

EXPLICACIONES NARRATIVAS Y MODELIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA

NARRATIVE EXPLANATIONS AND MODELING IN BIOLOGY TEACHING

Alma Adrianna Gómez Galindo
Cinvestav-Unidad Monterrey
Apodaca, Nuevo León, México
agomez@cinvestav.mx

RESUMEN: En este trabajo se estudia, usando una metodología cualitativa, la forma en que un equipo de estudiantes de primaria y su profesora construyen explicaciones de la visión humana usando diversas representaciones (dibujos y maqueta). Los resultados muestran que las representaciones se vuelven más abstractas, integrando ideas construidas con antelación y entidades del modelo teórico de referencia. Las ideas representadas están influenciadas por la intención de la profesora, el tipo de registro semiótico usado, la negociación social y el contexto de la actividad. El conjunto de representaciones genera un historia narrativa que permite a los alumnos explicar teóricamente el fenómeno, modelizándolo.

PALABRAS CLAVE: representaciones, explicaciones, modelos, multimodalidad, enseñanza de la biología.

ABSTRACT: In this paper we study, using a qualitative method, how elementary students and their teacher construct explanations of the human vision through a variety of representations (drawings and a 3D model). The results shows that the representations became increasingly abstract, integrating ideas built beforehand and entities of the theoretical model of reference. The ideas represented are influenced by the intention of the teacher, the kind of semiotic resource, the social negotiation and the context of the activity. The ensemble of representations creates a narrative that allows students to explain theoretically and modeling the phenomena studied.

KEYWORDS: representations, explanations, models, multimodality, biology teaching.

Fecha de recepción: julio 2011 • Aceptado: abril 2012

MARCO TEÓRICO

Explicaciones y modelos

Explicar los fenómenos del mundo es uno de los objetivos de la indagación científica; así mismo, que los alumnos y las alumnas construyan explicaciones es parte de una de las competencias clave para la vida definidas por la Unión Europea: «la competencia en materia científica alude a la capacidad y la voluntad de utilizar el conjunto de los conocimientos y la metodología empleados para explicar la naturaleza, con el fin de plantear preguntas y extraer conclusiones basadas en pruebas» (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006, p. 394/15).

Lo que significa explicar puede variar dependiendo del autor que se estudie (ver Norris et al., 2005). En este trabajo, más que ahondar sobre ello, se utiliza la propuesta de Kitcher (en Norris et al., 2005), quien presenta una aproximación unificada o integrada de la explicación. Este autor alude a que el valor de la construcción de explicaciones reside en que estas permiten unificar y organizar el conocimiento. Las explicaciones integradas no se evalúan individualmente, sino que se consideran dentro de una historia narrativa o un grupo de explicaciones relacionadas y su finalidad es aumentar la comprensión del fenómeno. En la enseñanza de las ciencias también otros autores han considerado que las explicaciones se insertan en una historia narrativa (ver Kurth et al., 2002; Ogborn et al., 2007; Zavel, 2007). Bajo un enfoque de modelización, esta narrativa incorpora gradualmente la relación entre algunas entidades abstractas y los fenómenos que se estudian, generando un pensamiento teórico.

Los modelos y la modelización han adquirido gran relevancia en los estudios de filosofía y enseñanza de las ciencias; sin embargo, actualmente conviven diversas posturas sobre qué son y cómo se construyen los modelos científicos y los escolares (Grandy, 2003; Matthews, 2007). El enfoque de modelización al que aquí nos adherimos se inserta en la llamada concepción semántica de las teorías (Giere, 1988). Los modelos se consideran el centro de la parte aplicativa de una teoría y son vistos como «proyecciones» de la teoría al mundo, por lo que puede llamárseles sus «realizaciones posibles».

En esta concepción, los fenómenos del mundo natural se interpretan teóricamente a través de los modelos, los cuales tienen la doble cualidad de recuperar las ideas centrales de una teoría y de permitir generar explicaciones sobre un fenómeno particular. Los modelos dan especificidad a la teoría, siendo elementos estructurales que median entre esta y los fenómenos del mundo (Develaki, 2007). Un punto central es la transición de lo concreto a lo abstracto, del fenómeno al modelo, y viceversa (Sensevy et al., 2008). En el proceso de modelización se abstrae e idealiza un fenómeno particular y se integran entidades abstractas, sus relaciones y propiedades, para describir la estructura interna, la composición o el funcionamiento del sistema o fenómeno y para generar predicciones que permitan intervenir en él (Gómez, 2006). Los modelos construidos en la escuela se han llamado modelos teóricos escolares (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). Si bien los modelos pueden ser conceptualizados y utilizados en una diversidad de formas (Svoboda y Passmore, 2011), en este estudio el interés se centra en la construcción de un pensamiento teórico para explicar un fenómeno biológico, especialmente en la forma en que las entidades teóricas son incorporadas por los alumnos.

Otro elemento importante que es necesario considerar en el desarrollo de explicaciones es que, en el aula, estas suelen ser multimodales, integrando diferentes registros semióticos (dibujos, maquetas, textos, ecuaciones, tablas, etc.) (Kress et al., 2001). Si entendemos el aprendizaje como una práctica situada, gran parte de las explicaciones que surgen en ella se construyen en las interacciones entre docentes y alumnos. En esta visión del aprendizaje las «situaciones» se conciben como construcciones dinámicas generadas mientras las personas se organizan para atender y dar significado a ciertas preocupaciones sobre la base de la interacción social en curso (Lave y Packer, 2011). Desde esta perspectiva, los alumnos son parte activa en la generación del sentido de la actividad y, por tanto, en la generación

de explicaciones. Una premisa inicial es que la construcción de explicaciones y de modelos escolares está mediada por la actividad que los estudiantes realizan (experimental, argumentativa, representacional) y por la colaboración con otros (compañeros de clase o profesores).

Aquí se considera una representación como la expresión concreta de un modelo en uno o varios registros semióticos (lenguaje natural, imagen, maqueta, etc.) (Buckley, 2000). Esta expresión se crea con una intención particular: comunicar, negociar significados, resolver problemas, mejorar la cognición, el razonamiento o las habilidades operativas (Aduriz-Bravo et al., 2005*b*). Los modelos son abstractos y generan diversas representaciones «externas», lo que significa que podemos «verlas», no en el sentido literal del término, pero sí en sentido figurado, podemos «ver» un dibujo, o «ver» una conversación. Algunos autores usan la idea de «modelo expresado» (Justi, 2006) o «representación didáctica» (Aduriz-Bravo et al., 2005*a*) para lo que aquí se llama representación del modelo.

El uso de representaciones en clase de ciencias, por ejemplo los dibujos y maquetas, es amplio y diverso. Existen varios estudios sobre las dificultades de los estudiantes al utilizar diferentes representaciones. Algunas de las dificultades señaladas tienen que ver con su conocimiento previo (Cook, 2006), con las diferentes escalas involucradas (Treagust, 2007), con los cambios en la escala al momento de explicar los fenómenos (Marbach-Ad, 2000), con la capacidad de representación espacial en relación con la estructura (Ferk et al., 2003), con las dificultades de los estudiantes ante múltiples representaciones de un mismo concepto científico (Vaghan, 2006), con relación a las habilidades iniciales y el tipo de diagrama utilizado (Viennot, 2006), etc.

El estudio del uso de representaciones ha generado un área de investigación llamada visualización¹ (NSF, 2001). La mayoría de estos estudios se refieren a la enseñanza de la química, en donde temas como la rotación espacial o el uso de estructuras tri- y bidimensionales son comunes. Sin embargo, en biología el estudio de las representaciones está más relacionado con el análisis de procesos, donde a los alumnos les son necesarias otras capacidades para generar e interpretar representaciones.

Además de los aspectos cognitivos, como los mencionados en las investigaciones anteriores, con la capacidad de interpretar imágenes y maquetas se alude a la importancia de establecer consensos y convencionalismos. Se ha encontrado que para los alumnos es problemático reconocer los convencionalismos utilizados en dibujos y maquetas (NSF, 2001). En la ciencia escolar, la generación de consensos tiene que ver con la posibilidad de compartir experiencias y formas de interpretarlas teóricamente, a través del uso de entidades y sus relaciones, favoreciendo los procesos de modelización. El desarrollo de convencionalismos promueve la incorporación de lenguajes especializados para comunicar experiencias teóricas. En la construcción de explicaciones multimodales, los estudiantes aprenden de forma simultánea los conceptos y las diversas formas de comunicarlos a través de diferentes representaciones. La relación entre modelo y representación es compleja y no causal directa.

A pesar de que hoy en día se busca dar un papel más activo a los estudiantes en sus procesos de aprendizaje, la mayoría de los estudios, como los anteriormente mencionados, versan sobre las dificultades de los alumnos al interpretar representaciones; llama la atención que existen pocos que analicen cómo los estudiantes generan sus propias representaciones. En este sentido sobresale el realizado por Danish y Enyedy (2006), quienes estudian cómo los estudiantes deciden qué incluir en sus representaciones. Estos autores mencionan que la construcción de representaciones se negocia en las interacciones sociales y está mediada por la capacidad de elaborarlas, la «competencia representacional».

Menos se ha estudiado aún el papel de las representaciones generadas por los propios alumnos en la construcción de sus explicaciones, así como el papel jugado por el profesorado, temas que se analizan en esta contribución.

1. Se consideran como visualización las actividades relacionadas con la imaginación visual y la llamada visualización externa, por ejemplo la creación de imágenes o representaciones externas.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo se diseñó una unidad didáctica que se implementó con un grupo integrado de alumnos de cuarto y quinto año de primaria (9 a 11 años de edad). En esta unidad didáctica se generaron diversas representaciones (dibujos y una maqueta) y se construyeron ideas en torno a la visión humana. Al analizar las actividades allí desarrolladas, se pretende:

Describir el proceso de modelización seguido por los estudiantes a través de identificar cuáles son las ideas (entidades y relaciones) que van incorporando en sus dibujos y la maqueta y cómo van generando una narrativa que les permita explicar teóricamente el fenómeno de la visión humana.

Identificar y describir el rol de la profesora en la construcción de explicaciones y durante el proceso de modelización.

METODOLOGÍA

Diseño de la unidad didáctica

Para analizar el proceso de modelización y la generación de explicaciones narrativas se diseñó una unidad didáctica o secuencia de enseñanza-aprendizaje. Esta se entiende como el diseño de una serie de actividades orientadas por un tópico específico; tiene un carácter dual, involucrando actividades de investigación y el desarrollo de objetivos relacionados directamente con la enseñanza y el aprendizaje de un tema en particular. Este tipo de secuencias se usan como herramientas de investigación y de innovación, y se incluyen dentro de la llamada «investigación de desarrollo» o «*developmental research*» (Méheut, 2004).

El tópico que se trató en la unidad didáctica versaba sobre la visión humana. El diseñar, llevar al aula y analizar una unidad didáctica sobre visión se debe a que el estudio de los órganos de los sentidos, entre ellos la vista, forman parte del modelo «relación» (García, 2005; Gil-Pérez, 2005), el cual se considera parte central de la teoría de seres vivos y básico en la educación para la salud. Además, se ha encontrado que tanto en la literatura como en las propuestas de aula es el menos abordado (respecto a reproducción y nutrición, por ejemplo) (Gómez, 2005). Así mismo, curricularmente, la visión humana se incluye en 4.º año de primaria en México², grado escolar para el cual se planificó la unidad didáctica.

Por otra parte, surge el interés por estudiar el aprendizaje de la visión humana desde el punto de vista de la enseñanza de la biología, ya que en los estudios revisados (véase más adelante) se encontró que este ha sido analizado generalmente desde los modelos de la física, relacionados básicamente con comportamiento de la luz y los espejos, y no desde el punto de vista biológico.

En el diseño de la unidad didáctica se utilizaron varios referentes teóricos; uno de ellos fue el trabajo de Dedes (2005), quien estudió la similitud entre las ideas de los niños y las desarrolladas durante la historia de la ciencia respecto a la visión. Dedes genera cuatro categorías básicas de comprensión de los niños sobre el tema:

1. Los niños más pequeños no conciben una relación sistemática entre la luz, el objeto y el ojo (no reconocen la luz como una entidad física independiente, sino que excluyen la presencia de la luz en el espacio).
2. Los niños no reconocen la fuente de luz de los objetos, no aportan más datos sobre el papel jugado por la luz en el proceso visual (la luz solo «ilumina»).

2. Planes de estudio vigentes en la fecha en la que se realizó el estudio.

3. Los niños incluyen algún tipo de mecanismo, pero no está claro. La luz se considera como una entidad omnipresente, que no tiene la capacidad de «viajar».
4. Los niños incluyen la presencia de un mecanismo concreto, atribuyendo cierta direccionalidad en las interacciones.

En las categorías anteriores, el mecanismo de la visión está estrechamente ligado a la interacción luz-ojo; sin embargo, el estudio de la visión humana en biología implica, además, la introducción de los mecanismos de recepción y transformación de los estímulos a través de células especializadas, los sistemas de comunicación entre órganos especializados en captar cierto tipo de estímulos y un sistema de transporte, traducción y memoria, los efectores, etc.

La secuencia diseñada sobre visión consideró, además de la posibilidad de que los niños transitaran de la categoría uno a la cuatro de Dedes (2005), otras ideas. Específicamente fueron valiosos los estudios de Bravo y Rocha (2008), García (2005), Gómez (2007), Heywood (2007), Mihás (2005) y Raftopoulos et al. (2005); para plantear algunas ideas clave que desarrollar con los niños y las niñas:

- Establecer diferencias entre lo que se ve y lo que hay,
- considerar que la luz interviene en el proceso de visión,
- considerar el modelo geométrico (la luz viaja en línea recta mientras no cambie de medio),
- introducir la conexión entre los órganos de los sentidos y el cerebro,
- introducir la formación de imágenes en la pared posterior del ojo y el papel del cerebro al integrar y dar sentido a la información,
- presentar la cámara oscura como analogía del ojo,
- introducir la función de los dos ojos para ver los objetos en tres dimensiones.

Tabla 1.
Descripción de las actividades realizadas en cada sesión de clase, unidades de análisis y representaciones generadas por los estudiantes

<i>Unidad didáctica</i>		<i>Unidad de análisis (UA)</i>	<i>Representación</i>
<i>Nº. de sesión</i>	<i>Contenido de la sesión</i>		
1	Exploración de las ideas iniciales de los estudiantes a través de juegos de ilusiones ópticas.		
2	¿Qué vamos a aprender? Comunicación de objetivos y guía de registro de su logro.		
3	Observación de objetos con y sin luz y comparación de objetos observados desde diferentes posiciones. Dibujo de un objeto desde diversas posiciones.	UA ₁	Dibujo
4	Juegos de luces y sombras. Experimento de la cámara oscura (con una lata y una vela): Dibujo para representar que «La luz viaja en línea recta».	UA ₂	Dibujo
5	Coejercicio de evaluación y discusión usando rúbricas. Regulación de las representaciones de las trayectorias de viaje de la luz.		
6	La luz, los ojos y el cerebro. Experimentos de visión con uno o ambos ojos. ¿Cómo se ve algo cubriendo un ojo o con los dos ojos? Dibujo sobre cómo vemos con los dos ojos. Planear una maqueta y elegir materiales para traerlos la siguiente clase.	UA ₃	Dibujo
7	Elaboración de una maqueta de la visión humana usando diversos materiales.	UA ₄	Maqueta

<i>Unidad didáctica</i>		<i>Unidad de análisis (UA)</i>	<i>Representación</i>
<i>Nº. de sesión</i>	<i>Contenido de la sesión</i>		
8	Explicación de maquetas a otros alumnos.		
9	Aplicación de lo aprendido: explicando otros problemas. ¿Para qué sirven las gafas de sol? Observar la dilatación y contracción de la pupila. ¿Por qué sucede esto?		

Se ha de considerar que en futuros ciclos escolares se podrían introducir otras ideas básicas del modelo escolar, como:

- La presencia de células o «partes» en el ojo que permiten la transformación de un estímulo luminoso en un estímulo eléctrico,
- la especialización del cerebro para recibir y transformar los estímulos,
- la forma en que los órganos de los sentidos y el cerebro están conectados y otros elementos del sistema nervioso, entre otras.

La descripción de las actividades realizadas en cada sesión de la secuencia didáctica se presenta en la tabla 1. Una descripción detallada de estas se encuentra en Gómez (2007).

Fuente de datos y propuesta de análisis

El enfoque de análisis es cualitativo (Erickson, 2003), con un método de análisis del discurso, usando el análisis de la conversación (Edwards y Mercer, 1998) y de los elementos presentes en las representaciones generadas por los alumnos para describir el proceso de modelización y el papel de la profesora.

Como se mencionó, en este trabajo se analiza una unidad didáctica sobre la visión dirigida a un grupo integrado por diez estudiantes de 4.º y 5.º de primaria. Se realizaron nueve sesiones de una hora y media (ver tabla 1) en un colegio urbano del Estado de México, México. La unidad didáctica fue diseñada por la autora de este trabajo, quien además ejerció como profesora del grupo.

Los niños trabajaron de forma individual y en equipo. Para el análisis, se seleccionó al azar un equipo de tres estudiantes (dos niños y una niña: Alberto, Emilio y Victoria). Las conversaciones entre la profesora y los alumnos fueron grabadas y transcritas; los dibujos fueron fotocopiados, así como la planificación de actividades y el diario de la profesora, y se fotografió la maqueta.

A través del análisis del discurso (Edwards y Mercer, 1998) se identificaron las ideas introducidas durante la actividad y el papel de la profesora. Para cada representación se identificaron las entidades, relaciones y propiedades representadas. Considerando la totalidad de los datos, se generó una primera propuesta de categorías de análisis tras un análisis recursivo (Erikson, 2003) en el que se consideraron todas las unidades de análisis (UA) y, dando sentido a la actividad de modelización, se reformularon las categorías, describiendo finalmente tres que fueron identificadas en el discurso y en las representaciones elaboradas por los alumnos:

- *Las ideas introducidas en la actividad* (entidades, relaciones entre entidades y propiedades de las entidades): fueron las ideas presentadas en las actividades por parte de la profesora que están contenidas en la planificación y el diario de la profesora y que fueron identificadas en las conversaciones entre la profesora y los alumnos.
- *Las ideas representadas* (entidades, relaciones entre entidades y propiedades de las entidades): es decir, qué ideas fueron representadas por los estudiantes al explicar el fenómeno estudiado. Estas ideas tienen una representación escrita o gráfica en los dibujos y la maqueta.

- *La función de la profesora*: la identificación de los momentos en los que esta ayuda a los estudiantes, cómo los ayuda, cómo interactúan en las actividades y su apoyo en la construcción de ideas y en la realización de los dibujos y la maqueta.

Posteriormente, se establecieron relaciones temporales vinculando los resultados de cada UA para entender el proceso de modelización y cómo la profesora apoya la generación de explicaciones sobre el fenómeno estudiado.

De las unidades de análisis

Para describir el proceso de modelización, se tomó como idea central la transición de lo concreto a lo abstracto, considerando abstractas las entidades propias del modelo escolar que pudieran ser identificadas en las representaciones realizadas por los alumnos. Siendo así, el análisis de las representaciones fue el hilo conductor de la metodología planteada. Por ello se identificaron unidades de análisis (UA), siendo estas fragmentos de la actividad en la que se genera una representación específica (dibujo o maqueta).

La generación de una representación incluye la actividad previa o posterior, que puede ser experimental o argumentativa; por lo tanto, cada UA es un segmento de actividad en el que se trabaja sobre una tarea específica pero en el que se refleja la dinámica general de la actividad (Vygotsky, 2000). Aquí, una UA representa una sesión de clase entera en la que se ha generado una representación específica. Las representaciones se realizaron en las sesiones de clase número tres, cuatro, seis y siete (ver tabla 1); por tanto, cada una de estas sesiones es una unidad de análisis.

Siendo así, se consideraron cuatro UA (UA_1 , UA_2 , UA_3 y UA_4). En las tres primeras, los estudiantes hicieron dibujos de forma individual, y en la cuarta los tres estudiantes construyeron en equipo una maqueta. Para cada UA se elaboró una tabla resumen con los resultados de las tres categorías definidas (ver tablas 2 a 5). En dichas tablas se presentan los dibujos de los alumnos y las fotografías de la maqueta, así como una breve descripción de la actividad realizada durante la sesión de clases.

Tabla 2.
Descripción de la UA₁

UA ₁	Actividad: Los niños meten su cabeza en una caja sin luz y dicen lo que ven; se deja entrar luz y describen lo que ven. Los niños hablan de la necesidad de la luz para ver el objeto dentro de la caja (un dinosaurio de juguete) y dibujan desde diferentes perspectivas. Las experiencias se discuten.	
Ideas introducidas en la actividad	Ideas representadas	Rol docente
<p>No podemos ver sin luz. La luz se refleja en los objetos y por eso podemos ver. Lo que vemos depende del lugar en el que estamos. No todos vemos lo mismo desde diferentes lugares.</p>	<p>Lo que veo de un objeto depende de mi posición con respecto al objeto.</p>	<p>Propone experiencias sensoriales. Hace preguntas sobre cómo la luz entra en la caja y llega a los ojos. Introduce la idea de que la luz es reflejada por los objetos. Ayuda a los estudiantes en la identificación de su orientación en el espacio en relación con otros; da ejemplos en la pizarra (dibuja un círculo con los nombres de los estudiantes en torno al dinosaurio). Solicita la generación de una representación específica (dibujo).</p>
Representación: Dibujo ¿Qué veo?		

Tabla 3.
Descripción de la UA₂

UA ₂	Actividad: Un experimento con una lata y una vela (cámara oscura). Los niños hablan de por qué la imagen de la llama se ve al revés en el experimento. La clase hace un dibujo en la pizarra. Después de borrar el dibujo de la pizarra los niños construyen representaciones individuales.	
Ideas introducidas en la actividad	Ideas representadas	Rol docente
<p>La luz de la vela se desplaza en todas direcciones. La luz viaja en línea recta. La luz no pasa a través de paredes opacas.</p>	<p>La luz de una vela se desplaza en todas direcciones. La luz no pasa a través de paredes opacas. La luz viaja en línea recta. La llama de una vela se ve al revés en la cámara oscura.</p>	<p>Propone el experimento. Pide predicciones. Hace preguntas durante el experimento. Ayuda a los estudiantes a construir su primera explicación a través de una representación en la pizarra (construida por un estudiante al que ayuda la profesora). Pregunta cómo viaja la luz. Ayuda a construir la idea de que viaja en línea recta. Promueve la socialización de esta idea. Pide la generación de una representación específica (dibujo).</p>
Representación: Dibujo ¿Cómo viaja la luz?		

Tabla 4.
Descripción de la UA₃

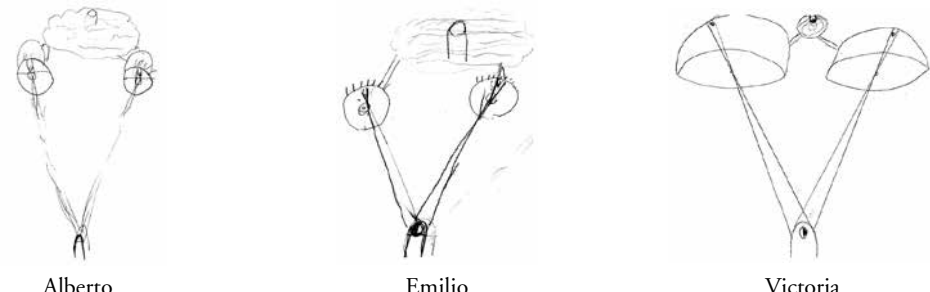
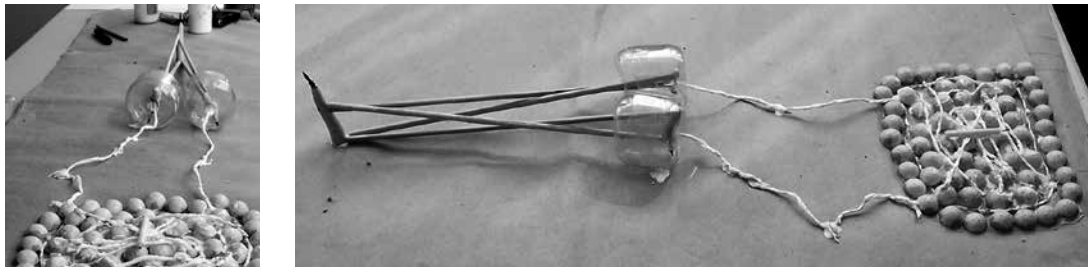
UA ₃	Actividad: Los niños realizan diversas experiencias sensoriales (visión con un ojo tapado o los dos ojos abiertos, etc.). Discuten las experiencias y se introduce la idea de que la perspectiva se detecta con ambos ojos. Los niños hablan de cómo se forma la imagen en el cerebro con la información procedente de ambos ojos. Se conversa en clase sobre la importancia del cuidado de los ojos.	
Ideas introducidas en la actividad	Ideas representadas	Rol docente
En cada ojo se forma una imagen. El cerebro une las dos imágenes y forma una imagen tridimensional. La imagen tridimensional se percibe al ver con los dos ojos. Hay que cuidar nuestros ojos (por ejemplo, no ver la televisión muy de cerca, no taparse los ojos con las manos sucias, etc.).	La luz viaja en línea recta y entra en el ojo a través de la pupila. Los ojos están conectados al cerebro. La imagen se forma invertida en la pared posterior del ojo. Otra imagen se forma en el cerebro.	Propone experiencias sensoriales. Pide a los estudiantes integrar las ideas discutidas en clases anteriores. Pide la generación de una representación específica (dibujo). Identifica dificultades en la elaboración de la representación y proporciona ayuda (p. ej., para trazar las líneas rectas). Habla de los elementos presentes en los dibujos, pide explicaciones y plantea preguntas específicas. Ayuda a los estudiantes a establecer comparaciones entre sus dibujos.
Representación: dibujo ¿Cómo veo?		
		

Tabla 5.
Descripción de la UA₄

UA ₄	Actividad: Construcción de la maqueta por los equipos.	
Ideas introducidas en la actividad	Ideas representadas	Rol docente
- No hay introducción de ideas, la profesora habla de una aplicación de lo aprendido y solicita la planificación y construcción de una maqueta.	La luz viaja en línea recta y entra en el ojo a través de la pupila. Los ojos están conectados al cerebro. La imagen se forma invertida en la pared posterior del ojo. Otra imagen se forma en el cerebro. En el cerebro las células están conectadas por los nervios.	Pide la generación de una representación específica (maqueta: los materiales utilizados pueden ser elegidos libremente por los estudiantes). Pide a los estudiantes integrar y aplicar las ideas discutidas en clases anteriores. Organiza los equipos. Habla con los alumnos de los elementos de la maqueta, pide explicaciones y plantea preguntas específicas durante la elaboración de la maqueta.

Representación: maqueta ¿Cómo veo?



Equipo: Alberto, Emilio y Victoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre el proceso de modelización: las entidades y sus relaciones

Para analizar el proceso de modelización se describe la manera como fueron siendo introducidas y representadas las entidades del modelo por parte de los alumnos y cómo se van generando representaciones cada vez más abstractas.

En primera instancia, se identifica que en la UA_1 los estudiantes no representan ninguna entidad abstracta; en este caso, se dibuja un objeto (dinosaurio de juguete) desde un ángulo específico (ver tabla 2). Esta tarea tuvo como objetivo introducir la subjetividad en la observación, incorporando la idea de que cada persona ve un objeto de forma diferente según su posición. De acuerdo con Dedes (2005), los niños pequeños no establecen distinciones entre lo que ellos observan y lo que ven otras personas. Las representaciones de los estudiantes presentan lo que ellos ven, pero en el grupo-clase se discute la idea de una diferencia entre lo que vemos, lo que está allí y lo que ven los demás. Esta noción forma parte de la orientación espacial y apoya la habilidad para la visualización (Coleman y Gotch, 1998). Los niños empiezan a generar ideas abstractas; sin embargo, en la representación no se identifican entidades propias del modelo.

En las UA siguientes (2, 3 y 4), comienzan a introducirse entidades abstractas. En la UA_2 , los estudiantes no solo representan lo que vieron, sino también una interpretación de por qué lo vieron así. Se puede identificar un círculo (parte posterior de una lata) y la imagen invertida de una llama, en una sección de los dibujos: «lo que vi». En la otra parte del dibujo «cómo lo explico» se representan los haces de luz proyectados por la llama y dos propiedades de esta entidad: los haces de luz viajan en línea recta y no atraviesan paredes opacas (ver tabla 3). De acuerdo con Treagust (2007), los haces de luz pueden considerarse entidades abstractas «invisibles», de carácter explicativo, usadas en el área de la física. Al hacer estos dibujos, los estudiantes explican una experiencia inmediata anterior que consiste en un experimento con la cámara oscura. La representación UA_2 puede considerarse más abstracta que UA_1 .

En la UA_3 , se representan otras entidades abstractas además de los rayos de luz: el que la imagen se forma en la parte posterior del ojo, la conexión entre los ojos y el cerebro y la imagen que se forma en el cerebro (ver cuadro 4). Además, esta representación se aleja de la actividad anterior en el sentido de que constituye una síntesis de las ideas construidas en diferentes sesiones de clase. La representación en la UA_3 puede considerarse más abstracta que la generada en la UA_2 .

En la UA_4 , están representadas las mismas entidades que en la UA_3 , pero introduciendo una nueva: la conexión entre las «partes» del cerebro a través de «nervios» (términos usados por los estudiantes al explicar oralmente). Sin embargo, en esta representación, por el tipo de apoyo semiótico que introduce una tercera dimensión y el uso de diversidad de materiales, aparecen nuevas variables en las explicaciones de los estudiantes. En este caso, nuevas propiedades de las entidades: el cerebro está formado

por partes que están conectadas por los nervios y la idea de que lo que viaja entre el ojo y el cerebro tiene la misma naturaleza que la luz (discutido más adelante con la profesora y modificado; consúltese fragmento de la conversación 1). Se presentan más entidades teóricas, propiedades y relaciones; por lo tanto, la representación en la UA₄ puede considerarse más abstracta que en la UA₃.

Al considerarlos de forma aislada, podría discutirse que algunos dibujos (por ejemplo, el que los alumnos realizaron en el UA₁) no fuesen representaciones del modelo escolar, ya que no incluyen las entidades de éste; sin embargo, si la totalidad de los dibujos y la maqueta realizada por los alumnos a lo largo de toda la unidad didáctica se toman como parte de una narrativa y de una explicación integrada, sí se consideran todos como representaciones del modelo. Tal como menciona Kitcher (en Norris et al., 2005), se trataría de una explicación integrada en la que los dibujos y la maqueta no se evalúan individualmente, sino en relación con la narrativa y, aquí se agregaría, en relación también con el contexto de la actividad.

Las explicaciones en cada UA se insertan así dentro de una historia narrativa en la que se van introduciendo nuevas ideas. En la secuencia creada, las representaciones se pueden considerar cada vez más abstractas, dado que los estudiantes, poco a poco, se alejan de la representación de la experiencia o el experimento inmediato anterior, integrando ideas generadas en las sesiones de clase anteriores e introduciendo más entidades abstractas, relaciones y propiedades. Este proceso de abstracción está en el centro de la modelización (Sensevy et al., 2008) y representa ir de lo concreto a lo abstracto, lo que muestra la capacidad de ver un fenómeno teóricamente.

Podemos observar el proceso de modelización, además, en el sentido de que no se trata solamente de la inclusión de nuevas entidades, sino que el pensamiento de los niños y la representación pasan de formas simples a más complejas y abstractas a medida que desarrollan una idea más sofisticada de la relación entre las entidades para explicar el fenómeno. Consideradas en su conjunto, las representaciones generan una explicación multimodal narrativa integrada.

Sobre el papel de la profesora

En este estudio, la posibilidad de cada representación para poner de relieve algunas entidades o relaciones fue influenciada por diversos factores en los que la profesora tiene un papel importante. Los más destacados son:

1. *Las preguntas e indicaciones de la profesora:* La profesora centró la atención de los estudiantes hacia ideas específicas a las que daba prioridad. Esto se muestra en algunas entidades y propiedades que destacó a través de emplearlas recurrentemente en el discurso, por ejemplo, la idea de que la luz viaja en línea recta. Al parecer, la profesora considera que algunas ideas son esenciales en el modelo teórico que se está construyendo y, al mismo tiempo, de difícil acceso para los estudiantes. Esta recurrencia podría ser una estrategia para aumentar la socialización de entidades específicas.

2. *El tipo de registro semiótico solicitado por la profesora y los procesos de regulación.* Las características específicas de cada registro semiótico permiten la visualización de algunas propiedades y no de otras. Por ejemplo, el uso de diferentes materiales en la maqueta (UA₄, ver tabla 5) favorece la visualización y negociación de algunas ideas que no se habían discutido con antelación. Un ejemplo es el fragmento 1 de conversación, en el cual se observa que la profesora identifica que Victoria ha utilizado el mismo tipo de material para representar la luz y las fibras nerviosas (palos de madera). Los palos de madera representan una entidad específica, la luz, y han sido elegidos por los alumnos porque son «rectos» como la «luz que viaja en línea recta». Siendo así, al observar la construcción de la maqueta la profesora pregunta a la alumna sobre la representación de las entidades del modelo.

Victoria: [Habla sobre los materiales que está utilizando al elaborar la maqueta] Los palos son la luz que viaja de aquí [la vela] a aquí [el ojo]. [Victoria también ha puesto palos entre los ojos y el cerebro].
 Profesora: Ah, ¿sí...? ¿Y por qué utilizas los palos aquí [desde el ojo hasta el cerebro]?
 Victoria: La imagen se forma aquí [la parte posterior del ojo], ¿no? Y entonces la luz se dirige al cerebro por aquí [los palos que conectan ojos y cerebro].
 Profesora: Ahh, pero echemos un vistazo a este tema... ¿Dónde están Alberto y Emilio? ¿Qué piensan ellos de esto?

Fragmento 1. Fragmento de conversación en la UA₄, la construcción de la maqueta.

Hay que considerar que en la UA₃ los estudiantes representan con líneas (dibujo a lápiz) dos ideas: «la luz viaja en línea recta» y «los ojos están conectados al cerebro». Sin embargo, en el dibujo elaborado en esta UA₃, no es posible para la maestra reconocer que Victoria, al hacer una línea con lápiz entre los ojos y el cerebro, está representando luz (ver tabla 4, dibujo de Victoria), por ello no genera un proceso de regulación en torno a esta idea.

Si observamos el dibujo producido por el equipo en la planificación de la maqueta (que no se ha incorporado en esta investigación como UA) (figura 1), podemos ver que las líneas que representan la luz son rectas, mientras que las que conectan los ojos con el cerebro son curvas, lo que podría indicar su diferente naturaleza. La maqueta fue planeada por el equipo, pero Alberto hizo el dibujo. Sin embargo, la participación de Victoria en la elaboración de la maqueta fue más activa: ella colocó los palos de madera, mientras que Alberto y Emilio habían salido del aula para buscar algunos materiales que faltaban. Cuando Alberto y Emilio vuelven al aula, la profesora habla con todo el equipo sobre el tipo de material utilizado para conectar el cerebro con los ojos. Los tres niños discuten el tema y Alberto explica a Victoria que no han de poner palos, pues no es luz, sino «impulsos nerviosos», lo que va de los ojos al cerebro. El equipo opta por sustituir los palos por otro material similar a los «nervios»: cuerdas.

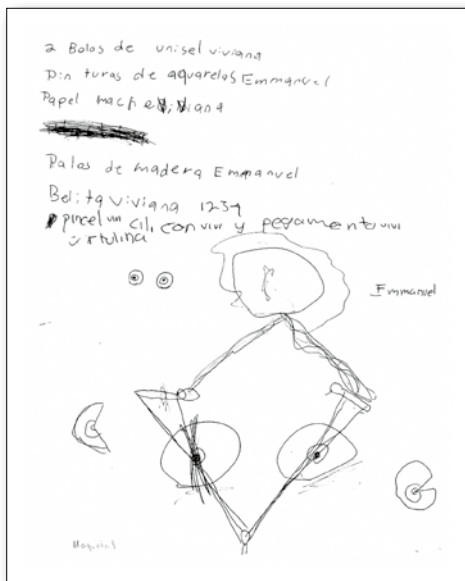


Fig. 1. Dibujo del equipo de Alberto, Emilio y Victoria, en el que planifican su maqueta sobre la visión.

3. *La negociación social de la representación.* En este estudio, la explicación sobre «cómo ve la gente» es mediada por las representaciones construidas, que a su vez son socialmente negociadas. La negociación social de las representaciones es realizada principalmente por la profesora, quien promueve la elaboración de un tipo específico de representación y, al mismo tiempo, apoya que se representen algunas entidades y relaciones. A pesar de que la profesora tiene un predominio en la negociación, esta varía a lo largo de las UA: es mayor en la UA₂, media en la UA₁ y UA₃, y más bien baja en la UA₄. En este caso los alumnos van adquiriendo un papel más activo en la negociación social de la representación a lo largo de la secuencia didáctica.

En el caso de la UA₂, antes de hacer dibujos individuales de la clase se elabora un esquema común en la pizarra. El esquema es realizado por uno de los estudiantes; sin embargo, la profesora guía su formulación, indicando al estudiante lo que ha de dibujar en cada paso. Esto se puede ver en el fragmento 2 de conversación.

Profesora: Sí, Emilio, ven a la pizarra.
 [Emilio va al frente, toma un trozo de tiza y mira a la profesora].
 Profesora: Bueno, primero dibuja lo que viste.
 Emilio: Que la vela se veía al revés.
 Profesora: Dibuja lo siguiente: la lata y la imagen de la llama de una vela. ¿Qué tenía la lata en este lado? [señala el dibujo].
 Emilio: Un agujero.
 Profesora: ¡Dibújalo! ¿Y dónde estaba la vela? Dibújalo...
 [Emilio dibuja en el pizarrón].
 Profesora: Ahora, vamos a ver..., la llama de la vela genera luz, ¿no? La luz viaja en todas direcciones.
 [Emilio dibuja líneas radiales de la llama].
 Profesora: Parte de la luz llega a la lata, pero ¿qué sucede cuando se topa con la pared? ¿Puede pasar?
 Emilio: No va a..., solo la luz que pasa a través del pequeño agujero.
 Profesora: Aquí en tu dibujo solo este rayo que entró, y si un solo rayo entra, solo veremos un punto de luz, ¿no? Sin embargo, vemos toda la llama al revés.
 Emilio: Sí.
 Profesora: Esto es porque cada punto de la llama emite luz en todas direcciones, y la luz viaja en línea recta [dibuja un punto de la llama líneas en todas direcciones]. Si este fuera el caso, algunos de estos pequeños rayos entrarían por el agujero... ¿Cuáles?
 Victoria: Uno entraba, este [señala en el dibujo].
 Profesora: Emilio, dibuja el rayo que entra.
 [Emilio dibuja]
 Profesora: ¿Cómo sería esto si en este punto también hay luz en todas direcciones, y aquí también? [apuntando a otras partes de la llama en el dibujo].
 [Emilio dibuja y la profesora da apoyo en la construcción de esta representación con frases como: «Ahora, en este punto, ¿podría este pequeño rayo pasar por ahí?». Al final, la profesora se refiere a la imagen y la explica. Más tarde, borra la imagen de la pizarra y solicita a los niños que hagan sus propios dibujos].

Fragmento 2. Conversación en la UA₂ donde se elabora un dibujo en la pizarra usando el modelo geométrico de la luz para explicar por qué los estudiantes ven la luz de la vela al revés en el experimento de la cámara oscura.

La UA₂ es la única unidad de análisis en la que se construye una representación guiada por la profesora (dibujo) anterior a la que realizan los alumnos de forma individual, lo que origina una negociación muy intensa de la representación; podemos observar que los dibujos de los alumnos son muy similares entre sí (ver tabla 3).

En la UA₁, la representación es generada en conjunto por la profesora y los alumnos. Los alumnos realizan de manera individual e independiente un dibujo sobre lo que ven; sin embargo, la docente apoya a los alumnos en la elaboración de un diagrama en la pizarra que muestra la posición relativa de

cada uno para facilitar la comparación entre lo que ven y su posición respecto a los demás. El dibujo del círculo y sus posiciones relativas es copiado por los alumnos, quienes después comparan los dibujos del dinosaurio que cada uno realizó de forma independiente (ver tabla 2).

En la UA₃, también hay una negociación alta, pero no es guiada por la profesora. Aunque los alumnos no construyen una representación colectiva anterior, sus dibujos son similares. Esto se debe al hecho de que los estudiantes comparten sus dibujos y comentarios en el momento de su elaboración; la participación de los estudiantes en la negociación de la representación es mayor en comparación con la UA₂. Por ejemplo, durante una actividad previa han realizado algunas experiencias de observación de sus dedos y, antes de comenzar a dibujar, un estudiante pregunta (mirando su dedo y sosteniéndolo frente a su cara): «¿Puedo dibujar cómo veo mi dedo?». La profesora dice: «Sí, si así lo deseas». Debido a esta intervención y a la experiencia compartida, todos los estudiantes dibujan cómo ven sus dedos (ver cuadro 4). La profesora ayuda, por petición de algunos alumnos, en la realización de líneas rectas, representando la «luz».

En la UA₄, la intervención de la profesora en la negociación de las representaciones es prácticamente nula; ella pide a los estudiantes que planifiquen sus maquetas y piensen en los materiales que se necesitan para llevarlos la siguiente clase. Los estudiantes planean sus maquetas y hacen un dibujo y la lista de los materiales (ver figura 1); después de esto realizan sus maquetas prácticamente sin ayuda de la profesora.

Es importante destacar que, durante la construcción de las representaciones en la UA₂ y la UA₃, la profesora genera un andamiaje para la competencia representacional de los alumnos, entendida como la capacidad de generar representaciones. En el caso del dibujo, este andamiaje se relaciona principalmente con los trazos geométricos: líneas rectas, círculos, etc. En el caso de la maqueta, la profesora no proporciona ayuda en la ejecución, sino que supervisa la construcción y, en algunos casos, como se menciona en el fragmento 1, hace preguntas para generar procesos de regulación sobre las entidades, propiedades o relaciones representadas.

Dentro de la negociación social de las representaciones se encuentra que otra de las funciones de la profesora fue centrar la atención de los estudiantes hacia entidades particulares y sus relaciones, utilizando las representaciones para apoyar su integración de una manera significativa, creando vínculos entre la representación y las ideas del modelo.

También en este apartado destaca el establecimiento de consensos y convencionalismos como parte de la negociación social de la actividad. La producción de consenso se relaciona con la posibilidad que tuvieron los alumnos de compartir experiencias, de interpretarlas teóricamente e integrarlas en una historia narrativa.

4. El contexto de la actividad. Aquí la profesora tiene un papel importante porque ella planifica y gestiona las actividades en el aula.

Las actividades se contextualizan en dos ejes: primero en relación con la secuencia de enseñanza-aprendizaje propuesta y segundo, en la sesión misma de la clase en la que la representación se elabora.

A lo largo de toda la unidad didáctica se contextualizan las entidades representadas en una historia narrativa con una secuencialidad específica. Por ejemplo, en la UA₄ (maqueta), los estudiantes representan que lo que se ve es una vela, retomando las actividades realizadas en la UA₂, donde realizan el experimento de la cámara oscura usando una vela (véanse los cuadros 5 y 3). Además, como ya se mencionó, las representaciones de los alumnos van incorporando entidades generadas en actividades anteriores. En este sentido, no puede dejarse de lado la consideración de que las representaciones se han elaborado dentro de una secuencia didáctica con una intención específica por parte de la profesora y con una experiencia compartida por parte de los alumnos.

Así mismo, se dio una contextualización en la sesión de clase en la que los estudiantes van interactuando entre ellos y con la profesora para dar sentido a la actividad que realizan. Por ejemplo, en el caso de la UA₃, la intervención de una alumna preguntando si puede dibujar su dedo y la experiencia previa compartida generan que la totalidad de los alumnos del grupo dibujen su dedo; es decir, lo que se dice y hace, y cómo se dice y hace, tiene influencia en lo que después se representa. En este sentido el contexto es entendido, no como el lugar en el que acontecen los eventos, sino como un espacio dinámico de interacciones situadas. Tal como menciona McDermot: «El contexto no es tanto algo dentro de lo cual lo colocan a uno, sino un orden de comportamiento del que uno forma parte» (en Lave, 1996, p. 32).

CONCLUSIÓN: MODELIZACIÓN Y EXPLICACIONES NARRATIVAS INTEGRADAS

En cuanto al proceso de modelización seguido, vemos que el análisis de la conversación y de las representaciones realizadas por los estudiantes permitió identificar una narrativa en la que el fenómeno de la visión humana es interpretado usando entidades abstractas de un modelo escolar.

El proceso de modelización se caracterizó por que los alumnos fueron incorporando cada vez más entidades, propiedades y relaciones, a la vez que integrando las experiencias generadas en el aula, siendo las representaciones cada vez más abstractas. Así mismo, se caracterizó por una alta contextualización de la explicación generada.

Si bien en este trabajo se describe el proceso de construcción de ideas teóricas en torno al fenómeno de la visión y su modelización por los estudiantes, aún resta describir la funcionalidad del modelo escolar en tanto su capacidad para permitir a los alumnos explicar otros fenómenos, generar predicciones e intervenir en el mundo, cualidades también importantes de los modelos escolares.

En cuanto al rol de la profesora, un aspecto clave fue la negociación social de la representación y el apoyo en la competencia representacional de los alumnos. Se puede afirmar que la profesora cumple un rol a nivel social generando la intersubjetividad necesaria para el cumplimiento de la tarea y, al mismo tiempo, un rol a nivel cognitivo-motor, atendiendo las necesidades de desarrollo de la competencia representacional de cada estudiante.

En este caso, es útil analizar los soportes semióticos elaborados por los propios alumnos, como dibujos y maquetas, para dar seguimiento al proceso de modelización respecto a las entidades que se van construyendo, y esto, aunado al análisis de la conversación en el aula, permite dar cuenta del rol docente y, por tanto, del proceso social en el cual se inserta la modelización en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A., GARÓFALO, J., GRECO, M. y GALAGVOSKY, L. (2005a). Modelo didáctico analógico. Marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 1-5.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., GÓMEZ, A., MÁRQUEZ, C. y SANMARTÍ, N. (2005b). La mediación analógica en la ciencia escolar: la propuesta de «función modelo teórico». *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 1-5.
- BUCKLEY, B.C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 895-935.
- BRAVO, B. y ROCHA, A. (2008). Los modos de conocer de los alumnos acerca de la visión y el color: síntesis de resultados. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 582-596.
- COLEMAN, S.L. y GOTCH, A.J. (1998). Spatial perception skills of chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 75, 206-209.

- COOK, M. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90, pp. 1073-1091
- DANISH, J. y ENYEDY, N. (2006). Negotiated representational mediators: How young children decide what to include in their science representations. *Science Education*, 91(1), 1-35.
- DEDES, C. (2005). The mechanism of vision: Conceptual similarities between historical models and children's representations. *Science & Education*, 14, 699-712.
- DEVELAKI, M. (2007). The model based view of scientific theories and the structure of school science programmes. *Science & Education*, 16, 725-749.
- DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. (2006). Recomendación del parlamento europeo y del consejo del 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. L 394, 10-18.
- EDWARDS, D. y MERCER, N. (1998). *El conocimiento compartido: El desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós.
- ERICKSON, F. (2003). Qualitative research methods for science education, en: Fraser, B. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, 1175-1189. London: Kluwer Academic Publisher.
- FERK, V., VRTACNIK, M., BLEJEC, A., y GRIL, A. (2003). Students' Understanding of Molecular Structure Representations. *International Journal of Science Education*, 25 (10), 1227-1245.
- GARCÍA, M.P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en biología. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 1-5.
- GIERE, R.N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- GIL-PÉREZ, D. (ed.) (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago de Chile: OREALC/ UNESCO.
- GÓMEZ A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. DOI: <<http://www.tdx.cat/TDX-0809106-121708>>.
- GÓMEZ, A. (2006). El modelo cognitivo de ciencia y la ciencia escolar como actividad de formación. *Configuraciones Formativas. I. El estallido del concepto de formación*, 1, 139-156. México: IEDUG.
- GÓMEZ, A. (2007). ¿Cómo conocemos el mundo?: los órganos de los sentidos y el sistema nervioso. *Praxis. Educación primaria, Orientaciones y Recursos*, 3, 3: 1-21.
- GRANDY, R.E. (2003). What are models and why do we need them? *Science & Education*, 12, 737-777.
- HEYWOOD, D. (2007). Primary trainee teachers' learning and teaching about light: some pedagogic implications for initial teacher training. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1447-1475.
- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- KRESS, G., CHARALAMPOS, T. y OGBORN, J. (2001). *Multimodal teaching and learning. The rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.
- KURTH, L.A., KIDD, R., GARDNER, R. y SMITH, E.L. (2002). Student Use of Narrative and Paradigmatic Forms of Talk in Elementary Science Conversations. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 793-818.
- LAVE, J. (1996). La práctica del aprendizaje, en Chalkin, S. y Lave J (comps.). *Estudiar las prácticas, perspectivas sobre actividad y contexto*, 15-45. Buenos Aires: Amorroutu.

- LAVE, J. y PACKER, M. (2011). Hacia una ontología social del aprendizaje. *Revista de estudios sociales*, 40, 12-22.
- MARBACH-AD, G. (2000). Students' cellular and molecular explanation of genetic phenomena. *Journal of biological education*, 34(4), 2000-2005.
- MATTHEWS, M. (2007). Models in science and science education: An introduction. *Science & Education*, 16, 647-652.
- MÉHEUT, M. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- MIHAS, P. (2005). A historical approach to the teaching of the linear propagation of light, shadows and pinhole cameras. *Science & Education*, 14, 675-697.
- NORRIS, S., GUILBERT, S., SMITH, M., HAKIMELAHI, S. y PHILLIPS L. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89, 535-563.
- NSF (2001). *Molecular visualization in science education*. National Science Foundation. Arlington: VA, NSF.
- OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I. y MCGILLICUDDY, K. (2007). *Explaining science in the classroom*. UK: Browns Book.
- RAFTOPOULOS, A., KALYFOMMATOU, N. y CONSTANTINOY, C.P. (2005). The Properties and the Nature of Light: The Study of Newton's work and the Teaching of Optics. *Science & Education*, 15, 649-673.
- SENSEVY, G., TIBERGHIEY, A., SYLVAIN, J. y GRIGGS, P. (2008). An Epistemological Approach to Modeling: Cases Studies and Implications for Science Teaching. *Science Education*, 92, 424-446.
- SVOBODA, J. y PASSMORE, C. (2011). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science & Education*, DOI: 10.1007/s11191-011-9425-5.
- TREAGUST, D. (2007). General instruction methods, en L. Norman (ed.). *Handbook of research in science education*, 373-391. London: LEA.
- VAGHAN, P. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1843-1866.
- VIENNOT, L. (2006). Can we evaluate the impact of critical detail? The role of a type of diagram in understanding optical imaging. *International Journal of Science Education* 28(15), 1867-1885.
- VYGOTSKY, L.S. (2000, 2.^a ed.). *Obras Escogidas III*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- ZABEL, J. (2007). Stories and Meaning: What Students' Narratives Reveal about their Understanding of the Theory of Evolution. *Memorias del congreso ESERA 2007*, 1-10.

AGRADECIMIENTOS

A los niños y niñas de colegio Rébsamen, Naucalpan, Estado de México, México, y sus profesoras Elda Milena Ceballos y María de los Ángeles Galindo; a los árbitros anónimos que revisaron este trabajo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Secretaría de Educación Pública-Subsecretaría de Educación Básica (Conacyt-SEP-SEB), México, por su apoyo mediante el proyecto 48374. Una versión preliminar de este trabajo se publicó en las memorias del congreso de ERIDOB 2008.

NARRATIVE EXPLANATIONS AND MODELING IN BIOLOGY TEACHING

Alma Adrianna Gómez Galindo
Cinvestav-Unidad Monterrey
Apodaca, Nuevo León, México
agomez@cinvestav.mx

Explaining the phenomena is one of the goals of scientific inquiry; also the construction of explanation by students is part of the European Scientific Competences. In this work we study the construction of explanations by primary students related to a biological phenomenon: the human vision. To do this, integrated approximation to explanation is used. This approach refers to the value of explanation to unify and organize the knowledge; here the explanations are not evaluated individually but within a narrative or group of related ones. Another central idea is that explanations are multimodal, integrating different semiotic registers. Under the modeling approach, this narrative incorporates the relationship between some abstract entities and the phenomena under study, generating a theoretical thought.

In this study the goal is to describe the modeling process followed by students and their teacher identifying what are the ideas (entities and relationships) that are incorporated in drawings and 3D models, and how they are creating a narrative that allows them to explain theoretically the phenomenon of human vision.

To do this, a Teacher Learning Sequence was designed and performed in K12 classroom. Using discourse, drawing and 3D model analysis, Analysis Unit was constructed and tree categories were formulated: ideas introduced in the activities, ideas represented in drawings and 3D models, and the role of the teacher.

The results shows that the ideas represented by students are influenced by the intention of the teacher, the kind of semiotic resource, the social negotiation and the context of the activity. The ensemble of representations creates a narrative story that allows students to explain theoretically and to model the phenomena studied.

The teacher has a central role, specially her questions and instructions, the kind of semiotic resource she demands, the regulation process and the social negotiation of the representation she generates.

In this work the analysis of drawings and 3D models elaborated by students were useful to follow the construction of explanations and the modeling process in relation to the entities of the model the students construct, and this, together with the discourse analysis, allows the understanding of the interaction students-teacher and the social process in which modeling is inserted in this classroom.