

Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas

Óscar Eugenio Tamayo Alzate



Alexander Calder, *Sin título*, óleo sobre lienzo, 1950.

Resumen

Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas

Se presenta una conceptualización que articula el concepto de representación, visto desde la filosofía y de las ciencias cognitivas, con el concepto de cambio conceptual. Se destaca la importancia de orientar los procesos de enseñanza desde una perspectiva multimodal en la que se propicie la construcción de diferentes representaciones por parte de los estudiantes y frente a las cuales los profesores actúen de manera intencionada y consciente en sus procesos de enseñanza.

Résumé

Représentations sémiotiques et évolution conceptuelle dans l'enseignement des sciences et des mathématiques

On présente une conceptualisation qui articule le concept de représentation, vu depuis la philosophie et des sciences cognitives, avec le concept de changement conceptuel. On souligne l'importance d'orienter les processus d'enseignement dans une perspective plurimodale dans laquelle on rend propice la construction des différentes représentations par les étudiants, face auxquelles les professeurs agissent de manière intentionnée et consciente dans leurs processus d'enseignement.

Abstract

Semiotic representations and conceptual evolution of science teaching and math

It presents a conceptualization that articulates the concept of representation, seen from philosophy and cognitive sciences, with the notion of conceptual shift. It is highlighted the importance of orienting the processes of teaching from a multimodal perspective in which the construction of different representations by students and before which the teachers act in an intentioned and conscious way in their teaching processes, is propitiated.

Palabras clave

*Representación, cambio conceptual, enseñanza de las matemáticas.
Representation, conceptual shift, teaching of math*

Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas

Óscar Eugenio Tamayo Alzate*



Introducción

Uno de los temas de mayor interés en la actualidad en campos del saber tan diversos como la filosofía, las ciencias

cognitivas, la semiótica y la didáctica de las ciencias, es el de las *representaciones*. Son frecuentes las publicaciones que tienen como propósito central entrar a precisar qué se entiende por representación, cómo se construyen las representaciones, cómo cambian, cuál es el papel de la educación en su transformación y cuáles son las relaciones entre las representaciones que tienen los sujetos sobre un objeto o un fenómeno y las representaciones socia-

les de éste.

Desde la perspectiva de las ciencias cognitivas, las *representaciones* son consideradas como cualquier noción, signo o conjunto de símbolos que significan algo del mundo exterior o de nuestro mundo interior. Podemos representar en nuestra mente algo que percibimos con nuestros sentidos, algo que vemos, olemos o sentimos, como también algo que nos

imaginamos; por ejemplo, en este momento podemos construir una representación de un ángulo, de una recta, de un viaje, etc. Estas representaciones son construidas tanto por científicos como por cualquier otro sujeto. En el primer caso, obtendríamos una teoría científica; en el segundo, una teoría intuitiva acerca del mundo.

Los conjuntos de signos o de símbolos que representan algo pueden ser *externos* o *internos*. Por ejemplo, los mapas, los diagramas y los dibujos son tipos de representaciones externas, elaboradas con propósitos comunicativos y producidos por acciones intencionadas o no intencionadas de las personas, que usamos permanentemente en nuestras vidas. También lo son las palabras y otras notaciones simbólicas de uso común, por ejemplo, que empleamos en los campos de la física, la química y las matemáticas. Estas representaciones externas son también conocidas como *representaciones semióticas*.

* Profesor de la Universidad de Caldas y de la Universidad Autónoma de Manizales. Coordinador del Grupo de Investigación Cognición y Educación.
E-mail: otamayoa@yahoo.com

Las representaciones internas, mentales, son aquellas que "ocupan un lugar" en la mente de los sujetos. Ellas nos permiten mirar el objeto en ausencia total del significante perceptible; pueden ser conceptos, nociones, creencias, fantasías, guiones, modelos mentales, imágenes, entre otras.

Según Johnson-Laird (1983), las representaciones mentales pueden ser *analógicas, proposicionales y modelos mentales*. Las representaciones analógicas, como las imágenes mentales, son consideradas como una perspectiva de un modelo mental (Johnson-Laird, 1995); son idiosincrásicas, altamente específicas y pueden ser visuales, olfativas, táctiles, auditivas, entre muchas otras. Las representaciones proposicionales son representaciones tipo-lenguaje. Se caracterizan por ser discretas, abstractas y estar organizadas según ciertas reglas de combinación; además, se pueden expresar verbalmente, dada su organización según cadenas de símbolos. Pueden ser verdaderas o falsas respecto al mundo. Una característica adicional de este tipo de representación es que se pueden explorar sólo en la dirección permitida por la sintaxis y por la propia codificación de las representaciones.

Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo. Son producidos por los individuos durante su funcionamiento cognitivo y tienen dentro de sus funciones principales, el mantenimiento de la estructura del objeto o del fenómeno que supuestamente representan, es decir, su estructura corresponde a la estructura de la situación que los origina. Son representaciones dinámicas y generativas que pueden ser manipuladas mentalmente para hacer explicaciones causales y predicciones acerca de los fenómenos físicos y de los estados de ánimo de las personas (Vosniadou, 1994). En términos de Giere, son sistemas idealizados, entidades socialmente constituidas, que no tiene más realidad que la que les confiere la comunidad en la cual fueron creados (1992). Son los medios con que los científicos representan el mundo tanto para sí mismo como para los demás.

A diferencia de las representaciones proposicionales, los modelos mentales no tienen estructura sintáctica y pueden ser manipulados más libremente. En tal sentido, se plantea que los modelos mentales tienen más grados de libertad que las representaciones tipo-lenguaje, dado que estas últimas no se pueden liberar de la estructura sintáctica que utilizan en su representación.

Una de las grandes ventajas de los modelos mentales frente a las representaciones proposicionales es su funcionalidad: debido a que en la construcción de un modelo mental se conjugan conceptos, experiencias, intereses y actitudes, su uso posibilita manejar información de manera compactada; asimismo, hay un distanciamiento importante de las reglas lógicas de razonamiento, es decir, los modelos mentales los empleamos cotidianamente para relacionarnos con el mundo, para interactuar en los diferentes contextos y situaciones en las que nos encontremos, los empleamos de manera espontánea y, en muchos casos, inconsciente y, debido a que manejan información compactada, son cognitivamente más económicos. Desde la perspectiva de la enseñanza de las ciencias son potentes intermediarios en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de los conceptos, modelos y teorías científicas.

En la construcción de los modelos mentales interviene la percepción de los objetos y fenómenos, los diferentes discursos que empleamos en el proceso de relacionarnos con tales objetos y fenómenos, y los procesos mentales que nos permiten construir imágenes relacionadas con lo percibido. Percepción, discurso e imaginación son, entonces, procesos centrales en la construcción de los modelos mentales.

Es importante anotar que en el proceso de construcción de estos modelos encontramos restricciones de diferente tipo, dentro de las que se destacan aquellas derivadas de la estructura percibida del mundo, los conociemien-

tos anteriores de los individuos, la necesidad de tener un sistema cognitivo libre de contradicciones y la saturación de la memoria de trabajo.

Representaciones semióticas

Hacen referencia a todas aquellas construcciones de sistemas de expresión y representación que pueden incluir diferentes sistemas de escritura, como números, notaciones simbólicas, representaciones tridimensionales, gráficas, redes, diagramas, esquemas, etc. Cumplen funciones de comunicación, expresión, objetivación y tratamiento.

Hoy en día se considera que no es posible estudiar los fenómenos relacionados con el conocimiento sin recurrir a la noción de representación. Se admite, además, que la pluralidad de sistemas semióticos permite diversificar las representaciones de un mismo objeto, y, de esta forma, amplía las capacidades cognitivas de los sujetos y, por tanto, sus representaciones mentales. Otro aspecto importante hace referencia al cambio de las formas de representación, como consecuencia de la selección de procesos cognitivos más económicos en el tratamiento de las representaciones.

La creciente atención que en los últimos años ha captado la producción e interpretación de representaciones externas ha llegado al ámbito de la educación en ciencias. En la actualidad, se reconoce la importancia, para el logro de aprendizajes en profundidad, de la construcción de múltiples representaciones externas de los conceptos estudiados. Esto ha permitido, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, tomar cierta distancia de los procesos más convencionales, en cuanto al uso e interpretación de textos y gráficas, y pasar a darle preponderancia a los procesos de producción y transformación de las representaciones. En otras palabras, en la actualidad cobran mayor atención todos aquellos procesos encaminados a comprender en detalle los

mecanismos que facilitan u obstaculizan la construcción de sistemas externos de representación, y la manera como estudiantes y profesores interactúan con ellos en los procesos de aprendizaje y de enseñanza.

En el conocimiento de los procesos de construcción y transformación de representaciones intervienen diferentes tipos de actividades, dentro de las que se destacan las de *formación*, como aquellas representaciones de algo a partir de un conjunto de caracteres e intencionalidades; las de *tratamiento*, cuando una transformación produce otra dentro de un mismo registro; y las de *conversión*, cuando la transformación produce otra representación en un registro distinto al de la representación inicial, por ejemplo, la transformación analógica a la digital (Duval, 1999).

No obstante la importancia actual del estudio de las representaciones, es claro que éste es un campo que no está libre de polémicas conceptuales. Son ya clásicas las discusiones en torno a si las representaciones son de carácter individual o colectivo; si los objetos se representan en la mente de los sujetos; el papel de las experiencias previas en la construcción de las representaciones; cómo se representan los objetos y cómo cambian estas representaciones en el proceso de aprendizaje de nuevos conceptos. Otros cuestionamientos desde la perspectiva de las neurociencias se orientan a explorar los mecanismos de fijación y recuperación de las representaciones, y a esclarecer los mecanismos dinámicos de la memoria (Schank y Abelson 1977), a identificar cuáles son los mecanismos neurofisiológicos en la construcción de representaciones. En todas estas polémicas se encuentran diversas teorías que defienden unas u otras posturas, dentro de las que se destacan *la teoría de las representaciones sociales, la psicología discursiva, la evolución conceptual, el construccionismo social*, las teorías representacionistas de la mente y, obviamente, quienes defienden el *antirrepresentacionalismo*.

No obstante su gran importancia en los procesos de aprendizaje, el estudio de las representaciones no está libre de dificultades. Tal vez la más importante, desde el campo de la educación, es la de suponer que el paso de una representación a otra se realiza de manera automática y directa. Frente a esto es común que, en los procesos de enseñanza de un concepto científico, el profesor emplee diferentes registros semióticos, sin explicar en forma detallada cómo se realiza el paso de uno a otro, sin especificar cuándo se requiere de procesos de transformación o de conversión, es decir, sin precisar si la nueva representación requiere un cambio de registro semiótico o si, por el contrario, implica la transformación del registro original.

Una de las dificultades que, sin lugar a dudas, puede llamar más la atención en el campo de la educación en ciencias, es aquella que toca con todos los procesos involucrados en el *paso de una representación mental interna a una externa*. En términos de Duval (1999), plantearíamos que la *noesis*¹ no es independiente de la semiosis, y lo que en educación sería de interés especial: que es la semiosis la que determina las condiciones de posibilidad de la *noesis*. En otras palabras, es el proceso de producción de representaciones externas el que hace posible comprender y ganar claridad acerca de la representación mental interna, en contra de una creencia muy generalizada en el ámbito educativo en la cual profesores y estudiantes consideran que se tiene aprendido un concepto cuando se puede enunciar, cuando se puede representar externamente. En este último sentido, se ubicaría al lenguaje como vehículo para la expresión y comunicación del pensamiento, y no como estructurante del pensamiento y de la cognición.

En relación con la dificultad antes descrita, se encuentra el desconocimiento de los proce-

sos de cambio de una representación en otra. Parece claro que en procesos de enseñanza dirigidos al logro de aprendizajes en profundidad por parte de los estudiantes, se requiere que los profesores orienten esfuerzos importantes para hacer evidentes todos aquellos procesos que posibilitan el paso de una representación a otra. Son acciones que implican actuaciones deliberadas y conscientes de parte de los profesores, con el propósito de mostrar a los estudiantes aquellos cambios representacionales que implican procesos de transformación o de conversión de las representaciones iniciales.

Dentro de los aspectos que apoyan la construcción de múltiples sistemas representacionales, podemos mencionar el hecho de que no hay comprensión si no se diferencia un objeto de su representación. En este proceso de comprensión y, en consecuencia, de progreso del conocimiento, se construyen nuevos sistemas semióticos, los cuales no sólo cumplen funciones de comunicación. En otras palabras, parece claro que el progreso en el conocimiento está acompañado del desarrollo de nuevos sistemas semióticos. Estos procesos de transformación y de conversión de una representación externa en otra no sólo tienen relación con los procesos cognitivos y semióticos en sí mismos, sino también con aquellos provenientes de los campos disciplinares.

A manera de ilustración (véase figura 1), en nuestra mente pueden coexistir diferentes representaciones mentales internas (imágenes, modelos mentales, guiones, conceptos...), acerca del concepto *gravedad* (RM_1 , RM_2 ...), las cuales, por mecanismos aún muy desconocidos, pueden generar nuevas y diferentes representaciones mentales internas. A la vez, tales representaciones mentales pueden ser externalizadas mediante el uso de lenguajes proposicionales, maquetas, gráficas y esquemas, ca-

¹ Para Duval, la *noesis* se refiere a actos cognitivos como la aprehensión conceptual de un objeto, la discriminación de una diferencia y la comprensión de una inferencia (1999).

da una de las cuales se constituye en una re- las cuales pueden sufrir procesos de transfor- presentación semiótica externa (RS_1, RS_2, RS_n), mación o conversión.

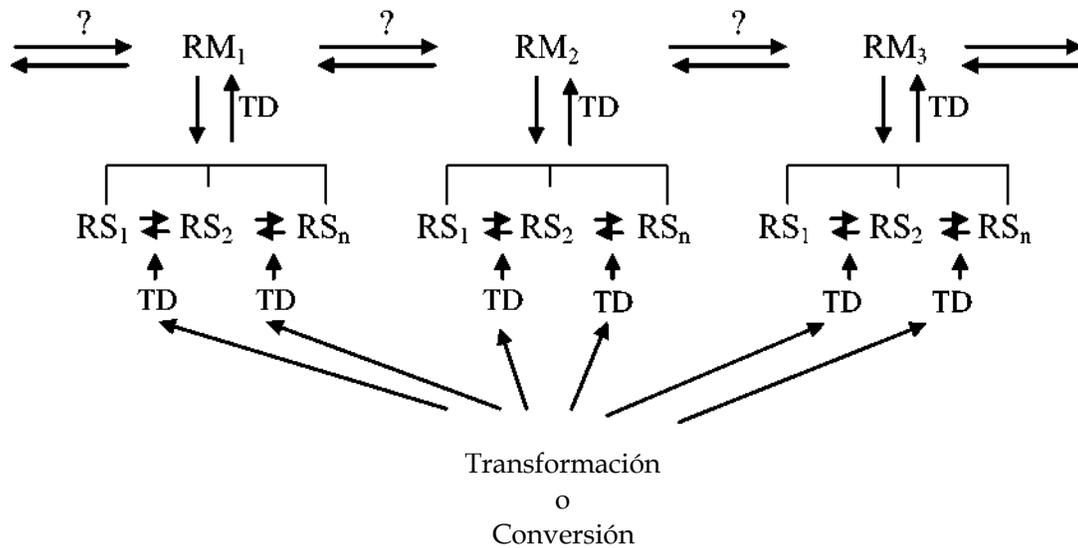


Figura 1. Relación entre la construcción de representaciones mentales (RM), representaciones semióticas (RS) y transposición didáctica (TD).

El insoluble vínculo entre forma y contenido del concepto, en este caso, el de *gravedad*, nos lleva a destacar la importancia de la transposición didáctica y principalmente de la vigilancia epistemológica requerida en el proceso de enseñanza del concepto mencionado, de tal manera que las transformaciones propias en el paso de una representación semiótica a otra no impliquen una distorsión exagerada del concepto.

Los principales obstáculos semióticos frente al aprendizaje son la poca distinción que se realiza entre representante y representado, entre forma y contenido, entre el objeto y su representación, y el que se da en la coordinación entre los diferentes registros de una representación semiótica, lo que implica que, desde el ámbito de la enseñanza, dediquemos esfuerzos no sólo a comprender estos procesos sino, lo que puede ser más importante, a reconocer sus formas de aplicación en el contexto de la enseñanza de las ciencias.

La transformación de una representación semiótica en otra exige poner en relación el dominio del conocimiento de las ciencias cognitivas y el de las relaciones entre la ciencia y su enseñanza, y muy particularmente, el concepto *transposición didáctica* (Chevallard, 1985; Gómez, 2005). Algunos de los aspectos que llaman la atención en cuanto a las transformaciones que sufre un concepto en el proceso de su enseñanza y su aprendizaje son:

- La inexistencia de reglas de conversión o, en caso tal, la existencia de reglas con alcance muy limitado.
- La realización de cambios de registro buscando simplificar procesos y la realización de procesos cognitivamente más económicos.
- La poca atención dada al trabajo sobre los cambios de registro.

- El reconocimiento de que la conversión de una representación semiótica en otra es la actividad cognitiva de mayor dificultad para los estudiantes.
- La comprensión de los procesos que conducen a los cambios de registros.

Importancia de las representaciones semióticas en la evolución conceptual

Para iniciar este aparte conviene una breve revisión acerca de las diferentes teorías que históricamente se han ocupado del problema de la formación y evolución de los conceptos. Frente al aprendizaje de los conceptos, hay quienes defienden que estos son innatos y que la educación tiene como una de sus funciones ayudar a recuperarlos de la mente. En este sentido, filósofos como Platón, Leibnitz y Descartes, y más recientemente Fodor (1975), plantean que los aspectos más importantes de los conceptos se encuentran en la mente. Por otra parte, filósofos como Locke y Hume proponen que los conceptos son aprendidos a partir de la experiencia sensorial (Thagard, 2005). En las ciencias cognitivas encontramos quienes están interesados en comprender los procesos de formación de los conceptos, las maneras en que éstos son aprendidos a partir de la experiencia, y quienes se interesan por el estudio de las relaciones entre ellos.

En este recorrido acerca de los conceptos se destacan quienes los definen desde un interés psicológico y computacional, lo cual se evidencia con la introducción de términos como *guión*, *esquema* y *marco*, con los cuales se busca precisar su naturaleza. Schank y Abelson (1977) mostraron cómo el conocimiento social consiste en guiones, que describen secuencias típicas de lo que sucede socialmente. Por su parte, Rumelhart (1980) propone la existencia de esquemas, los cuales representan no la esencia del concepto, sino lo que hace típico un objeto. Asimismo, y en términos de Thagard (2005), la influencia más determinante

desde la perspectiva de la inteligencia artificial se debe a Minsky (1975), quien plantea que el pensamiento debe ser comprendido como un marco de aplicación, más que como una deducción lógica. Putnam (1978), por su parte, argumenta que el significado de los conceptos no se deriva de las definiciones, sino de los estereotipos.

Desarrollos posteriores acerca de los conceptos los encontramos en las perspectivas del *procesamiento de la información* (Rumelhart y McClelland 1986), y, más recientemente, en la perspectiva del *cambio conceptual* (Posner *et al.*, 1982; 1992) y en la perspectiva de la *evolución conceptual* (Toulmin, 1977; Giere, 1992; Duschl y Gitomer, 1991; Posner *et al.* (1982), Murphy (2004), Tamayo (2001), entre muchos otros autores).

El interés central de este aparte es el de vincular el problema de la construcción de representaciones semióticas con el problema de la formación de conceptos y su evolución. Para este propósito presentó inicialmente una breve conceptualización acerca del cambio conceptual y luego destaco algunas de las relaciones que hoy se consideran potentes entre el cambio conceptual y las representaciones.

La evolución conceptual, desde la perspectiva de la enseñanza de las ciencias, reconoce, en primer lugar, la existencia de *ideas* en los estudiantes, las cuales se caracterizan por ser relativamente coherentes, comunes en distintos contextos culturales y difíciles de cambiar; y en segundo lugar, la existencia del conocimiento científico. Estas dos formas de conocer definen diferentes formas de concebir el *cambio conceptual* (Pozo, 1999; Thagard, 1992). En el ámbito de la enseñanza de las ciencias existe acuerdo generalizado sobre la importancia de favorecer el cambio de aquellas *ideas*, de tal manera que se *acerquen* más a los conocimientos científicos. Pozo (1999) menciona tres hipótesis que tratan de explicar la interacción que se genera entre las concepciones alternati-

vas y el conocimiento científico: la *compatibilidad*, la *incompatibilidad* y la *independencia* entre estos dos tipos de conocimiento.

Quienes consideran que existe *compatibilidad* entre las ideas de los estudiantes y el conocimiento científico (Carey, 1985; 1992), aceptan que tanto los conceptos como las creencias y las teorías son representaciones mentales. Desde esta perspectiva teórica se supone que la mente humana tiene maneras innatas e inmodificables de organizar perceptiva y conceptualmente el mundo. Para estos autores, el cambio conceptual puede involucrar cambios mínimos de las ideas iniciales, las cuales permanecen siempre en el núcleo de las representaciones del adulto. Según Carey, para que se produzca un verdadero cambio conceptual, se deben producir simultáneamente cambios en el dominio de los fenómenos explicados, en la naturaleza de las explicaciones aceptadas y en los conceptos individuales que constituyen el núcleo de la teoría.

Considerar que tanto el conocimiento científico como el cotidiano tienen la misma naturaleza, conduce a creer que los científicos y los estudiantes pueden pensar de la misma manera cuando se enfrentan a un problema. Esta visión del cambio conceptual ha influido en la enseñanza, principalmente desde las propuestas de corte piagetiano, en las cuales se ha intentado mostrar cómo los niños construyen categorías básicas del pensamiento de manera gradual hasta alcanzar el estadio de pensamiento formal, lo que puede considerarse como una descripción psicológica del pensamiento científico (Pozo, 1999). Desde esta perspectiva, se ve el cambio conceptual como innecesario, en el sentido de que aprender sería sinónimo de acumular conocimientos o experiencias sobre la base de los conceptos ya existentes.

Quienes defienden la hipótesis de la *incompatibilidad* reconocen diferentes categorías a las cuales pertenecen los conocimientos científicos

y los cotidianos. Para Chi (1992), estas categorías pueden ser *materia*, *eventos* y *procesos*. La autora concibe el cambio conceptual básicamente como el cambio del significado de un concepto, es decir, como el cambio de categoría a la cual el concepto es asignado inicialmente; diferencia el cambio conceptual que ocurre *dentro* de una categoría ontológica, del que sucede *entre* categorías ontológicas; llama al primero *cambio conceptual* y al segundo *cambio conceptual radical*. En este planteamiento teórico, el cambio conceptual *dentro* de categorías ontológicas requiere procesos diferentes de los necesitados para el cambio conceptual *entre* ellas; de igual manera, siguen procesos de aprendizaje distintos. Para la autora, esta teoría permitiría explicar la dificultad observada para el logro de ciertos aprendizajes en dominios como la física y la química, debido a que muchos de los conceptos estudiados pertenecen a categorías ontológicas diferentes de aquellas que constituyen las concepciones alternativas de los estudiantes.

Otros estudios afirman que un alumno puede tener varios modelos alternativos, cada uno de los cuales son estables en el tiempo y pueden ser aplicados de manera coherente mediante un amplio rango de fenómenos, lo cual lleva a considerar la posibilidad de coexistencia del conocimiento cotidiano con el científico (Duit *et al.*, 1998; Giere, 1992, Schnotz y Peuss, 1997). Dentro de esta perspectiva se establece que el conocimiento científico es *incompatible* con el conocimiento cotidiano y, en consecuencia, el cambio conceptual estaría íntimamente ligado al contexto. Una de las tesis que llevó al planteamiento de esta nueva hipótesis del cambio conceptual se fundamentó en la gran estabilidad de las concepciones alternativas, lo que llevó a considerar que tratar de eliminarlas era difícil e innecesario (Claxton, 1994), debido a su valor pragmático y a su carácter fenomenológico y adaptativo. Según esta hipótesis, tanto las concepciones alternativas como las científicas se activarían según el contexto. Esta doble estructura del conocimiento es evidente para Viennot (1979), cuando com-

para la actuación de los científicos en contextos cotidianos y científicos. Este puede ser un argumento para considerar la naturaleza múltiple de las concepciones de los estudiantes como una clave importante para modelar el desarrollo conceptual (Taber, 2000).

Vosniadou y Brewer (1992; 1994) plantean que la mente humana opera sobre la base de un número pequeño de constituyentes dentro de un dominio específico. Dichos componentes se organizan como un todo en un modelo teórico intuitivo en el dominio específico, del cual no es consciente el sujeto. Este modelo ingenuo es construido desde la infancia y está conformado por ciertos supuestos ontológicos y epistemológicos fundamentales. Para Vosniadou, existe incompatibilidad entre las *teorías científicas* y las *teorías de dominio* o modelos mentales de los estudiantes, debido a la imposición de ciertos supuestos (ontológicos y epistemológicos) por la *teoría marco* al sistema de creencias de los alumnos. En esta perspectiva teórica, el cambio conceptual procede mediante modificaciones graduales de un modelo, por la vía acumulativa o por la del cambio (Vosniadou, 1994). La primera implica la adición de nueva información a la ya existente. La segunda puede involucrar cambios en creencias individuales, en la estructura relacional de una teoría marco, o a nivel de un modelo teórico. Este último es considerado como el cambio conceptual más difícil, debido a que representa sistemas coherentes de explicación basados en la experiencia cotidiana y con muchos años de consolidación; este cambio se requiere cuando la información que se va a aprender es inconsistente con las creencias o supuestos del sujeto.

Desde esta perspectiva se defiende la idea de que los estudiantes pueden tener múltiples concepciones, las cuales son estables e internamente coherentes, y que se pueden aplicar a un rango amplio de fenómenos, lo que es reconocido por Vosniadou y Brewer (1992), quienes demuestran que el conocimiento conceptual no está fragmentado e inconexo. Al

parecer, los estudiantes tratan de hacer síntesis coherentes entre su experiencia cotidiana y la información que reciben de los adultos. Esta perspectiva teórica de los marcos múltiples ha recibido aportes recientes que destacan la dimensión afectiva (Pintrich, Marx y Boyle, 1993), la sociohistórica (Magnusson, Templin y Boyle, 1997) y la sociocultural del aprendizaje (O'Loughin, 1992); asimismo, se destaca su relación con la evolución conceptual en diferentes contextos de aprendizaje.

El reconocimiento de estos contextos específicos llevó a Caravita y Hallden (1994) a argumentar que las dificultades de los estudiantes para la comprensión de los conceptos científicos pueden deberse, no a la dificultad de reemplazar las ideas antiguas por las nuevas, sino a un problema de conceptos incluidos en contextos situacionales específicos. Estos autores consideran el cambio conceptual como un proceso de diferenciación e integración entre varios contextos. Así, el significado de un concepto depende en gran medida de los diferentes patrones de relación en los cuales se vincula el concepto.

Una posibilidad de solución frente a la escogencia de alguna de las tres hipótesis antes planteadas la sugiere Pozo (1999), al proponer que la activación contextual de teorías alternativas no es incompatible con la necesidad de la evolución conceptual. Este autor considera que, en lugar de separar o independizar las teorías científicas de las cotidianas, ambas están conectadas mediante procesos metacognitivos. Plantea que en la evolución conceptual se requiere construir estructuras conceptuales más complejas a partir de otras más simples y, posiblemente, establecer usos diferenciales según los contextos de aplicación de las diferentes teorías. Afirma que, en lugar de promover conflictos cognitivos, entendidos como el contraste empírico entre modelos con la realidad, se debe ver la evolución conceptual como derivada de promover y resolver conflictos conceptuales mediante la explicitación y el contraste de distintos modelos.

Una vez mostrado este panorama general acerca de los procesos que conducen a la formación de conceptos y cómo éstos cambian, nos interesa centrar la atención en explorar algunas de las relaciones existentes entre el cambio conceptual y la construcción de múltiples sistemas de representación.

En esta línea de pensamiento, la tesis central se representa en la figura 2, en la que se destaca el importante papel que cumple la construcción de distintos tipos de representaciones, mediante el uso de diferentes lenguajes, en la evolución conceptual de los estudiantes.

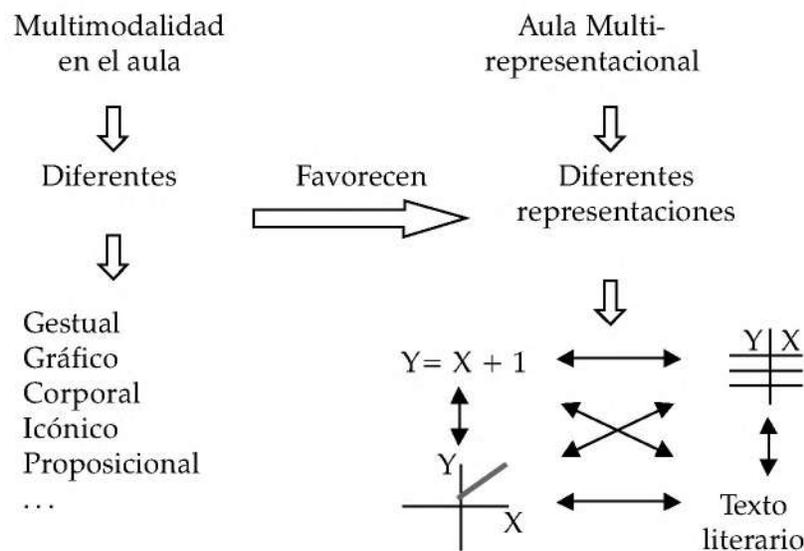


Figura 2. Se señala la importancia de la construcción de diferentes representaciones semióticas en el aprendizaje de un concepto matemático y su relación con los múltiples lenguajes empleados en las clases de ciencias.

Parece necesario que en el proceso de construir estas representaciones semióticas, una de las funciones principales de los maestros, sino la más importante referida al proceso de enseñanza-aprendizaje, es la de hacer evidente a sus estudiantes los procesos de transformación y de conversión que se requieren para el paso de una representación a otra.

En mencionado tránsito, otro concepto adquiere gran importancia en el actuar del maestro: la *metacognición*. Un maestro que actúe metacognitivamente enseñaría a sus estudiantes a diferenciar los distintos tipos de representaciones que ellos emplean, a identificar los alcances y los límites de cada una de éstos, en lugar de pensar en erradicarlos de su siste-

ma cognitivo. Este maestro les mostraría, en forma detallada, a sus estudiantes, los cambios al interior de un mismo registro y aquellos cambios que requieren nuevos registros de representación, con el único propósito de lograr en ellos el desarrollo de procesos de autorregulación de sus procesos de aprendizaje.

Referencias bibliográficas

- Caravita, S. y Hallden, O., 1994, "Re-framing the Problem of Conceptual", *Change*, *Learning and Instruction*, núm. 4, pp. 89-111.
- Carey, S., 1985, *Conceptual Change in Childhood*, Cambridge, Mass, MIT Press.

_____, 1992, "The Origin and Evolution of Everyday Concepts", en: *Cognitive Models of Science*, Minneapolis, Universidad de Minnesota Press.

Chevellard, Y., 1985, *La transposition didactique*, Grenoble, La pensée sauvage.

Chi, M., 1992, "Conceptual Change within and Across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science", en: Giere, R. N., ed., *Cognitive Models of Science*, Minneapolis, Universidad de Minnesota Press.

Claxton, G., 1994, *Laboratorilandia y el mundo real. Educar mentes curiosas*, Madrid, Aprendizaje Visor.

Duit, R.; Roth, W-M.; Komarek, M. y Wilbers, T, 1998, "Conceptual Change cum Discourse Analysis to Understand Cognition in a Unit on Chaotic Systems: towards an Integrative Perspective on Learning in Science", *International Journal of Science Education*, vol. 20, num. 9, pp. 1.059-1.073.

Duschl, R. A. y Gitomer, D. H., 1991, "Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, núm. 9, pp. 839-858.

Duval, R., 1999, *Semiosis y pensamiento. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*, Cali, Universidad del Valle.

Fodor, J. 1975, *The language of thought*, Nueva York, Crowell.

Giere, R., 1992, *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Gómez, M. A., 2005, "La transposición didáctica: historia de un concepto", *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, vol. 1, núm. 1, pp. 80-108.

Johnson-Laird, P. N., 1983, *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

_____, 1995, "Mental Models, Deductive Reasoning, and the Brain", en: Gazzaniga, M. S., ed., *The Cognitive Neurosciences*, Cambridge, The MIT Press.

Minsky, M., 1975, "A framework for representing knowledge", en: Winston, P. H., ed., *The Psychology of Computer Vision*, Nueva York, McGraw-Hill, pp. 211-277.

Magnusson, S. J.; Templin, M. y Boyle, R. A., 1997, "Dynamic Science Assessment: a New Approach for Investigating Conceptual Change", *Journal of the Learning Science*, núm. 6, pp. 91-142.

Murphy, G., 2004, *The Big Book of Concepts. A Bradford Book*, Massachusetts, London, The MIT Press.

O'Loughlin, M., 1992, "Rethinking Science Education: beyond Piagetian Constructivism towards a Sociocultural Model of Teaching and Learning", *Journal of Research in Science Teaching*, núm. 29, pp. 791-820.

Pintrich, P. R.; Marx, R. W y Boyle, R. A., 1993, "Beyond Cold Conceptual Change: the Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change", *Review of Educational Research*, núm. 6, pp. 167-199.

Posner, G.; Strike, K.; Hewson, P y Gertzog, W, 1982, "Accommodation of a Scientific Conception: toward a Theory of Conceptual Change", *Science Education*, vol. 66, núm. 2, pp. 211-227.

Pozo, J. I., 1999, "Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica", *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, jun.

- Putnam, H., 1978, *Mind, Language, and Reality*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rumelhart, D. E., 1980, *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol. 1. *Foundations*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Rumelhart, D. E. y McClelland, J. L., 1986, *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*, Cambridge Mass., The MIT Press.
- Schank, R. C. y Abelson R. P., 1977, *Scripts, Plans, Goals and Understanding*, Hillsdale, NY, Erlbaum.
- Schnotz, W y Preuss, A., 1997, "Task-dependent Construction of Mental Models as a Basic for Conceptual Change", *European Journal of Psychology Education*, vol. 12, núm. 2, pp. 185-211.
- Taber, K. S., 2000, "Multiple Frameworks? Evidence of Manifold Conceptions Inindividual Cognitive Structure", *International Journal Science Education*, vol. 22, núm. 4, pp. 399-417.
- Tamayo, A. O., 2001, "Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración", Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Thagard, P., 1992, *Conceptual Revolutions*, Princeton, Princeton University Press.
- _____, 2005, *Mind. Introduction to Cognitive Science. A Bradford Book*, Cambridge, MA., The MIT Press.
- Toulmin, S., 1977, *La racionalidad humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*, Madrid, Alianza.
- Viennot, L., 1979, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, París, Hermann Cop.
- Vosniadou, S., 1994, "Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change", *Learning and Instruction*, núm. 4, pp. 45-69.
- Vosniadou, S. y Brewer, W., 1992, "Mental Models of the Earth: a Study of the Conceptual Change in Childhood", *Cognitive Psychology*, núm. 24, pp. 535-585.
- _____, 1994, "Mental models of the Day/Night Cycle", *Cognitive Science*, núm. 18, pp. 123-183.

Referencia

Tamayo Alzate, Óscar Eugenio, "Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVIII, núm. 45, (mayo-agosto), 2006, pp. 37-49.

Original recibido: abril 2006

Aceptado: junio 2006

Se autoriza la reproducción del artículo citando la fuente y los créditos de los autores.