
MODELOS MENTALES, MODELOS CONCEPTUALES Y MODELIZACIÓN¹

Ileana María Greca
Marco Antonio Moreira
Instituto de Física, UFRGS
Porto Alegre –RS

Resumen

El estudio de las representaciones mentales que los alumnos construyen de su interacción con el mundo, sus fenómenos y artefactos está constituyendo una línea de investigación importante en la enseñanza de las Ciencias, según puede ser visto en las últimas publicaciones de las principales revistas del área. En este trabajo, pretendemos revisar que es lo que se está entendiendo por modelos mentales, modelos conceptuales y modelización y señalar que es lo que esta línea teórica puede aportar a la enseñanza e investigación en Ciencias.

I. Introducción

Hoy los aportes de la Psicología Cognitiva a la comprensión de los procesos de aprendizaje e instrucción parecen no dejar lugar a dudas (Brown, 1995; F Gardner, 1985). Estos aportes provienen fundamentalmente de uno de sus tópicos de investigación más importantes como es el estudio de la naturaleza representacional del conocimiento. Vosniadou (1996) indica que estos aportes conllevan, implicaciones revolucionarias para la educación. Por ejemplo, proveen de elementos teóricos que, con mucho más detalle que cualquier otra teoría psicológica anterior, describen las representaciones mentales y los procesos que subyacen al desempeño de los expertos en un área de conocimiento particular. Si esos procesos y representaciones pueden ser comprendidos, las preguntas que se siguen tienen implicaciones educativas claras: son ellos innatos o adquiridos (construidos)? Si son adquiridos, cómo es que los estudiantes los adquieren? Es posible diseñar métodos para facilitar esa adquisición? Estos elementos, además de la creciente insatisfacción por falta de resultados efectivos (Duit, 1993; Moreira, 1994) de la corriente de las concepciones alternativas y del cambio conceptual [por lo menos en las versiones de Posner et al. (1982) y en la del

¹ Trabalho apresentado na Décima Reunión de Ensenanza de Ia Física (REF X), realizada em Mardeí plata, 27-31 de outubro de 1997.

conflicto cognitivo (Nussbaum, 1989)] han contribuido para aumentar el interés de los investigadores en enseñanza de las Ciencias por los constructos teóricos con que la Psicología Cognitiva intenta describir las representaciones internas que las personas construyen de su conocimiento sobre el mundo. Este interés puede verificarse por ejemplo revisando el libro “Research in Science Education in Europe”, publicado el año pasado, en donde aparecen un número importante de artículos que utilizan los conceptos de *modelos mentales*, *modelos conceptuales* y *modelización* como ejes teóricos para las nuevas tendencias en Educación en Ciencias. Estos tres términos están también apareciendo con mayor frecuencia en artículos de las principales revistas del área (Krapas et al., 1997).

¿Qué es lo que tienen de particular estos conceptos que al parecer los estaría convirtiendo en nuevas vedettes de la investigación en enseñanza de las Ciencias?

En primer lugar es necesario destacar que, como es común en educación en Ciencias, estos términos no son utilizados de manera unívoca; por el contrario, detrás de su vaguedad existe también una diversificación de significados. En el caso particular de los modelos mentales, esa diversificación, que ha llevado a preguntarse si no se trataría en realidad de “embrollos mentales”² (Barquero, 1995), surge en gran medida de la propia Psicología Cognitiva, de donde han sido tomados.

Por otra parte, modelo y modelización son palabras que resultan especialmente seductoras para quien trabaja en áreas relacionadas con Ciencias. ¿Acaso las teorías científicas no son “representadas” por modelos - físicos o matemáticos - para un determinado número de fenómenos? No utilizamos también modelos para enseñar mejor a los alumnos? ¿Y además, no se considera que la modelización, entendida como el establecimiento de relaciones semánticas entre la teoría y los fenómenos u objetos, es la actividad fundamental en ciencias, en especial en Física? Sin embargo, la suposición de que los modelos conceptuales, por ser lógicamente claros y muchas veces especialmente diseñados para facilitar la comprensión y la enseñanza, deben ser aprendidos por los alumnos, quienes, además de representar en sus cabezas reproducciones de esos modelos, deberían ser capaces de utilizarlos para establecer relaciones entre la teoría presentada y los fenómenos, no es necesariamente verdadera. Ni los modelos mentales resultan copias perfectas de los modelos conceptuales que los científicos y profesores generan, ni ese proceso de modelización resulta tan evidente para nuestros alumnos.

En este trabajo pretendemos dar una visión de que es lo que se está entendiendo por modelos mentales, modelos conceptuales y modelización, o sea como están siendo utilizados en la investigación en enseñanza de las ciencias y, con esos elementos, intentar explicar porque, aunque el razonamiento del párrafo anterior no es

² Tomado del juego de palabras en inglés “mental models or mental muddles” (Barquero, idem)

necesariamente cierto, el programa de investigación de los modelos mentales parece ser un camino fructífero.

II. Modelos mentales

En 1983 aparecieron editados dos libros sobre modelos mentales, uno escrito por Johnson-Laird, y el otro editado por Gentner y Stevens. Según Barquero (op. cit.) en tanto el primero representa lo que podríamos llamar de la vertiente teórica de los modelos mentales, el conjunto de trabajos que aparecen en el segundo libro, podría denominarse de la corriente instruccional. Esta distinción es realizada básicamente sobre el hecho que el objetivo, en el caso de Johnson-Laird, es el de ofrecer una teoría unificada y explicativa de distintos fenómenos cognitivos, como el razonamiento deductivo y la comprensión del discurso, en tanto que el objetivo en el otro caso está dirigido al conocimiento que las personas desarrollan sobre fenómenos físicos y especialmente sobre dispositivos mecánicos y tecnológicos, no representando ninguna teorización unificada al respecto.

Como señala Barquero (op. cit., p.12) la noción de modelo mental que subyace en los trabajos de la corriente instruccional es la de *"un tipo de representación del conocimiento implícita, incompleta, imprecisa, incoherente con el conocimiento normativo en distintos dominios, pero útil, ya que resulta una potente herramienta explicativa y predictiva en la interacción de los sujetos con el mundo y una fuente fiable de conocimiento, por derivar de su propia experiencia perceptiva y manipulativa con ese mundo"*. Sin embargo, Norman (1983; apud. Gentner y Stevens, 1983, p. 8) ya había señalado que los modelos mentales son incompletos; inestables (las personas olvidan detalles de sus modelos o los descartan); no tienen fronteras bien definidas; son no-científicos (reflejan las creencias de las personas sobre el sistema representado); son parsimoniosos (frecuentemente, las personas optan por operaciones físicas adicionales, por gastar más energía, a cambio de una menor complejidad mental). El único compromiso de los modelos mentales es su funcionalidad para el sujeto. La principal función de un modelo mental es la de permitir a su constructor explicar y hacer previsiones respecto al sistema físico representado. Es decir, debe ser funcional para la persona que lo construye.

Varios de los trabajos del libro de Gentner y Stevens suponen que, para estudiar la validez de los modelos mecanicistas que estos autores consideran que las personas tienen en sus cabezas, éstos deben ser simulables computacionalmente. Así aparecen los modelos de zumbador (de Kleer y Brown, 1983), sistemas de flujo de fluidos (Forbus, 1983) y circuitos eléctricos (Gentner y Gentner, 1983). La idea importante que está por detrás de la exigencia de que esos modelos puedan ser implementados por un programa de computación, es que los modelos mentales pueden ser consi-

derados entonces como una “simulación mental” de la situación real del problema, como modelos causales “ejecutables” del sistema o mecanismo que representan. En particular, de Kleer y Brown (op. cit.) suponen que estas simulaciones, tanto las mentales como las implementadas computacionalmente, involucran dos etapas: a- “*envisioning*” del sistema, incluyendo una representación topológica de las componentes del sistema, los posibles estados de cada componente y las relaciones estructurales entre las componentes; b - “*running*” o ejecución del modelo causal basado en reglas básicas operacionales y en principios científicos generales. Las relaciones estructurales entre las componentes están definidas por las relaciones de cambio de estados. Estas relaciones son del tipo de reglas de producción “Si...entonces”, entre el cambio de estado en una componente y el cambio de estado en otra (Vosniadou y Ortony, 1989). Por ejemplo, dentro de esta perspectiva, para generar un modelo mental de cómo funciona una bicicleta, se deben distinguir en la primera etapa (“*envisioning*”) las componentes del sistema y sus relaciones (ruedas, pedales, cadenas, relaciones entre el tamaño de la rueda y la cadena, posibles estados de la rueda, etc.) y en la segunda (“*running*”) se deben establecer las relaciones para que esas componentes entren en movimiento y permitan andar en bicicleta sin caerse. (establecimiento de las condiciones de equilibrio estático y dinámico, relación entre la fuerza aplicada en los pedales y la aceleración adquirida, etc). Recién entonces el sujeto podría “rodar” el modelo, basado en reglas causales.

La característica más saliente de la teoría de Johnson-Laird es que los modelos mentales son representaciones analógicas de la realidad. frente a una determinada situación, los modelos que son elegidos para interpretarla, así como las relaciones percibidas o imaginadas entre ellos, determinan una representación interna que actúa como “sustituto” de esa situación. Al manipular internamente esos “sustitutos”, ciertas propiedades del sistema o situación en cuestión, así como relaciones no explícitas entre sus componentes pueden ser “leídas” directamente. Así, en el ejemplo anterior de la bicicleta, imaginamos un “sustituto” de la bicicleta en nuestras mentes, con el cual podemos predecir que podría suceder si la cadena se corta. No necesitamos aquí explicitar ninguna relación que envuelva la cadena, ruedas y pedales. Si no fueran representaciones analógicas, habría que haber determinado esas reglas de forma explícita para poder realizar las inferencias necesarias.

Johnson-Laird postula entonces que existen por lo menos tres clases de representaciones mentales distintas: las *representaciones proposicionales*, definidas como cadenas de símbolos, similares al lenguaje natural, en el sentido que necesitan de reglas sintácticas (relaciones de la lógica formal o reglas de producción) para combinarse, pero que no se confunden con él; los *modelos mentales*, análogos estructurales del mundo y las *imágenes*, definidas como visuales del modelo. Antes de aclarar mejor estas tres representaciones, es conveniente destacar que para Johnson-Laird los mode-

los mentales son *modelos de trabajo* de situaciones y acontecimientos del mundo y que mediante su manipulación mental, nos permiten te, comprender y explicar fenómenos de ese mundo y actuar de acuerdo con las predicciones resultantes.

Cuando en Física se dice que se entiende un fenómeno, esto implica que se conocen sus causas, sus efectos, cómo iniciarlo, influenciarlo o evitarlo. Para la posición de Johnson-Laird eso implica tener un modelo de trabajo de ese fenómeno. O sea, aunque los fenómenos físicos sean codificados proposicionalmente a través de sus enunciados o formulaciones matemáticas, comprenderlos debería envolver la construcción de modelos mentales de las entidades o procesos que representan (Nersessian, 1992)³.

Si escuchamos la frase “El gato está sobre el tejado” su representación interna (mental), en tanto representación proposicional, es indeterminada. Sin embargo, para entender que significa que el gato está sobre el tejado y predecir qué puede suceder es preciso representarse una de sus posibles concreciones (por ejemplo, tener una entidad mental que representa un gato y otra, que representa un tejado, quedando implícita en la configuración mental generada la relación entre ambos) o sea, formar un modelo mental de la situación. Ésta es una de las características de los modelos mentales resultante de su carácter analógico: la *especificidad de su contenido*. Si además de formar el modelo, nos imaginamos específicamente un gato negro acostado sobre un tejado de zinc rojo habremos construido una imagen que, diferenciándose de los modelos, envuelve generalmente una mayor información videoespacial, dado que es la representación interna con mayor grado de aproximación analógica con la realidad.

Estos tres tipos de representaciones no sólo se diferencian estructuralmente, sino también en su función. Johnson-Laird utiliza una analogía ilustrativa comparando las representaciones mentales (internas) con los lenguajes de programación. En tanto los ordenadores que conocemos hasta ahora funcionan en última instancia en un lenguaje de máquina (cadenas de 0 y 1), respondiendo a una sintaxis particular (el álgebra booleana), los programadores utilizan lenguajes de alto nivel para generar y poner a prueba nuevos programas de forma más sencilla. Los modelos mentales y las imágenes se corresponderían con esos lenguajes de alto nivel, mientras que las representaciones proposicionales equivaldrían a los lenguajes de máquina.

Otra característica importante de los modelos mentales, tal como definidos por Johnson-Laird, es la *recursividad*, que caracteriza a los modelos mentales como representaciones dinámicas. Un modelo mental nunca es completo, sino que va siendo ampliado y mejorado a medida que nuevas informaciones son incorporadas. Es lo que ocurre en la comprensión del discurso. A medida que va avanzando una conversación, nuevos elementos son incorporados a la idea original que se tiene, modificándola. Este proceso de revisión depende del conocimiento del sujeto, de su destreza y de la finali-

³ A juzgar por sus resultados, este no parecería ser lo que sucede en la enseñanza de Ciencias.

dad para la cual el modelo es construido. Esta distinción es importante para explicar por que, por ejemplo, no es necesario conocer las ecuaciones de Maxwell para arreglar un aparato de televisión.

En resumen, la diferencia fundamental entre las dos vertientes del programa de investigación de los modelos mentales es el tipo de representación interna que los sustentan. Los de la vertiente que hemos llamado de “instruccional” suponen que los modelos mentales son básicamente conjuntos de representaciones proposicionales, o sea, series de proposiciones y reglas causales de manipulación que deben formularse explícitamente. La vertiente teórica destaca el carácter analógico⁴ de los modelos. Este agregado es lo que le da a la visión de Johnson-Laird un carácter diferencial. Al no tener que explicitar reglas, los modelos de Johnson-Laird representan propiedades implícitamente. La analogía entre los modelos mentales y el sistema que representan permite que ciertas propiedades de las componentes del sistema y ciertas relaciones entre ellos puedan leerse o inferirse directamente, sin que sea necesario postular que las personas tienen o reglas de producción o una lógica embutida en sus cabezas que les fornezca esas reglas.

Como fue indicado anteriormente, en los últimos años han aparecido diversos trabajos referidos a modelos mentales en Física. Por ejemplo, los trabajos de Mayer (1992) y de Gutierrez y Ogborn (1992) se enmarcan dentro de la línea de estudio de Klee y Brown; Vosniadou y Brewer (1994), Nersessian (1992, 1996), Halloun (1996) y Greca y Moreira (1996, 1997 a y b) utilizan el referencial teórico de Johnson-Laird (para una revisión de estos trabajos, ver Moreira, 1997).

III. Modelos conceptuales

Nersessian (1992) considera a los modelos mentales como niveles de análisis intermedios entre el fenómeno y el modelo matemático final resultante. Este modelo matemático constituye un modelo conceptual. En general, un modelo conceptual es una representación externa⁵, creada por investigadores, profesores, ingenieros, etc, que facilita la comprensión o la enseñanza de sistemas o estados de cosas del mundo. Como indica Moreira (1997) los modelos conceptuales son representaciones precisas, completas y consistentes con el conocimiento científicamente compartido. O sea,

⁴ Em 1990, Johnson-Laird introduce la idea de que los modelos mentales pueden incluir algunas representaciones proposicionales para representar ciertas propiedades o relaciones, pasando a ser representaciones analógico-simbólicas. Barquero (op. cit.) indica que esto convertiría a los modelos en presentaciones bilingües, traductores entre las representaciones analógicas de mayor grado (las imágenes) y las representaciones más típicamente simbólicas (las representaciones proposicionales).

⁵ Esto no significa que los modelos mentales no hagan uso de representaciones externas. Por ejemplo, muchas veces para poder pensar se diseña, siendo éste, además, uno de los subsidios para la investigación de los modelos mentales.

mientras los modelos mentales son representaciones internas, personales, idiosincráticas, incompletas, inestables y básicamente funcionales, los modelos conceptuales son representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Estas representaciones externas pueden materializarse tanto en la forma de formulaciones matemáticas, analogías o en artefactos materiales. Un artefacto indicando el funcionamiento de una bomba de agua, la analogía entre el átomo de Rutherford y el sistema solar o las formulaciones matemáticas del modelo de concha para la física nuclear son ejemplos de modelos conceptuales. Los modelos conceptuales son una representación simplificada de objetos, fenómenos o situaciones reales.

Cuando se enseña, es común suponer que los alumnos adquirirán, o sea construirán modelos mentales que sean copias de los modelos conceptuales que le son presentados. Esta confusión suele aparecer también en las investigaciones que utilizan las analogías como recurso instruccional. En el trabajo de Gentner y Gentner (1983) citado anteriormente se parte de la hipótesis de que si sujetos son instruidos en el uso de analogías para explicar la corriente eléctrica (flujo de agua o multitudes), construirán modelos mentales consistentes con esos modelos conceptuales y responderán coherentemente con ellos en determinadas situaciones problemáticas. Sin embargo, esto no sucede. Duit y Glynn (1996) también suponen que el aprendizaje significativo resultaría de la evolución de modelos mentales que los alumnos traerían al aula hacia los modelos conceptuales con que son instruidos, identificando al parecer en ese estadio final modelos conceptuales y modelos mentales. Como destaca Norman (1983, p.12) “idealmente debería haber una relación directa y simple entre el modelo conceptual y el modelo mental. No obstante, éste no es generalmente el caso”. Es necesario resaltar aquí que los alumnos no necesariamente ven esos modelos conceptuales como tales. En primer lugar porque no tienen el conocimiento del dominio necesario para interpretarlos como modelos conceptuales. Es como si por primera vez se ve el *Guernica* de Picasso no sabiendo qué fue la Guerra Civil Española. Se verán ojos, patas, cabezas, cuchillos, pero el cuadro no tendrá sentido. En segundo lugar, porque muchas veces los alumnos no comprenden que el modelo conceptual es una representación simplificada e idealizada de fenómenos o situaciones, no el fenómeno o la situación en sí.

A la luz de lo que hemos indicado hasta ahora, habría que pensar que, cuando las personas intentan comprender un modelo conceptual, toman de él aquellos elementos que consideran importantes, lo relacionan, si es que esto es posible, con aquello que ya conocen y generan, o no, modelos mentales que no necesariamente son similares a los modelos conceptuales presentados. Un ejemplo bien ilustrativo al respecto es el descrito por Vosniadou y Brewer (1994) respecto a modelos mentales híbridos de la forma de la Tierra: algunos de sus entrevistados pensaban a la Tierra como una esfera hueca, con una superficie plana en su interior, a pesar de haber reci-

bido instrucción al respecto. Esta no coincidencia entre los modelos mentales y los modelos conceptuales no ocurre sólo con los no especialistas. En un trabajo desarrollado con físicos en actividad (Greca y Moreira, 1996) se encontró que utilizan distintos modelos mentales a la hora de comprender fenómenos relacionados con el campo electromagnético, pensándolo como deformación geométrica, como “gas con flechitas” o a partir de elementos generadores (cargas y dipolos magnéticos). Estos modelos les eran heurísticamente válidos para comprender el fenómeno en cuestión, aunque después utilizasen el modelo conceptual científicamente compartido (las ecuaciones de Maxwell) para formalizar y presentar sus resultados. En estos casos, el análisis se beneficiaba del carácter analógico de los modelos mentales. Como indica Nersessian (1992) cuando los científicos comunican sus resultados, lo hacen a través de la lógica de sus fórmulas matemáticas y de los modelos conceptuales que han creado, sin hacer mención de los modelos mentales que les sirvieron de niveles de análisis intermedios para la comprensión del fenómeno físico en cuestión.

Lamentablemente esta confusión, que supone un isomorfismo entre el modelo terminado y lo que las personas tienen o construyen en sus cabezas, se traduce en los libros de texto⁶, en donde los modelos y teorías científicas aparecen como estructuras acabadas, lógicamente organizadas, sin tener en cuenta que ésto no implica que las clases de representaciones que los científicos emplean para pensar la teoría sean primariamente en esa forma, ni que para razonar en una situación problemática nueva utilicen esas mismas reglas lógicas. Parecería que, en el fondo, se pensase que los alumnos aprenderán los modelos conceptuales como pregonaban los matemáticos de la Academia de Lagado, visitada por Gulliver: si los estudiantes digiriesen convenientemente una oblea escrita con los teoremas y sus demostraciones, la tintura ascendería y fijaría en sus cabezas las proposiciones adecuadas.

IV. Modelización

A pesar de sus denodados esfuerzos, los matemáticos de la Academia de Lagado no conseguían que sus alumnos aprendiesen. Algo similar sucede con la enseñanza de las ciencias. A pesar de sus esfuerzos, los profesores muchas veces no logran que sus alumnos construyan modelos mentales que sean consistentes con los modelos conceptuales y con las teorías científicas compartidas y que les permitan comprender los fenómenos físicos de acuerdo con ellas. Estos se limitan a aprender de memoria largas listas de fórmulas y definiciones que no comprenden, pues los fenómenos que ellas describen no están siendo interpretados de acuerdo a los modelos mentales que deberían ser construidos.

⁶ Al menos todos los de nivel terciario.

¿Cómo hacer entonces para que construyan esas representaciones internas coherentes con el conocimiento científicamente compartido? La palabra mágica parece ser la modelización. Siendo la modelización la principal actividad de los científicos, y en particular de los físicos, para generar y aplicar teorías científicas, aprender Física implica, como dice Halloun (apud. Moreira, 1997), aprender a jugar “el juego de la modelización”. Sin embargo parecería que este juego es aprendido de manera implícita y por cierto muchas veces de manera bastante costosa, solamente por los estudiantes en su corrida por convertirse en físicos y por los propios físicos.

El proceso de modelización está siendo entendido como el aprendizaje de una serie de pasos para identificar sólo aquellos elementos salientes de un sistema y para evaluar, según distintas reglas, el modelo escogido (Halloun, 1996); como el “aprendizaje de un nuevo idioma” que permitiría percibir de otra manera la nueva descripción de los fenómenos (Sutton, 1996) o como el proceso de razonamiento se integrado que “hace uso de un modelaje analógico y visual y de experimentos pensados en la creación y transformación de las representaciones informales de un problema” (Nersessian, 1995, p. 204).

Independientemente de las diferencias en el análisis y en las consecuencias didácticas que estos tres enfoques implicarían, sus autores coinciden en que ese proceso de modelización es un proceso semántico, de tal suerte que los modelos producidos son “interpretaciones que deben satisfacer las restricciones derivadas del texto, ecuaciones, diagramas y cualquier otra fuente de información saliente en el medio externo y en las representaciones mentales de quien resuelve los problemas” (Nersessian, 1995, p. 209). También coinciden en destacar que el proceso de aprendizaje de la modelización debe ser explícito, o sea que los alumnos deben ser enseñados de forma consciente los procedimientos mediante los cuales construir los modelos mentales que a su vez les permitan entender los modelos conceptuales enseñados, modelos que deben respetar las restricciones antes señaladas.

Además de estos desarrollos, han aparecido una serie de investigaciones que proponen el aprendizaje de la modelización a partir de programas computacionales específicamente diseñados (Devi et al, 1996; Raghavan y Glaser, 1995), aunque los resultados de estas intervenciones aún no aparecen de manera clara.

V. Implicaciones para la enseñanza y la investigación

Miremos el panorama resultante de acuerdo con lo que se ha expuesto hasta ahora: Los alumnos, para comprender el mundo que los rodea y sus fenómenos, construyen representaciones internas – modelos mentales – que les permiten aprehenderlo, explicarlo y/o predecirlo. Estos modelos son particulares, incompletos, cualitativos. Esos modelos de los fenómenos físicos, modelos que no son consistentes con los

científicamente aceptados y que tampoco precisan ser consistentes entre ellos, sino que deben ser básicamente útiles (funcionales) para permitirles manejarse en su vida cotidiana, constituyen el conocimiento previo con el cual llegan al aula. Allí le son presentados los modelos conceptuales⁷. Los alumnos al recibir esa información tienen varias posibilidades. Una de ellas es intentar interpretarla de acuerdo al conocimiento que tienen, generando modelos híbridos. Otra es memorizarla en listas inconexas – a través de representaciones internas proposicionales – para aprobar las evaluaciones. Una tercera, y al parecer la más remota, es formar modelos mentales consistentes con la información recibida. El proceso de modelización mediante el cual se facilitaría la formación de esos modelos mentales y consecuentemente la, comprensión de los modelos conceptuales presentados, no es enfatizado explícitamente. Ciertamente, el tipo de actividades y evaluaciones característicos de las clases de Física – series de problemas – y el tipo de presentaciones de los libros – listas de fórmulas y definiciones – no contribuyen a este proceso.

La tarea entonces según este marco teórico para profesores e investigadores no es fácil. Para los primeros, pues el proceso de modelización es complejo y nuestro conocimiento acerca de esa construcción en los alumnos es pobre. Aún no sabemos cómo identificar cuáles son los modelos mentales que los estudiantes tienen en un determinado dominio ni cuáles los modelos mentales que construyen. Para los investigadores, la principal dificultad parece ser la metodológica: ¿cómo asir esas representaciones incompletas, inestables, particulares? (Para una discusión detallada al respecto ver Moreira, 1997). Sin embargo varias líneas interesantes parecen surgir a partir de este marco conceptual.

1- Los modelos mentales nos permitirían entender porque las llamadas concepciones alternativas son tan resistentes al cambio. No serían concepciones aisladas, sino que estos modelos les servirían a las personas para explicar grupos de fenómenos, visualizados como similares. Sin embargo, tampoco constituirían una teoría, tal como planteado por quienes sostenían que los alumnos eran modernos aristotélicos, pues no son ni explícitos ni consistentes⁸. Además esos modelos son personales, o sea que si bien estarían restringidos por las capacidades del sistema cognitivo, por los sesgos de la percepción, sobre todo en el caso de la mecánica clásica, parece dudoso poder establecer un “catálogo” cerrado de esos modelos iniciales y de sus posibles modificaciones.

2- Si estos modelos iniciales son básicamente útiles, su modificación, entendida como sustitución total de una concepción por otra, no será sencilla. Si esto es

⁷ Así debería ser. Sin embargo, muchas veces lo que se les presenta no pasan de listas de definiciones y fórmulas.

⁸ Esta concepción de las ideas previas de los alumnos derivadas de los modelos mentales es similar a la planteada por el enfoque de las teorías implícitas de Pozo et al. (1992).

verdadero, el cambio de concepciones deberá entenderse como indica Vosniadou (1994) mayoritariamente como procesos de enriquecimiento de los modelos anteriores y solamente en casos extremos, se dará una revisión total de los mismos. Es probable también que ocurra que las personas establezcan regiones “espaciotemporales” discriminadas para la aplicación de distintos modelos.

3- Siendo los modelos mentales construcciones personales, parecería que el camino adecuado para un aprendizaje significativo en Ciencias estaría más vinculado a la enseñanza de procesos de construcción de esas representaciones – la modelización –, procesos que resultarían comunes, que a la enseñanza de modelos conceptuales en sí, que implicarían resultados idiosincráticos.

4- Aunque como fue indicado anteriormente los novatos no poseen el conocimiento del dominio necesario para interpretar como tales los modelos conceptuales presentados o para imponer en el proceso de modelización las restricciones necesarias, poseen sin embargo las herramientas básicas para generar modelos mentales (que es lo que han hecho siempre para interpretar el mundo): hacer analogías, crear simulaciones mentales, realizar idealizaciones y abstracciones e generales. Aprender Ciencias no requeriría de ninguna virtud mágica, sino de aprender explícitamente a utilizar esos mecanismos que ya se poseen.

5- Los modelos mentales abren también un camino interesante para la investigación del uso heurístico de las imágenes y simulaciones mentales en el proceso de creación y comprensión de una teoría científica, por lo menos en la versión de Johnson-Laird (1983). El potencial didáctico de las representaciones analógicas (modelos mentales e imágenes), que aparecen repetidamente en las historias de los grandes descubrimientos físicos, como las imágenes de las líneas de campo en Faraday o los experimentos pensados en Einstein, no ha sido aún estudiado con suficiente profundidad⁹.

6- Además estos desarrollos acerca de las representaciones internas puede permitir replantear las investigaciones sobre las analogías para estudiar porque éstas muchas veces no funcionan.

En resumen, es probable que este tipo de referencial teórico, por sus fundamentos y por las cuestiones que plantea, subsidie en gran medida la investigación de las ideas y el razonamiento en Ciencias en los próximos años, así como la enseñanza de las Ciencias.

⁹ Las teorías psicológicas que han sido utilizadas en la investigación en Enseñanza de las Ciencias no trataban del tema de las imágenes mentales.

VI. Referências Bibliográficas

BARQUERO, B. *La representación de estados mentales en la comprensión de textos desde el enfoque teórico de los modelos mentales*. Tesis doctoral (Universidad Autónoma de Madrid. Madrid), 1995.

BROWN, A. Advances in learning and instruction, *Educational Researcher*, Vol. 23(8), pp. 4-12, 1995.

DE KLEER, J. & BROWN, J. Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En Gentner, D. & Stevens, A. (Eds) *Mental models*. (Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J.) pp. 155-190, 1983.

DEVI, R., TIBERGHEN, A., BAKER, M. & BRNA, P. Modelling students' construction of energy models in physics. *Instructional Science*. Vol. 24, pp. 259- 293, 1996.

DUIT, R. Research on students' conceptions -developments and trends. *Proceeding of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. (Cornell University. Ithaca, N. Y.), 1993.

DUIT, R. & GL YNN, S. Mental modelling. En Welford, G., Osborne, J. & Scott, P.(Eds) *Research in Science Education in Europe*. (The Falmer Press Group. London), 1996.

FORBUS, R. Qualitative reasoning about space and motion. En Gentner, D. & Stevens, A. (Eds) *Mental models*. (Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J.) pp. 53-74, 1983:

GARDNER, H. *The mind's new science*. (Basic Books. New York), 1985.

GENTNER, Q. & GENTNER, D. R. Flowing water or teeming crowds: Mental models of electricity. En Gentner, D. & Stevens, A. (Eds) *Mental models*. (Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N. J.) pp. 99-130, 1983.

GRECA, I. & MOREIRA, M. Kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. Aceptado para publicación en *International Journal of Science Education*, 1997a.

GRECA, I. & MOREIRA, M. Modelos mentales y aprendizajes de Física en Electricidad y Magnetismo. Aceptado para publicación en *Enseñanza de las Ciencias*, 1997b.

GRECA, I. & MOREIRA, M. Tipos de modelos mentales utilizados por físicos en actividad. Actas del III Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física (SIEF). (Córdoba), 1996.

GUTIERREZ, R. & OGBORN, J. A causal framework for analysing alternative *conceptions*. *International Journal of Science Education*. Vol. 14(2), pp. 201-220, 1992.

HALLOUN, I. Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 33(9), pp. 1019-1041, 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. *Mental models*. (Harvard University Press. Cambridge, MA.), 1983.

KRAPAS, S., QUEIROZ, G., COLINVAUX, D. E FRANCO, C. Modelo: Terminología e Sentidos na Literatura de pesquisa em Ensino de Ciências. Trabalho apresentado no *Encontro Linguagem, Cultura e Cognição: Reflexões para o Ensino de Ciências*. (Belo Horizonte, 5 - 7 de março de 1997), 1997.

MA YER, R. Knowledge and thought: Mental models that support scientific reasoning. En Duschl, R & Hamilton, R. (Eds). *Philosophy of Science, Cognitive Psychoogy and Educational Theory and Practice*. (SUNY Press. New York), 1992.

MOREIRA, M. Modelos mentais. *Investigações em ensino de Ciências*. Vol. 1(3). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>, 1997.

NERSESSIAN, N. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in Science. En *Cognitive Models of Science* Vol. XV (University of Minnessota Press. Minneapolis) pp. 3-44, 1992.

NERSESSIAN, N. Should physicists preach what they practice? *Science & Education*. Vol. 4, pp. 203-226, 1995.

NORMAN, D., 1983. Some observations on mental models. En Gentner, D. & Stevens, A. (Eds) *Mental models*. (Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N. J.) pp. 6-14.

NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*. Vol. 11 (special issue) pp. 530-540, 1989.

POSNER, G. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*. Vol. 66(2), pp. 211-227, 1982.

POZO, J., PERÉZ ECHEVERRÍA, M., SANZ, A. & LIMÓN, M. Las ideas de los alumnos sobre la Ciencia como teorías implícitas. *Enseñanza y Aprendizaje*. Vol. 57, pp. 3-22, 1992.

RAGHA V AN, K. & GLASER, R. Model-Based Analysis and Reasoning in Science: the MARS curriculum. *Science Education*. Vol. 79(1), pp. 37-61, 1995.

SUTTON, C. The scientific model as a form of speech. En Welford, G., Osborne, J. & Scott, P.(Eds) *Research in Science Education in Europe*. (The Falmer Press Group. London), 1996.

SWIFT, J. *Viajes de Gulliver*. (Universidad Autónoma de Sinaloa. México), 1983.

VOSNIADOU, S. Towards a revised cognitive psychology for new advances in learning and instruction. *Learning and Instruction*. Vol. 6(2), pp. 95-109, 1995.

VOSNIADOU, S. & ORTONY, A. (Eds). *Similarity and analogical reasoning*. (Cambridge University Press. New York), 1989.

VOSNIADOU, S. & BREWER, W. Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*. Vol. 18, pp. 123-183, 1994.7