestrado para elevar falsamente el estatus de algunos trabajos de investigación, que dicen muy poco acerca de los procesos cognitivos humanos” (Rogers 1992, p 1)

La frase resume bastante bien la situación: por una parte, el concepto “modelo mental” está situado en la vanguardia de la investigación psicológica; por otra, la controversia suscitada en “los bordes” de un debate interdisciplinar, que ha llevado a que el término esté “bastante confuso”. El debate a que hace alusión se refiere fundamentalmente a las diferentes concepciones del “sistema de inferencia”, ya controvertido en los orígenes mismo del término (recordemos lo anteriormente dicho sobre el “*frame problem*”), que, en definitiva divide a los investigadores en las dos grandes corrientes investigadoras ya descritas. Las argumentaciones teóricas planteadas no acercan las posturas, sino que se van afinando y distanciando, alcanzando a la comprensión de la naturaleza de cada uno de los elementos constitutivos del modelo mental.

Desde este punto de vista se puede hablar de “polisemia”, porque aunque se conservan los elementos comunes que definen el concepto, y que son aceptados por ambas corrientes de investigación, los autores mantienen diversa comprensión de los mismos.

Polisemia en el campo de los aprendizajes

En 1989 aparece un libro en honor de Robert Glaser, titulado *Knowing, Learning, and Instruction*, editado por Lauren B. Resnick. En la Introducción del mismo, el editor afirma:

“Las teorías sobre modelos mentales (Gentner & Steven, 1983; Johnson-Laird, 1983) son centrales en la investigación actual en ciencia cognitiva, por sus modos de caracterizar las relaciones existentes entre el modo de pensar y la realidad externa, a las cuales hace referencia el pensamiento y su representaciones simbólicas. Apendar sobre algo, llegar a comprender lo que se aprende, es, en terminos de la ciencia cognitiva actual, construir un modelo mental” (Resnick 1989b, Introduction, p 4. Énfasis del autor)

En el libro se presentan capítulos sobre aprendizaje de la lectura, de la escritura, de la matemática, de economía, de estrategias generales para transferir lo que se sabe de uno a otro dominio, de resolución de problemas, etc. Al presentar cada capítulo del libro, Resnick introduce el trabajo de cada autor, presentándolos en términos de “modelos mentales”. Pero si vamos a los capítulos correspondientes, podemos comprobar que ninguno de los autores se refieren en sus trabajos a modelos mentales en el sentido técnico del término, sino a:

- modelos situados² (p.e., Kintsch, cap. 2; Perfetti, cap. 10)
 - schemata –o esquemas de acción- (p.e., Beck y McKeown, cap. 3)
 - redes semánticas – (p.e., Leinhardt, cap. 4)
 - micromundo o “*learning system*” (Nesher, cap. 6)
- Etc.

² Un *modelo situado*, en el contexto utilizado por estos autores, es una representación mental del estado de cosas descritas en un texto, más que del texto mismo (Cfr. Zwaan 1999, p 15)

Los autores conocen el concepto de modelo mental –son grandes especialistas en Ciencia Cognitiva-, pero lo utilizan como un término genérico cuando lo mencionan en contextos de aprendizaje, fundiéndolo (o confundiendo) con esos otros términos técnicos, que son los centrales en sus capítulos correspondientes.

Polisemia en el campo de la didáctica de las ciencias

El concepto “modelo mental” no entra en el campo de la Didáctica de las Ciencias con cierta entidad hasta mediados de los años 90, y lo hace también cargado de polisemia. Antes de estas fechas lo habían utilizado respetando su “forma canónica” investigadores como Gutierrez y Ogborn (1992), Serrano (1992), Gutierrez (1994)³. Pero realmente casi ningún autor lo utiliza en su sentido técnico. Para evitar alargar demasiado este trabajo, revisaremos, a modo de ejemplo y no de manera exhaustiva, un autor por año, comenzando por los trabajos de investigación publicados a partir de 1996.

? HALLOUN, I., 1996, Schematic modeling for meaningful learning in Physics. *J. of Res. in Science Teaching*, 33 (9), 1019-1041.

El autor presenta el concepto de “schematic modeling”, afirmando que se basa en el concepto de modelo mental de Jonson-Laird (1983) y Gentner y Steven (1983). Pero en el artículo no utiliza nunca el concepto “modelo mental” tal como lo definen estos autores, sino que lo utiliza de manera confusa, afirmando que

*“[los modelos mentales] pueden ser explorados indirectamente, vía **modelos conceptuales**, que son los que las personas comunican a otras verbalmente, simbólicamente o gráficamente (o/y vía modelos físicos, que son artefactos materiales)”* (p 1021. Énfasis del autor].)

La confusión en este caso radica en que *modelo conceptual* es definido por Norman (1983) –en Gentner y Steven 1983, citado en el artículo, en la página 1021- de la siguiente manera:

*“Un **modelo conceptual** es inventado para proporcionar una representación adecuada del sistema que se quiere representar; adecuada en el sentido de ser precisa, consistente y completa. El modelo conceptual es inventado por los profesores, diseñadores, científicos e ingenieros”* (Norman 1983, p 7. Énfasis del autor)

³ El trabajo de Vosniadou y Brewer de 1989: *Mental Models of the Earth: a study of conceptual change in childhood*, es un estudio pionero, y un poco controvertido acerca del uso del concepto de modelo mental en términos técnicos o canónicos. Es cierto que, al presentar en los resultados prácticamente sólo los dibujos de los niños, pudo introducir confusiones en los autores que se inspiraron en este trabajo (modelo mental = dibujo). Pero si en este trabajo original se analizan las entrevistas realizadas a los niños, vemos que no sólo utilizan una ONTOLOGÍA para el análisis de sus modelos mentales (la reflejada en los dibujos), sino que también les hacen utilizar un SISTEMA DE INFERENCIA para asegurarse de que sus respuestas encerraban, de algún modo, valores “explicativos” y “predictivos”. Por desgracia, este punto no aparece explícito ni en este trabajo ni en otros (Ver, p.e., Vosniadou y Brewer 1994), y esto quizás haya ayudado a confundir a los que se han limitado a leer estos artículos, sin consultar las fuentes documentales originales que los autores utilizaron.

Como puede observarse, lo que Norman llama modelo conceptual es precisamente un modelo científico. No entendemos cómo puede utilizarse un modelo científico para comunicar un modelo mental.

- ? RITCHIE, S. M., TOBIN, K. y HOOK, K. S., 1997, Teaching references and the warrants used to test the viability of students' mental models: Is there a link?. *J. of Research in Science Teaching*, 34 (3), 223-238.

En este caso, los autores identifican explícitamente “modelo mental” y “concepción alternativa”. La siguiente cita es expresiva a este respecto:

*“Estos modelos iniciales [modelos mentales iniciales, de Vosniadou] se denominan de forma variada como modelos personales de la realidad, creencias espontáneas, preconcepciones, ideas erróneas y, más comúnmente como concepciones erróneas (...). Como Wandersee y otros, nosotros utilizaremos el término **concepciones alternativas** (o **modelos**), en vez de concepciones erróneas (...). Desde nuestra perspectiva, esto es más interesante, porque ‘esto confiere respeto intelectual hacia los alumnos que mantienen dichas ideas’ ...”. [Énfasis de los autores] (p 226)*

Las últimas líneas de esta cita recuerda la advertencia de Rogers (1992 p 1) anteriormente señalada, acerca de cómo “elevar” el estatus de una investigación.

- ? VENVILLE, G. J. y TREAGUST, D. F., 1998, Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *J. of Res. in Science Teaching*, 35 (9), 1031-1055.

En este artículo, los autores identifican “modelo mental” con las concepciones ontológicas de los alumnos (sólo uno de los constituyentes del modelo mental –primera representación). Así, en los pies de las figuras, en las que van resumiendo los resultados de la investigación encontramos estos comentarios:

“Figura 3. Camino que sigue el progreso de los estudiantes de décimo curso hacia modelos mentales de genes cada vez más sofisticados” [en la figura se muestran diversas concepciones ontológicas de “gen”] (p 1040)

“Figura 4. Progreso de [dos estudiantes] en el camino ontológico de los modelos mentales de genes desde antes a después de la instrucción”. (p 1049)

En la discusión de los resultados, señalan:

*“Utilizando una **perspectiva ontológica**, se han identificado los diferentes **modelos mentales** que los estudiantes utilizan para pensar sobre los genes. La mayoría de los estudiantes consideran los genes como partículas pasivas que pasan de generación en generación” (p 1051. Énfasis nuestro)*

- ? HOGAN, K., 1999, Thinking aloud together: a test of an intervention to foster students' Collaborative Scientific Reasoning. *J. of Res. in Science Teaching*, 36 (10), 1085-1109.

En este artículo el autor, maneja el término “modelo mental” a lo largo de todo el artículo (cfr. p 1085, 1088, 1095, 1098, 1099, 1100, 1103, etc) sin especificar qué entiende por el mismo, ni explicitar ningún referente teórico que haga relación al concepto. Sólo en la

página 1089, al describir las distintas fases de la investigación, encontramos algo parecido a una definición, en la siguiente frase:

“En la Fase II (...) los estudiantes trabajaron en grupos para construir y presentar un conjunto coherente de ideas y diagramas –llamados sus modelos mentales- los cuales... (...)” (p 1089).

En ella parece identificar “modelo mental” con un “conjunto coherente de ideas y diagramas”, que recuerda el concepto de “esquema”. Nuestra sospecha parece ratificada por esta otra frase, escrita al comentar los resultados de la investigación:

“Así que, en contraste con los estudiantes del grupo experimental, los estudiantes del grupo control no han interiorizado un esquema para el tipo de procesos de pensamiento implicados en la construcción colaborativa de modelos mentales”. (p 1097)

La entrada en el milenio

Deberemos hacer una excepción a nuestro plan de revisar un autor por año, ya que en el año 2000 se publican dos colecciones de trabajos, que son muestra de la “madurez” adquirida por el constructo “modelo mental” en la investigación en Didáctica de las Ciencias. Nos referimos al libro *Developing Models in Science Education*, editado por Gilbert y Boulter (2000), y al monográfico aparecido en el *International Journal of Science Education*, sobre el mismo tema (Vol. 22, N° 9, 2000). No es nuestra intención revisar todos los artículos de estas publicaciones, sino poner de manifiesto que en ellas aparece también el fenómeno de la polisemia.

Por ejemplo, en el Capítulo 1 del libro, Gilbert y otros tratan de definir y clarificar los términos que se van a utilizar en los diferentes capítulos. Y así lo afirman:

“Presentamos la terminología básica acerca de los modelos y de la modelización que se ha usado a lo largo de todo este libro” (p 3)

Y definen:

*“Un **modelo mental** es una representación cognitiva privada y personal. La forma un individuo, bien por sí mismo, o cuando está en grupo”* (p 12. Énfasis de los autores)

Esta definición significa que *cualquier representación cognitiva personal* es considerada como un modelo mental.

Sin embargo, en la revisión hecha por Franco y Colinvaux, en el cap. 5 del libro (*Grasping mental models*), estos autores explicitan una condición que estiman necesaria para que una representación mental sea un “modelo mental”:

“La única característica necesaria para identificar un modelo mental es que es generativo: las otras características (...) pueden o no estar presentes, dependiendo de las situaciones particulares” (p 117)

Ser “generativo” quiere decir para Franco y Colinvaux, tener la cualidad de hacer posible la explicación y la predicción (Cfr. p 100 y 118). Es decir, que tenga las *funciones* del modelo mental, sin ninguna alusión a los elementos constituyentes.

Por otra parte, Buckley y Boulter, en el cap 6 del mismo libro (*Investigating the role of representations and expressed models in building mental models*), distinguen entre

“un modelo ‘como la representación de una idea, objeto, suceso o sistema’, y ‘modelos mentales’, [que] son representaciones cognitivas internas que se utilizan para razonar acerca de los fenómenos, y para describir, explicar, predecir y, a veces, controlarlos” (p 120. Énfasis de los autores)

Recordando lo expuesto en puntos anteriores, se aprecia que el concepto de modelo mental expresado en esta última cita responde a las definiciones canónicas de Johnson-Laird y Norman.

En definitiva, como puede deducirse de estos ejemplos, en el libro de Gilbert y Boulter la polisemia en la comprensión de qué sea un modelo mental parece muy clara.

En cuanto al monográfico del *International Journal of Science Education*, nos encontraremos con el mismo problema, como vamos a mostrar en lo que sigue.

En la *Introducción* del monográfico, Gobert y Buckley (2000) se proponen también clarificar los términos que se van a utilizar en los diferentes artículos:

“Es importante, desde un primer momento, identificar y definir los conceptos-clave y presuposiciones que están presentes en el conjunto de artículos que aquí se presentan” (p 981)

En relación al concepto de “modelo mental”, afirman:

“En cuanto a los modelos mentales, nos alineamos con aquellos que piensan que la gente posee, construye y razona con entidades mentales llamadas modelos mentales (Johnson-Laird 1983)” (p 982)

Por tanto, se podía esperar una clara comprensión o utilización del término. Y así es en el artículo de Buckley (2000), donde explicita ampliamente la concepción de Jonson-Laird, ilustrando el concepto con datos empíricos. Pero no sucede así con otros artículos del mismo monográfico. Lo mostraremos en dos ejemplos.

? HARRISON, A. G. y TREAGUST, D. F., 2000, A typology of school science models. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.

En el artículo, los autores describen 10 tipos de “modelos” diferentes: 1) modelos a escala; 2) modelos didácticos analógicos; 3) modelos icónicos y simbólicos; 4) modelos matemáticos; 5) modelos teóricos; 6) mapas, diagramas y tablas; 7) modelos de conceptos-procesos; 8) simulaciones; 9) modelos mentales; modelos sintéticos (cfr. p 1014-1017). Pero al final de la enumeración, resumen:

“En algún sentido, los modelos mentales subsumen todas las anteriores categorías” (p 1017)

Esto recuerda la definición de Gilbert y otros (2000 p 12) antes apuntada; pero nos parece todavía más amplia.

? SNYDER, J. L., 2000, An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 979-992.

La definición de este autor, acerca de lo que es un modelo mental también nos parece suficientemente significativa:

“Para entender cómo se define un modelo en este estudio, la descripción de modelos de Norman (1983) puede ser iluminadora. (...). En la descripción de Norman se describen dos tipos de modelos. El primero [modelo mental] es cualquier representación del sistema que se quiere representar, quizás un video mental del fenómeno. (...). El Segundo sería el modelo conceptual (...). Ambas representaciones son modelos del mismo fenómeno; la diferencia consiste en que uno es más descriptivo y el otro explicativo” (p 979)

Aquí se concibe el modelo mental como cualquier representación mental que tenga solo poder descriptivo. La función explicativa se asigna al modelo conceptual o científico (Norman 1983). Y de la predictiva no se habla. Más adelante, el autor sigue:

“Esto sugiere que la diferencia entre un modelo descriptivo y un modelo conceptual es (...)” (p 980)

empleándose en el artículo como sinónimos “modelo mental” y “modelo descriptivo”.

Como síntesis acerca de las aportaciones que encontramos en estas dos colecciones de artículo, aparecidas a la entrada misma del milenio, nos parece representativa la conclusión que apuntan Franco y Colinvaux en la revisión anteriormente citada:

" La misma noción de modelo mental, que permea cada vez más estas áreas diferentes [Ciencia Cognitiva, IA, Interacción hombre-máquina, Didáctica de las Ciencias, etc], se ha multiplicado, y por lo tanto, se ha hecho difícil de captar" (Franco y Colinvaux 2000, p 94).

Los últimos años

En el primer artículo que reseñamos, en esta serie que abarcará hasta 2005, lleva un título bastante expresivo del fenómeno que estamos analizando *Epistemology, situated cognition, and mental models: "Like a bridge over troubled water"*, y contiene una frase, al comienzo del mismo, que es ilustrativa de lo que estamos comentando a través de este trabajo:

“De acuerdo con una larga tradición en didáctica de las ciencias, de operar con conceptos teóricos de la filosofía y de la psicología, podemos observar un gran tendencia a adoptar nuevos constructos teóricos provenientes de la ciencia cognitiva. Pero al mismo tiempo, hay que reconocer que frecuentemente los movimientos educativos resultantes son no teóricamente claros, debido a que los constructos teóricos no se definen con precisión, no se relacionan con otros constructos, o no se evalúan debidamente (cf. Snow 1990). Consecuentemente,

Strauss (1996) comparó la relación entre ciencia cognitiva y educación como “aguas turbulentas” (...). (Seel 2001 p 403, énfasis del autor)

Pero veamos qué dice de modelos mentales este, por cierto, magnífico artículo.

? SEEL, N. M., 2001, Epistemology, situated cognition, and mental models: "Like a bridge over troubled water". *Instructional Science* 28, 403-427.

El autor conceptualiza el modelo mental dentro de la tradición del “conocimiento situado”, que opera dentro de una lógica proposicional (aunque también considera esta lógica como “situada”⁴). Por esta razón, Steel considera el “esquema” como la pieza fundamental del modelo mental (p 410). Pero dentro de este paradigma le aparece necesariamente (aunque no de manera explícita) el “*frame problem*”, de manera que tiene que recurrir, como otros antes que él (p.e. Collins y Gentner 1987), a dotar al esquema de “razonamiento analógico” y a añadir otros prerrequisitos, para explicar la construcción de los modelos mentales:

“El razonamiento analógico es un prerrequisito para la construcción de un modelo mental” ... El otro es (...) proporcionar al alumno un modelo conceptual de los hechos para que puedan ser explicados causalmente” (p 410)

Aunque el estudio está teóricamente bien articulado, se observa que el autor, quizás por ser coherente con sus planteamientos teóricos, al dar cuenta de los resultados de la investigación, evalúa por una parte los conocimientos declarativos del dominio correspondiente (los que se almacenan en los esquemas, llamados también “*preconcepciones*” (cf. p 415 y 416); y por otra los “*diagramas causales*”, contruidos por los sujetos gracias a la aportación de los modelos conceptuales que le han sido proporcionados desde fuera (cf. p 415 y 417-419).

Nuestra impresión de conjunto es que en el trabajo que se ofrece *falta la articulación entre los constituyentes del modelo mental*, no pudiéndose dar cuenta de la evolución de los mismos de forma progresiva y coherente, sobretodo porque no se explica cómo los sujetos pueden construir sistemas explicativos causales de forma autónoma (cf. de Kleer y Brown 1983).

? BARNET, M. y MORRAN, J., 2002, Addressing children's alternative frameworks of the Moon phases and eclipses. *Int. J. of Science Education*, 24 (8), 859-879.

Los autores analizan en este artículo cómo determinado tratamiento didáctico es o no eficaz para inducir en los alumnos un cambio conceptual en el tema apuntado en el título del mismo. El constructo “modelo mental” es utilizado en este caso como sinónimo de “marco alternativo”. Por ejemplo, al dar cuenta de los cambios experimentados por los alumnos en relación al tema, escriben:

“Por ejemplo, Karen comenzó con un determinado modelo mental, pero en la entrevista, a través de la reflexión, trató de ajustar su anterior comprensión a un nuevo modelo emergente que explicaba mejor el fenómeno que estábamos discutiendo” (868)

⁴ En psicología cognitiva se llama “conocimiento situado”, en general, a aquel cuyas proposiciones tienen un referente en el mundo externo al sujeto. Llamamos a este tipo de proposiciones “lógica situacional”.

“Lo mismo que otros estudiantes, Susan ha desarrollado previamente un modelo mental del sistema Tierra-Luna-Sol, pero no había tenido la oportunidad de reflexionar y evaluar su modelo mental, y así estaba continuamente enmendando y desarrollando su modelo” (p 869)

A pesar de lo anterior, en la literatura revisada para fundamentar el trabajo los autores no utilizan ninguna referencia relativa a modelos mentales, y más llamativo aún, citan los trabajos de Vosniadou en el tema, pero sin aludir en ningún caso a este concepto. Las conclusiones del trabajo también vienen dadas en términos de marcos alternativos

? TABER, K. S., 2003, Mediating Mental Models of Metals: Acknowledging the Priority of the Learner's Prior Learning. *Science Education*, 87 (7), 732-758.

En este artículo Taber considera sinónimos los conceptos de “marco alternativo conceptual” y “modelo mental”. Ya en el resumen del mismo esta idea se explicita claramente:

“Este artículo describe las conceptualizaciones, o modelos mentales, acerca de la naturaleza del enlace y estructura de los metales (...). Se sugiere que estos modelos mentales pueden entenderse en términos de los aprendizajes anteriores de los estudiantes sobre enlaces covalentes e iónicos, y la persistencia de un marco alternativo conceptual común para los enlaces químicos, llamado ‘el marco del octeto’” (p 732 . Comillas del autor).

El autor también habla de “*esquema molecular*” y de “*esquema iónico*”, refiriéndose a las ideas de los alumnos (p 750). Consecuente con esta concepción de modelo mental, a lo largo del artículo describe casi exclusivamente lo que aquí se viene llamando “ontología del sistema” (elementos que aparecen en la “primera representación” del modelo mental), basándose fundamentalmente en los dibujos de los estudiantes; y presenta las conclusiones del mismo en términos de la estructura del sistema (entidades y sus propiedades), al referirse a las concepciones de los estudiantes (cf. p 752 y ss). También llama la atención que en la bibliografía citada no aparezca ninguna fuente primaria sobre modelos mentales.

? TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G.D. y MAMIALA, T. L., 2004, Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Inorganic Chemistry. *Research in Science Education*, 34 (1), 1-20.

Los autores utilizan en este artículo como sinónimos los conceptos “modelo mental” y “modelo conceptual”. En la introducción del mismo, los autores intentan aclarar la terminología que van a usar, citando a Gilbert y otros (1998): *modelo científico o consensuado*, *modelo didáctico*⁵, y *modelo mental o conceptual*, estos últimos definidos de la siguiente manera:

“modelo mental o conceptual – una representación personal y privada del sistema que emerge de experiencias variadas con el fenómeno u objeto que se modeliza”.
(p 1. Énfasis de los autores)

Pero analizando el artículo de Gilbert y otros (1998) no encontramos la definición de “modelo conceptual”.

⁵ Literalmente “modelo para enseñar” (teaching model).

Los autores también citan a Norman (1983) al hablar de modelos mentales (cf. p 2). Pero recordemos la definición de Norman antes apuntada:

*"Un **modelo conceptual** es inventado para proporcionar una representación adecuada del sistema que se quiere representar; adecuada en el sentido de ser precisa, consistente y completa. El modelo conceptual es inventado por los profesores, diseñadores, científicos e ingenieros". (Norman 1983, p 7. Énfasis del autor)*

Características que no son compartidas por el “modelo mental”, que no es preciso ni completo.

En la página 14 del artículo, al describir los resultados, se utilizan de nuevo los términos como sinónimos. El solapamiento realizado sólo contribuye a aumentar la confusión y la polisemia del concepto.

? COLL, R. K., FRANCE, B. y TAYLOR, I., 2005, The role of models and analogies in science education: implications from research. *Int. J. of Science Education*, 27 (2), 183-198.

En esta caso podemos observar cómo se utilizan como sinónimos los términos “modelo mental”, “modelo histórico” y “modelo científico”.

Los autores definen “*modelo mental*” según la explicitación de Gilbert and Boulter (2000), y también otros tipos de modelos según los mismos autores, como los *modelos consensuados* (modelos científicos), y los *modelos históricos* (“*aquellos [modelos científicos] producidos en un determinado contexto histórico que luego han sido superados*” - p 184). Pero al referirse al trabajo de los científicos, aparece la confusión señalada anteriormente:

“Ejemplos históricos muy conocidos incluyen el modelo mental de Rutherford acerca del átomo como sistema solar, y la representación de la electricidad en términos de presiones y flujos de fluidos, de Volta y Ampere” (p 184. Énfasis nuestro)

Y más adelante, refiriéndose al uso didáctico de los modelos, escriben:

“se ha sugerido que los profesores deben animar a los estudiantes a generar sus propias analogías (...) y a criticar sus propios modelos mentales, para ver hasta qué punto fallan en relación a los modelos mentales de los científicos” (p 187. Énfasis nuestro)

Este vocabulario utilizado en artículos cuyo objetivo no es justamente el estudio de los modelos mentales, se presta al uso no riguroso del término, contribuyéndose así a aumentar la sensación de que cualquier cosa puede ser denominada “modelo mental”

Consecuencias para la didáctica de las ciencias: polisemia, investigación y acción docente

En la pequeña muestra analizada, hemos puesto de manifiesto algunas de las acepciones con que se está utilizando en la literatura didáctica el término “modelo mental”: es

tal la polisemia con la que ha llegado a cargarse que difícilmente llegaríamos a saber su significado genuino solamente leyendo este tipo de artículos, sin recurrir a las fuentes originales.

Quizás esto pueda servir de aviso a los investigadores, cuando utilizamos (no solo en este campo) términos importados del trabajo de otros autores, confiando quizás en ellos y no consultando la bibliografía original; quizás sea también útil para los que revisan los artículos que van a ser publicados en las revistas especializadas, que confiamos en el texto que tenemos delante y en las referencias cruzadas que en el mismo aparecen, y tampoco vamos a las fuentes, con lo que quedamos desarmados para hacer una crítica cabal.

Pero posiblemente este trabajo quedaría reducido a mero ejercicio retórico si esto no tuviera consecuencias para la investigación didáctica, y el posterior trabajo en el aula, en ella fundamentado. Viene bien, a este respecto, la cita que anotamos al principio:

“El concepto de modelo mental se ha introducido en la teoría y en la práctica psicológica en multitud de situaciones, hasta el punto de que está en la vanguardia de la investigación psicológica contemporánea” (Rogers 1992 p 1)

Si esto es cierto, habría que lamentar la situación actual, en la que la diversidad de comprensiones hace imposible adivinar con qué sentido está empleado el término en una investigación determinada. Esta diversidad impide la construcción común del conocimiento científico, es decir, en el caso que nos ocupa, el progreso en el conocimiento de las características del pensamiento de sentido común de los alumnos, base para el planteamiento de cualquier proceso de enseñanza/aprendizaje.

Desde un punto de vista estrictamente didáctico, las posibilidades de comprender el comportamiento cognitivo de los alumnos que proporciona el concepto genuino de “modelo mental” (la *organización* de los contenidos mentales, sus *relaciones*, los *mecanismos* que hacen que dichos contenidos se movilicen y evolucionen), aparecen implicadas, por ejemplo, en la comprensión de los comportamientos experto/novato, en la explicación de la resistencia al cambio de las llamadas “ideas de los alumnos”, en el estancamiento de los tratamientos didácticos que han experimentado todas las teorías del cambio conceptual. Merecería la pena hacer un esfuerzo por llegar a un *nuevo y explícito consenso* acerca del término, que permita una investigación empírica en la que sea posible la comunicación, la discusión, la evaluación de los productos, y la oferta clara y decantada a los profesionales de la educación, de lo que de provecho tiene esta línea investigadora para promover una acción más eficaz en nuestras prácticas docentes.

Referencias

BARNET, M. y MORRAN, J., 2002, Addressing children's alternative frameworks of the Moon phases and eclipses. *Int. J. of Science Education*, 24 (8), 859-879.

BECK, I. L. y McKEOWN, M. G., 1989, Expository text for young readers: the issue of coherence. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 47-65.

BUCKLEY, B. C. y BOULTER, B., 2000, Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. En: Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands, p 119-135.

- BUCKLEY, B. C., 2000, Interactive multimedia and model-based learning in biology. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 895-935.
- COLL, R. K., FRANCE, B. y TAYLOR, I., 2005, The role of models and analogies in science education: implications from research. *Int. J. of Science Education*, 27 (2), 183-198.
- COLLINS, A. y GENTNER, D., 1987, How people construct mental models. En: Holland, D. y Quinn, N, (eds), *Cultural models in language and thought*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, p 242-265
- de KLEER, J. y BROWN, J. S., 1983, Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En: Gentner, D. y Stevens, A. L. (eds), *Mental Models*. LEA. Hillsdale, NJ, p 155-190.
- de KLEER, J., 1984, How circuits work. *Artificial Intelligence*, 24 (1-3), 205-280 (Vol. extra)
- FORBUS, K. D., NIELSEN, P. y FALTINGS, B., 1987, Qualitative Kinematics: A framework. En: *Proceedings of the 10th IJCAI*. Milan, p 430-435.
- FRANCO, C. y COLINVAUX, D., 2000, Grasping mental models. En: Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands, p 93-118.
- GADNER, H., 1985, *The mind's new science*. Basic Books. NY. Trad. cast. de L. Wolfson, *La nueva ciencia de la mente*. Paidós. Barcelona, 1988.
- GENTNER, D. y STEVENS, A. L. (eds), 1983, *Mental Models*. LEA. Hillsdale, NJ.
- GILBERT, J. K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M., 1998, Models in explanations, Part 1: Horses for courses?. *Int. J. of Science Education*, 20 (1), 83-97.
- GILBERT, J. K. y BOULTER, C. J., (eds), 2000, *Developing models in Science Education*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands.
- GILBERT, J. K., BOULTER, C. J. y ELMER, R., 2000, Positioning models in Science Education and in Design and Technology Education. En: Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands, p 3-17.
- GOBERT, J. D. y BUCKLEY, B. C., 2000, Introduction to model-base teaching and learning in Science Education. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 981-994.
- GUTIERREZ, R. y OGBORN, J., 1992, A causal framework for analysing alternative conceptions. *Int. J. of Science Education*, 14 (2), 201-220.
- GUTIERREZ, R., 1994, *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. Publicada en CD-ROM: Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid (ISBN: 84-669-0303-8). Madrid, 2001.
- HALLOUN, I., 1996, Schematic modeling for meaningful learning in Physics. *J. of Res. in Science Teaching*, 33 (9), 1019-1041.
- HARRISON, A. G. y TREAGUST, D. F., 2000, A typology of school science models. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.
- HOGAN, K., 1999, Thinking aloud together: a test of an intervention to foster students' Collaborative Scientific Reasoning. *J. of Res. in Science Teaching*, 36 (10), 1085-1109.
- JOHNSON-LAIRD, P. N., 1980, Mental models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4 (1), 71-115.

- JOHNSON-LAIRD, P. N., 1982, Propositional representations, procedural semantics and mental models. En: Mehler, J., Walker, E. C. T. y Garret, M. (eds), *Perspectives on mental representation*. LEA. Hillsdale, NJ, p 111-131.
- JOHNSON-LAIRD, P. N., 1983, *Mental models*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- KINTSCH, W., 1989, Learning from text. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 25-46.
- KUIPERS, B. y KASSIER, J. P., 1984, Causal reasoning in medicine: analysis of a protocol. *Cognitive Science*, 8 (4), 363-385.
- LEINHARDT, G., 1989, Development of an expert explanation: an analysis of sequence of subtraction lessons. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 67-124.
- McCARTHY, J. y HAYES, P., 1969, Some philosophical problems from the standpoint of Artificial Intelligence. En: Michie, D. y Meltzer, B. (ed), *Machine Intelligence 4*. Edinburgh Univ. Press. Edinburgh, p 463-502.
- McCARTHY, J., 1968, Programs with Common Sense. En: Minsky, M. (ed), *Semantic Information Processing*. The MIT Press. Cambridge, Ma, p 403-418.
- McCARTHY, J., 1980, Circumscription - A form of non-monotonic reasoning. *Artificial Intelligence*, 13 (1), 27-39.
- McCARTHY, J., 1986, Applications of Circumscription to formalizing common-sense knowledge. *Artificial Intelligence*, 28 (1), 89-116.
- McDERMOTT, D. y DOYLE, J., 1980, Non - Monotonic Logic I. *Artificial Intelligence*, 13 (1), 41-72.
- McDERMOTT, D., 1985, Reasoning about plans. En: Hobbs, J. R. y Moore, R. C., *Formal Theories of Commonsense World*. Ablex. Norwood, NJ, p 269-317.
- MINSKY, M., 1968, Mater, Mind, and Models. En: Minsky, M. (ed), *Semantic Information Processing*. The MIT Press. Cambridge, Ma., p 425-442.
- MINSKY, M., 1974, *A framework for representing knowledge*. MIT. AI Laboratory. Memo N° 306.
- NESHER, P., 1989, Microworlds in Mathematical Education: a pedagogical realism. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, learning and instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 187-215.
- NORMAN, D. A., 1983, Some observations on Mental Models. En: Gentner, D. y Stevens, A. L. (ed), *Mental Models*. LEA. Hillsdale, NJ., p 15-33.
- PERFETTI, C. A., 1989, There are generalized abilities and one of them is reading. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 307-335.
- RESNICK, L. B. (ed), 1989a, *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ.
- RESNICK, L. B., 1989b, Introduction. En: Resnick, L. B. (ed), *Knowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, NJ, p 1-25.
- RITCHIE, S. M., TOBIN, K. y HOOK, K. S., 1997, Teaching references and the warrants used to test the viability of students' mental models: Is there a link?. *J. of Research in Science Teaching*, 34 (3), 223-238.
- ROGERS, Y., 1992a, Introduction. En: Rogers, Y., Rutherford, A. y Bibby, P. A. (eds), *Models in the mind*. Academic Press. Londres, p 1-7.

- ROGERS, Y., RUTHERFORD, A. y BIBBY, P. A. (eds), 1992, *Models in the mind*. Academic Press. Londres.
- RUMELHART, D. E. y ORTONY, A., 1977, The representation of knowledge in memory. En: Anderson, A. C., Spiro, R. J. y Montague, W. E. (eds), *Schooling and the acquisition of knowledge*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Rubí y S. Tarrat en *Infancia y Aprendizaje*, 19-20, 115-158, 1982.
- SAHANAHAN, M., 2004, "The Frame Problem". En: E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2004 Edition)*. <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2004/entries/frame-problem/>>
- SCHANK, R. C. y ABELSON, R. D., 1977, *Scripts, plans, goals, and understanding*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Gilboy y J. Zerón, *Guiones, planes, metas y entendimiento*. Paidós. B. A., 1987.
- SEEL, N. M., 2001, Epistemology, situated cognition, and mental models: "Like a bridge over troubled water". *Instructional Science* 28, 403-427.
- SERRANO, T., 1992, *Desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales*. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- SNYDER, J. L., 2000, An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *Int. J. of Science Education*, 22 (9), 979-992.
- SPERBER, D. y WILSON, D., 1996, Fodor's Frame Problem and Relevance Theory (reply to Chiappe & Kukla). *Behavioral and Brain Sciences*, 19 (3), 530-532.
- TABER, K. S., 2003, Mediating Mental Models of Metals: Acknowledging the Priority of the Learner's Prior Learning. *Science Education*, 87 (7), 732-758.
- TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G.D. y MAMIALA, T. L., 2004, Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Inorganic Chemistry. *Research in Science Education*, 34 (1), 1-20.
- VENVILLE, G. J. y TREAGUST, D. F., 1998, Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *J. of Res. in Science Teaching*, 35 (9), 1031-1055.
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. F., 1989, *Mental Models of the Earth: a study of conceptual change in childhood*. Center for the study of Reading. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. F., 1994, Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science* 18, 123-183.
- WILLIAMS, B. C., 1986, Doing time: Putting qualitative reasoning on firmer ground. En: *Proceedings of the 4th AAAI Conference*. Philadelphia, p 105- 112.
- ZWAAN, R. A., 1999, Situation Models: the mental leap into imagined worlds. *Current Directions in Psychological Sciences*, 8 (1), 15-18.

Conferencia dictada en el II Encuentro Iberoamericano sobre Investigación em Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, España, 21-24 de septiembre de 2004.