

# La elaboración de representaciones modélicas para aprender ciencias naturales



Laura Cecilia Acevedo  
Universidad de Buenos Aires

Adriana Mabel Casamajor  
Universidad de Buenos Aires

Ana María Espinoza  
Universidad de Buenos Aires

Fecha de recepción: 14 de abril de 2021  
Fecha de aceptación: 20 de junio de 2021

## Resumen

Compartimos reflexiones producidas por un equipo de investigación didáctica sobre el trabajo intelectual que realizan los alumnos al producir representaciones no textuales para aprender Ciencias Naturales. En el marco de una secuencia didáctica diseñada por el equipo de investigación para enseñar cómo está constituida la materia, alumnos de séptimo grado realizan este tipo de producciones en una escuela pública primaria de la Ciudad de Buenos Aires. Sostenemos que el proceso que se desarrolla con el pedido de representaciones interviene en la externalización de las ideas que van construyendo los estudiantes y colabora con la movilización y evolución de diferentes aspectos conceptuales sobre el objeto de enseñanza, contribuyendo al aprendizaje de los contenidos disciplinares que, desde nuestra perspectiva, involucra aproximaciones al concepto de modelo en un dominio específico de conocimiento.

**Palabras clave:** modelos; representaciones no textuales; aprendizaje; enseñanza de las Ciencias Naturales; escuela

## Producing model representations to learn science

### Abstract

We share reflections produced by a didactic research team on the intellectual work that students do when producing non-textual representations to learn Natural Sciences. Within the framework of a didactic sequence designed by the research team to teach how the subject is constituted, seventh grade students carry out this type of productions in a public primary school in the City of Buenos Aires. We maintain that the process that is developed with the request for representations intervenes in the externalization of the ideas that students are building, collaborates with the mobilization and evolution of different conceptual aspects about the teaching object, contributing to the learning of the disciplinary contents that, from our perspective, it involves approaches to the concept of model in a specific domain of knowledge.

**Keywords:** model; non-textual representations, learning; science education; elementary school

## Presentación

Queremos comunicar en este artículo las conclusiones elaboradas en una investigación didáctica en la que estudiamos el proceso de evolución de las concepciones de alumnos de escuela primaria sobre la discontinuidad de la materia<sup>1</sup> en una secuencia de enseñanza en la que se ven confrontados, en distintos momentos, a producir representaciones no textuales<sup>2</sup> acerca de cómo conciben su constitución.

Las representaciones externas —tales como escrituras, expresiones matemáticas, esquemas, gráficos, imágenes en general— son constitutivas de la producción y comunicación del conocimiento de las Ciencias Naturales. En la historia de estas ciencias abundan ejemplos en los cuales los investigadores han recurrido a imágenes, metáforas y modos de nombrar de circulación habitual en la cultura para implementarlos como mediadores —en un uso interpretativo del lenguaje— en el complejo camino de producción de nuevas ideas (Sutton, 2003, 2012). Se ha encontrado que el reconocido papel que la elaboración de modelos y los diferentes sistemas representacionales tienen en el desarrollo del conocimiento científico (Giere, 2004) también intervienen en el desarrollo cognitivo de los sujetos (Salsa y Peralta, 2010; Martí, 2012). Siguiendo a Martí (2003), la capacidad de crear y utilizar estos instrumentos semióticos modifica en forma sustancial el funcionamiento cognitivo y posibilita la transmisión de significados y prácticas culturales de una comunidad.

Estas consideraciones han llevado a estudiar su incorporación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Márquez y Prat, 2005; Giudice y Galagovsky, 2008; Lombardi, Caballero y Moreira, 2009; Cook, 2011; Grilli, Laxague y Barboza, 2015), aunque con diferentes perspectivas: algunos se han focalizado en señalar la necesidad de su inclusión (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009; Ainsworth, Prain y Tytler, 2011; Garavaglia, 2015; Grilli, Laxague y Barboza, 2015); otros refieren a la elaboración de representaciones como oportunidad para que los alumnos expliciten sus ideas (Tamayo Alzate, 2006, 2013; Gómez Llombart y Gavidia Catalán, 2015); también se ha estudiado su fertilidad cuando se constituyen en un recurso a cargo del profesor para favorecer sus explicaciones (Díaz Barriga y Hernández Rojas, 2004; Galagovsky, Di Giacomo y Castelo, 2009); otros han caracterizado las funciones que suelen asumir estas representaciones en la enseñanza y en los libros de texto (Cook, 2011; Tapia Luzardo y Artega Quevedo, 2012); también están quienes se centran en analizar la relación entre diferentes sistemas representacionales (Maturano, Aguilar y Núñez, 2009). Aún son pocos los trabajos que se detienen a considerar las condiciones de enseñanza que posibilitan la evolución de ideas cuando los alumnos producen representaciones no textuales en el marco de secuencias de enseñanza y en el análisis de su contribución a la reorganización del conocimiento (Justi, 2006; Espinoza, Casamajor y Muzzanti, 2010; Espinoza *et al.*, 2012; Gómez Galindo, 2013).

Además de las razones teóricas recién enunciadas para desarrollar nuestra investigación, encontramos como fundamento de peso —si bien de otro orden— el reconocimiento de que, en la enseñanza habitual, los diferentes sistemas de representación suelen ocupar un lugar ilustrativo, como “facilitadores” en la comunicación del conocimiento validado, por no advertirse la complejidad conceptual que estos suponen para los alumnos. Este modo de entender su sentido es solidario con una concepción según la cual las

1 Específicamente nos proponemos que los alumnos se aproximen a la idea de que la materia está constituida por unidades invisibles y en continuo movimiento en todos los estados de agregación, que interpreten el comportamiento de las mismas en cada uno de estos casos y el proceso que interviene en los cambios de estado.

2 Existe una importante dispersión en los modos de nombrar las representaciones en el área de Ciencias Naturales: gráficos, imágenes, representaciones figurativas, no figurativas, icónicas, pictóricas, modélicas. En nuestro caso, optamos por seguir la denominación de Lombardi, Caballero y Moreira (2009) como representaciones *no textuales* o modélicas o, de manera más general, como representaciones sobre el papel (Espinoza *et al.* 2012).

relaciones conceptuales implicadas en el objeto de enseñanza pueden aislarse de los sistemas de representación inherentes a estas. Tomar en cuenta ambas consideraciones nos lleva a conceder valor al estudio y la comunicación de nuestros análisis sobre situaciones donde los alumnos avanzan en la producción de sus propias representaciones no textuales y a favorecer las relaciones existentes entre los conceptos y su modelización.<sup>3</sup>

En nuestra investigación abordamos especialmente el trabajo con representaciones no textuales de carácter explicativo que atienden aspectos no observables del fenómeno en estudio, pero que pueden ser imaginados o pensados al considerar los datos relevados durante un trabajo en la clase. Nos detendremos en el estudio de las *condiciones didácticas* con las que se propicia la elaboración de representaciones externas por parte de los estudiantes en los que la función epistémica está sostenida por la puesta en juego y la profundización de ideas para referir a aquello que “no se ve” (Espinoza *et al.*, 2012; Luppi, Acevedo y Casamajor, 2018). La expresión condiciones didácticas refiere a los criterios que intervienen para concebir situaciones que contribuyen a instalar un *contrato didáctico* —atribución de roles y responsabilidades de docentes y alumnos (Brousseau, 2007)— en el estudio de un tema y que, por lo tanto, afectan su aprendizaje. Señalamos en este caso: el tiempo de la enseñanza con relación al del aprendizaje; la habilitación a los alumnos a realizar sus propios diseños sin que sea requisito la aprobación del docente; la manifiesta intención en las intervenciones docentes de comunicar el sentido de la propuesta y de orientar el trabajo; el favorecimiento del intercambio de ideas entre los niños; la instalación de una memoria de la clase que permita ir y volver entre las diferentes situaciones que se presentan.

Veinte años de investigación en procesos de lectura y escritura para aprender contenidos disciplinares, en los que también se incluyeron otros sistemas de representación, nos permitieron advertir que en situación de aprendizaje de las Ciencias Naturales en la escuela existe una fuerte diferencia en el trabajo intelectual que realizan los estudiantes cuando se les presentan imágenes convencionales propias de las disciplinas científicas —por ejemplo, aquellas que figuran en los textos expositivos que se leen en clase— y cuando se les pide que las construyan. Esta diferencia, entre leer representaciones y producirlas, nos condujo a sostener la importancia de hacer transitar a los estudiantes por situaciones que requieran su elaboración. El desafío que se enfrenta cuando hay que tomar decisiones para diseñar una representación —qué se muestra, con qué símbolos, qué significado se les otorga, qué no se consigue mostrar— es muy distinto del que se siente cuando se trata de entender qué comunica una inscripción realizada por otros.

Nos focalizaremos tanto en las condiciones didácticas en las que se solicita a los alumnos esta producción en íntima relación con otras situaciones de enseñanza (la lectura de textos, la producción escrita vinculada al trabajo experimental y el intercambio oral), como en la movilidad que se suscita en las ideas que los alumnos van desplegando a partir de tal producción.

Partimos de considerar que la inclusión del trabajo con representaciones no textuales en el aula no es sinónimo de apropiación conceptual. Por el contrario, nos interesa problematizar la presencia y el significado de los sistemas representacionales en la enseñanza, proponer maneras que colaboren en la reorganización del conocimiento y destacar la necesidad de encontrar modos más ajustados de analizar su funcionamiento dentro de una propuesta didáctica. Queremos destacar que tomar como objeto de análisis la producción de representaciones en clase procura comprender qué ocurre

<sup>3</sup> Si bien otorgamos valor didáctico al hecho de recorrer este camino, no desestimamos que, con las intervenciones docentes pertinentes, los alumnos puedan aproximarse a la comprensión de aquello que se comunica en una representación elaborada por otros, de uso frecuente en los textos.

con la apropiación conceptual *durante y a partir de* esta elaboración. Este interés nos lleva a distanciarnos de los análisis sobre el aprendizaje basados en tests previos y posteriores a la enseñanza que no conceden lugar al proceso de elaboración de tales representaciones porque, si bien los modelos suponen una selección teórica de los fenómenos, no son meramente su figurativización,<sup>4</sup> ni implican una relación directa entre modelo y conceptualización.

A continuación, brindamos orientaciones teóricas relativas a la naturaleza de los sistemas representacionales, a la concepción de conocimiento, de enseñanza y de aprendizaje en la que se sustenta nuestra investigación. Presentamos luego las orientaciones metodológicas siguiendo los lineamientos de la Ingeniería Didáctica (Artigue, 2002) y la secuencia didáctica estudiada, que fue diseñada para enseñar cómo está constituida la materia a alumnos de séptimo grado de nivel primario de la escolaridad que nunca recibieron enseñanza formal sobre el tema. Incluimos finalmente un análisis del trabajo con las representaciones que realizaron los niños.

## Orientaciones y discusión teórica

La producción de conocimiento en Ciencias Naturales está indiscutiblemente asociada a la elaboración y reelaboración de modelos que juegan un papel central en el desarrollo de razonamientos que tienen por objetivo interpretar, predecir y explicar los fenómenos naturales. Los modelos científicos se vinculan a teorías, sugieren hipótesis y ayudan a construir nuevas ideas. Diferentes estudios (Hesse, 1966; Giere, 1988; Lombardi, 1998; Adúriz Bravo y Ariza, 2014) sostienen que los modelos en las ciencias fácticas son sistemas abstractos y simplificados que median entre la teoría y lo real donde algunos aspectos involucrados pueden ser desestimados en función de las hipótesis de partida y de las preguntas que orientan el trabajo científico. La modelización es un modo de razonamiento humano que adquiere ciertas especificidades en función de las prácticas culturales y los propósitos de quien busca conocer (Vosniadou, 2013; Passmore, Svoboda y Giere, 2014). Nersessian (2008) considera que la creación de modelos resulta central en la solución de problemas y en el avance del conocimiento.

En tanto las representaciones externas involucran aspectos del mundo físico que se encuentran bajo estudio y se vinculan con las conceptualizaciones de una disciplina; su relación con el razonamiento basado en modelos merece un análisis detenido desde el punto de vista del aprendizaje en contextos escolares. El pedido de elaboración de representaciones colabora con la construcción del carácter modélico del conocimiento científico en la medida en que constituye el medio en el que este se expresa. Tal elaboración involucra una interacción entre los modelos mentales disponibles, una selección de datos sobre el sistema real en estudio y la externalización de ideas que se plasman en el papel con intencionalidad explicativa.

Con la intención de comunicar mejor nuestra postura consideramos la siguiente situación. Cuando se lee un texto de Física donde aparece una ilustración —de apariencia sencilla— como la de la Figura 1, ¿qué es lo que se representa? Desde la perspectiva del conocimiento disciplinar la imagen es una construcción modélica que “muestra” las fuerzas que interactúan en un sistema.

<sup>4</sup> Tomamos este término de la Semiótica en la que la figurativización alude al mecanismo por el cual las figuras le dan “concreción” y efecto de realidad al discurso; mientras más figurativo es el discurso, más “real” se siente.

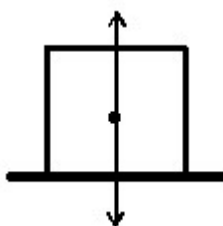


Figura 1. Sistema de interacción de fuerzas.

Las flechas forman parte de un lenguaje que contribuye a interpretar la realidad y comunicar conocimiento de un modo convencional, pero esta lectura no resulta nada obvia para los alumnos. A diferencia de los físicos, ellos se encuentran estudiando los conceptos que permitirán otorgar significado a una ilustración constitutiva de una explicación disciplinar. Los conceptos denotan no observables, algo claramente no explícito: la flecha que se dirige a la Tierra representa la fuerza peso, de carácter bastante intuitivo pero la flecha que va en sentido contrario “muestra” la reacción del objeto sobre el que se apoya el cuerpo, de carácter claramente antiintuitivo. Para los estudiantes es una incógnita; para los físicos, la representación “explica” que el objeto no se desliza.

Con este ejemplo intentamos llamar la atención sobre la importancia de problematizar las representaciones no textuales que circulan en el área dada la carga conceptual que conllevan. Su carácter explicativo reside en el propósito con el que fueron elaboradas y con el que resultan interpretadas por quien conoce del tema y puede reponer lo no dicho/lo no explícito. La cuestión agrega complejidad a la enseñanza y al aprendizaje conceptual. Diremos entonces que las representaciones no textuales en el campo de las Ciencias Naturales involucran una construcción modélica —con referencias más o menos analógicas a la realidad— y que solo pueden caracterizarse en base a una teoría más general del conocimiento, concebida como una construcción y no como una lectura directa de la realidad (García, 2000).

Cómo se elaboran y utilizan las representaciones en las ciencias constituye un horizonte para reflexionar acerca del lugar que pueden ocupar en los procesos de enseñanza que promueven aprendizajes intelectualmente activos en la escuela, y acerca de las condiciones que posibilitan una implementación didáctica productiva.

Varios autores aportan herramientas teóricas que permiten sostener nuestra perspectiva didáctica. Desde la epistemología semantista, Giere (2004) enuncia que los modelos se crean con un propósito y adquieren especificidad en función del contexto en el que se originan y se utilizan.

Desde un enfoque cognitivo Greeno (1988) señala que la habilidad de construir modelos mentales es una característica del conocimiento humano que posibilita el razonamiento generativo en situaciones novedosas. Moreno *et al.* (1998) —quienes dialogan con aportes de la teoría piagetiana y la de Johnson Laird (1983)— sostienen que las explicaciones que los sujetos producen sobre contenidos específicos constituyen modelos organizadores que, como tales, involucran *centraciones conceptuales*<sup>5</sup> en las cuales se aíslan ciertos atributos y se ignoran otros. En palabras de estas autoras, los

<sup>5</sup> El término *centración* fue utilizado en la teoría piagetiana para referir a un rasgo característico del pensamiento preoperatorio en el que los niños pueden pensar solo en un aspecto del objeto de conocimiento a la vez. Este término fue luego extendido por Moreno *et al.* (1998) para dar cuenta de la selección de atributos, con diferente grado de pertinencia, que los sujetos realizan cuando construyen modelos organizadores en sus explicaciones.

“datos proceden de las percepciones, de las acciones (tanto físicas como mentales) y del conocimiento en general que el sujeto posee sobre una situación dada, así como de las inferencias que a partir de todo ello realiza” (1998: 68). También, desde una perspectiva cognitiva, Vosniadou plantea: “Cuando las personas razonan sobre el mundo físico generalmente construyen representaciones externas, sobre todo en situaciones donde el problema no puede ser resuelto mediante información previamente almacenada, ni deducido a partir de información verbal” (2013: 22).

Las orientaciones teóricas presentadas resultan relevantes para explorar en un contexto didáctico las ideas que los alumnos van construyendo cuando estudian cómo está constituida la materia, así como para analizar las movilizaciones que tienen lugar en las diversas interacciones que se propician con el objeto de enseñanza. Todas las consideraciones incluidas nos llevan a reflexionar desde el punto de vista didáctico sobre el momento —entendido como el estado de conocimiento del que disponen los alumnos— y la intencionalidad con la que se solicita su elaboración. Proponemos entonces un dibujo no realista (representación no textual) para explicar, en interacción con el medio didáctico que se ofrece, un fenómeno natural en estudio. Sostenemos que externalizar las ideas sobre el papel, favorecer las discusiones durante su elaboración, la interacción de cada estudiante con su producción y los intercambios en el grupo clase permiten describir e interpretar centraciones conceptuales de estas elaboraciones que no solo presentan diferentes grados de pertinencia, sino que se muestran necesariamente distantes de la representación que ofrece la ciencia.

### Enfoque teórico-metodológico

La investigación se encuadra en un tipo de estudio cualitativo —descriptivo-interpretativo—, y sigue los lineamientos de los estudios de caso. Involucra la construcción, implementación y análisis de secuencias de enseñanza estudiadas en situación de clase con análisis preliminares, *a priori* y *a posteriori*; e incluye el diseño, realización y análisis de entrevistas clínico-didácticas. Se realizan además observaciones no participantes, se producen registros de todas las clases y se recopilan —fotocopiadas— las producciones elaboradas por los alumnos. Los análisis entrelazan los datos proporcionados por los registros de la observación, de las producciones de los alumnos y de las reuniones con el docente.

El trabajo se ubica en una visión no prescriptiva de la producción didáctica; la preocupación radica en comprender qué vínculo pueden establecer los alumnos con el saber en el marco de la secuencia diseñada que gestiona el docente a cargo de los alumnos. Se dedica especial atención a la relación entre los aprendizajes de los estudiantes y las condiciones didácticas en las cuales se propician las interacciones a propósito del contenido. Se reconoce la complejidad y contingencia del sistema didáctico por lo que no se pretende otorgar una relación lineal de causa-efecto a las condiciones didácticas analizadas, aunque sí entendemos que intervienen en la actividad intelectual de los alumnos.

La secuencia didáctica diseñada por el equipo de investigación para enseñar la constitución de la materia fue puesta en aula en un total de seis cursos de tres escuelas diferentes y a cargo de tres docentes. En esta oportunidad, tomaremos como caso la última implementación realizada en una escuela pública de la Ciudad de Buenos Aires en la que se trabajó con dieciocho alumnos durante ocho clases. La propuesta experimental fue realizada en el aula porque la institución no disponía de un espacio de laboratorio. Asumiendo que la construcción de conocimiento involucra una interacción entre el sujeto que conoce y el objeto de conocimiento (García, 2000; Castorina,

2012), la secuencia está constituida por diferentes situaciones de enseñanza (lectura, escritura, representación, experimentación) consensuadas con la docente, que tienen el propósito de ofrecer a los alumnos variadas situaciones de interacción y aproximación al objeto. Señalamos que los conceptos involucrados en este tema resultan exigentes por el carácter antiintuitivo, el nivel de abstracción que presentan y por la distancia con las preguntas e intereses que habitualmente tienen los estudiantes. Por estas razones, la propuesta requiere un intenso trabajo didáctico para involucrar a los alumnos en el tema. Esquemáticamente se trata de los siguientes momentos:

- » Lectura de un fragmento del capítulo “La materia”, incluido en el libro *Átomo. Viaje al cosmos subatómico*, de Isaac Asimov (1992). Discusión en el grupo clase.
- » Realización de un experimento: observación, manipulación, pesaje, calentamiento y descripción de los cambios de estado de un trozo de cera de vela (parafina). Discusión sobre posibles explicaciones de lo ocurrido.
- » Escritura grupal de relatos de la experiencia. Lectura de los relatos y discusión para alcanzar nuevos acuerdos.
- » Discusión sobre las argumentaciones que cada grupo ha elaborado y producción de representaciones gráficas sobre las posibles “modelizaciones”.
- » Propuesta de un nuevo experimento: observación de gránulos de yodo, calentamiento y descripción de los cambios de estado que se producen. Discusión sobre las explicaciones del fenómeno y su relación con el calentamiento de parafina.
- » Lectura de un fragmento del capítulo “La naturaleza que no vemos”, incluido en *El libro de la naturaleza y la tecnología* (Frid et al., 1998). Discusión en la clase acerca de la relación entre lo que propone el texto y la explicación de cada grupo.
- » Realización de nuevos experimentos cuando los alumnos ya se aproximan a las ideas aportadas por el conocimiento científico acerca de la discontinuidad de la materia. Cada grupo realiza un experimento diferente, que debe registrar para poder explicar luego a los demás compañeros.

### Análisis de la implementación de la secuencia diseñada

Compartimos a continuación el análisis de un caso —entre los varios en los que la secuencia fue implementada en séptimo grado—. Como ya mencionamos, las ideas acerca de cómo está constituida la materia —inobservable— ofrecen gran complejidad conceptual a la mayoría de las personas no familiarizadas con las Ciencias Naturales. La historia de la evolución de este conocimiento requirió superar el denominado “horror al vacío”, lo que constituye un reconocido obstáculo epistemológico en la historia de la ciencia (Bachelard, 1988) y en su aprendizaje (Gómez Crespo y Pozo, 2017). Al mismo tiempo, otorgamos valor a iniciar su estudio en la escuela primaria porque la teoría involucrada es central para una comprensión constructiva del área, lo cual supone realizar un análisis didáctico de las ideas que serán objeto de enseñanza. Estas consideraciones llevaron a definir como contenidos: que la materia está constituida por invisibles unidades (partículas) en permanente movimiento cualquiera sea su estado de agregación (sólido, líquido o gaseoso), y los modelos científicos para dichos estados.<sup>6</sup> La decisión de no incluir la existencia de vacío entre partículas obedeció al reconocimiento de su excesiva dificultad para niños de este nivel de la escolaridad.

<sup>6</sup> La observación de objetos cotidianos permite pensar en la materia como un continuo. Es difícil concebir que algo sólido —una pared, una mesa— pueda estar constituido por inobservables unidades en permanente movimiento, tal como propone la teoría científica.

### ***Primeras aproximaciones centradas en el material***

Presentamos a continuación un fragmento de un registro de la primera clase. Los intercambios tienen lugar durante la lectura de unos párrafos del texto de Isaac Asimov en el que el autor propone una situación especulativa como lo es partir y volver a partir un guijarro imaginando si habrá un límite a ese procedimiento. ¿Hasta dónde se puede partir la materia? Con esta pregunta se presenta un tema de estudio sobre el que habitualmente los alumnos no se han interrogado. Al finalizar la lectura, los estudiantes discuten acerca de lo que el autor quiso comunicar:

lara [leyendo]: —¿existe algún fin a eso?

Sol: —sí te lo imaginás no, porque cada vez la vas rompiendo más.

lara: —no hay fin si te lo imaginás.

Docente: —¿por qué no hay fin si te lo imaginás?

lara: —porque seguís imaginando, siempre vas a estar pensando que puede haber partículas y vos vas a seguir.

Sol: —no se termina porque no tiene fin.

Camila: —yo no lo puedo imaginar porque no lo imagino tan chiquitito, tenés que verlo con algo...

El fragmento tomado de la conversación en la clase permite inferir que los alumnos realizan una interpretación, habitual y esperada: solo se puede partir aquello que se ve y se manipula. Lara y Sol entienden que pueden imaginar libremente y que siempre se puede seguir partiendo el material, aun cuando esto no sea factible en la realidad. Camila alude a la imposibilidad de imaginar lo que nunca vio; no considera como posibilidad la propuesta especulativa del autor del texto.

Los estudiantes presentan una mirada continua sobre la materia al iniciar la secuencia didáctica, cuestión reconocida por el estudio de numerosas publicaciones (Pozo y Carretero, 1987; Andersson, 1990; Driver, Guesne y Tiberghien, 1992; Harrison y Treagust, 2002). No han abordado este contenido previamente en la escolaridad y —naturalmente— no han siquiera imaginado que un material cualquiera pueda estar constituido por inobservables partículas indivisibles, separadas entre sí y en movimiento.

Para comenzar a desnaturalizar primeras ideas y a problematizar la pregunta formulada —¿hasta dónde se puede partir la materia?— la secuencia diseñada tiene previsto una segunda situación de enseñanza: los alumnos realizan un experimento<sup>7</sup> que consiste en observar, manipular, pesar el sólido, calentar y describir los cambios de estado de un material —trozo de cera de vela, parafina— que se entrega sin anunciarles cuál es, y pesar el líquido. Los estudiantes intentan responder interrogantes que plantea la docente durante la situación experimental: ¿cómo se podría explicar que el calor provoque que algo sólido se transforme en líquido y luego en vapor? Y, aunque no lo podamos observar, ¿pueden imaginar qué pasa en el interior del material? Estas preguntas apuntan a que los alumnos fundamentalmente expliquen, que comiencen a pensar sobre lo que “no se ve”, y no solo describan lo que están observando (Espinoza *et al.*, 2012). No se pretende que ellos arriben —ni se aproximen— a la respuesta científica a esta altura de la secuencia, sino que aporten sus primeras interpretaciones, aquello que piensan. Otorgamos valor a la emergencia de las ideas infantiles en clase y a un tratamiento respetuoso de los tiempos de esta elaboración debido al significado didáctico que portan, en la medida en que constituyen posibles puntos de anclaje o de revisión para apropiarse de las ideas aportadas por la ciencia.

<sup>7</sup> El experimento mencionado constituye la propuesta de base. En algunas ocasiones, como en este caso, se evaluó la conveniencia de proponer otras situaciones experimentales.



Los alumnos escriben notas sobre la experiencia, que luego leen y discuten durante una situación de escritura colectiva (Espinoza *et al.*, 2012) con la intención de alcanzar nuevas interpretaciones sobre lo ocurrido durante el experimento. La docente interviene para ayudar a diferenciar la descripción de una explicación sobre lo observado (*ibidem*).

Durante las interacciones orales que se producen en la situación experimental y en la escritura colectiva las interpretaciones que producen los alumnos dan cuenta de que todavía están muy lejos de poder aproximarse a la idea de discontinuidad. Encontramos consonancia con otros estudios (Oliva Martínez y Aragón, 2007) cuando refieren a que presentar a los estudiantes modelos ya elaborados con la intención de generar la sustitución en los propios o proponer el trabajo con analogías, puede dar lugar a interpretaciones muy distanciadas de las que persigue el docente y que es necesario analizar el proceso que tiene lugar en la clase para evaluar cuándo proponerlos.

La evaluación del estado de conocimiento de los niños en este momento de la secuencia nos llevó a orientar el trabajo hacia discusiones que, estratégicamente, se proponen para generar un clima de debate en la clase ya que abordan cuestiones sobre las que pueden pensar con mayor facilidad que sobre la constitución de la materia: de qué material se trata; si sigue siendo el mismo cuando se lo somete al calor; y si se mantiene el peso en estado sólido y líquido (Tabla 1). Incluimos esta consideración en el conjunto de condiciones didácticas con las que se concibe la propuesta, específicamente en este caso, al tiempo de la enseñanza y el tiempo de aprendizaje.

| Principales discusiones                             | Interpretaciones de los estudiantes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿De qué material se trata?                          | Es pegamento seco: porque una vez tenía un envase de pegamento y se me secó [es parecido].<br>Es cera de vela: por el olorcito/porque estaba líquida y después se puso de nuevo sólida, entonces era una vela.                                                                                                                                                                                                                   |
| ¿Es el mismo material cuando se lo somete al calor? | Es el mismo material que se derrite y cambia de estado sólido a líquido.<br>No es el mismo material, cuando pasa a estado líquido se vuelve agüita.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ¿Se mantiene el peso cuando se lo somete al calor?  | Va a pesar igual porque es el mismo material, pero en diferentes estados.<br>Cuando pase a estado líquido va a pesar menos: porque el sólido es más pesado y el líquido más livianito/cuando se vuelve líquido el material se achica/los líquidos pesan menos.<br>Cuando se lo calienta por más tiempo va a pesar menos porque sale vapor/humito y se va parte del material.<br>No va a pesar nada porque los líquidos no pesan. |

Tabla 1. Principales discusiones e interpretaciones desplegadas por los estudiantes en los intercambios orales durante la situación experimental y de escritura colectiva.

Los intercambios propiciados en la clase suponen actualizar concepciones acerca de los cambios de estado, más familiares para los estudiantes, ya que constituyen interpretaciones basadas en aspectos observables con más posibilidades de constatación experimental.

A esta altura del desarrollo de la secuencia, la clase aún está lejos de suscribir a una concepción —la continuidad o la discontinuidad de la materia—. Sin embargo, es posible reconocer algunos posicionamientos de los estudiantes:

- » En la situación de lectura inicial puede apreciarse el carácter de continuidad que le otorgan a la posibilidad de partir indefinidamente un material si se apela a la imaginación, no así a su factibilidad práctica.
- » Al cotejar y argumentar sobre la situación experimental algunos conciben que al someter el material —trozo de parafina— al calor este sigue siendo el mismo y que lo que cambia es el estado de agregación.
- » Al pesar el sólido y el líquido se reconoce que se conserva la cantidad de materia. Por otro lado, cuando se lo somete al calor durante más tiempo algunos mencionan que pesará menos porque en el “vapor” o en el “humito” “se va parte del material”.
- » Para describir el humito mencionan que la parafina se *abre* originando una nube de partecitas o cositas muy pequeñas.

Le conferimos valor a estas interpretaciones porque algunos estudiantes están otorgándole condición de materia a ese “humito”, cuando frecuentemente no suelen concebirlo como tal. Refieren a “partes” del material, noción que se vincula con expresiones que circularon en la clase tales como “átomos”, “granitos”, “partículas de polvo”, sin que necesariamente entiendan el significado que estas denominaciones adoptan en el área.

Estas primeras aproximaciones “exigieron” —desde un abordaje didáctico en el que se reflexiona acerca de las condiciones en las que se encuentran los niños para comprender la propuesta— la presentación de una nueva situación experimental; la dificultad de la propuesta nos llevó a ofrecer otra oportunidad para favorecer la comprensión de los niños. Se eligió un trabajo en el que se sometieron gránulos de yodo sólido al calor. Tal elección obedeció a que el vapor que se desprende es de color violeta, condición que ayudaría a otorgarle entidad de materia. Las transformaciones físicas que los estudiantes aprecian cuando los gránulos de yodo son sometidos al calor y pasan a estado líquido y luego a gaseoso, propician una nueva discusión: ¿el material será el mismo por fuera y por dentro? No es clara la razón de una cierta insistencia de los alumnos acerca del material por “dentro y por fuera” y debemos interrogarnos acerca de si es un problema didáctico vinculado al lenguaje utilizado en intervenciones en las que se refiere a la intimidad del material en términos del “interior de la materia”.

Como puede apreciarse hasta aquí, los estudiantes se centran en el material: si será y pesará lo mismo al ser sometido al calor, si será igual por dentro y por afuera. En este escenario se propone la elaboración de representaciones no textuales.

### ***Aproximaciones animistas y continuas a la constitución de la materia***

Solicitar a los alumnos que dibujen algo que no pueden observar a simple vista ni con instrumentos es un desafío intelectual exigente. Se les aclara que no dibujen el pedacito de parafina o de yodo o el “humito”, sino “lo que no se ve”. La consigna es difícil de comunicar y de interpretar ya que los alumnos nunca transitaron una situación de esta naturaleza. La evaluación realizada *a posteriori* de la puesta en clase por nuestro equipo de investigación junto con la docente es que si bien resultaba muy exigente muchos alumnos estaban en condiciones de iniciar este trabajo, cuestión que atribuimos al recorrido realizado en la secuencia de enseñanza. Algunos estudiantes habían explicitado en la primera clase que no se podían imaginar lo que no “habían visto” pero la docente los convocó a que lo repensaran después de haber transitado las situaciones de enseñanza mencionadas.

El análisis de las producciones que los estudiantes realizan sobre el papel, incluyendo las anotaciones que espontáneamente acompañan sus dibujos, junto con las interacciones orales que se producen durante esta elaboración y las explicaciones que brindan sobre lo representado al resto de sus compañeros, permite identificar que apenas el 25% de la clase sigue representando solo aquello que efectivamente “ve”. Este grupo de estudiantes aún sostiene una centración conceptual en el material trozo de parafina o granulitos de yodo, la misma que sostenía el grupo total con anterioridad a la elaboración de las representaciones (Figura 2).

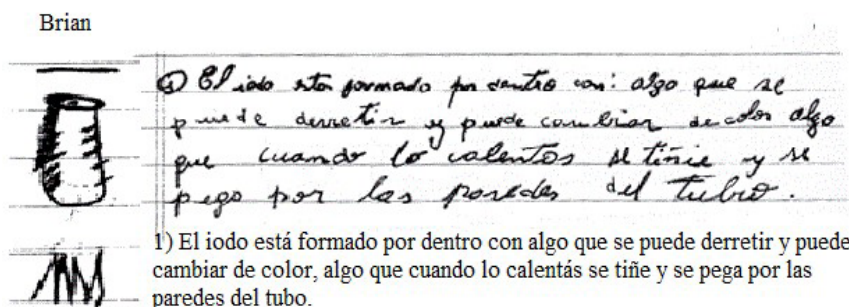
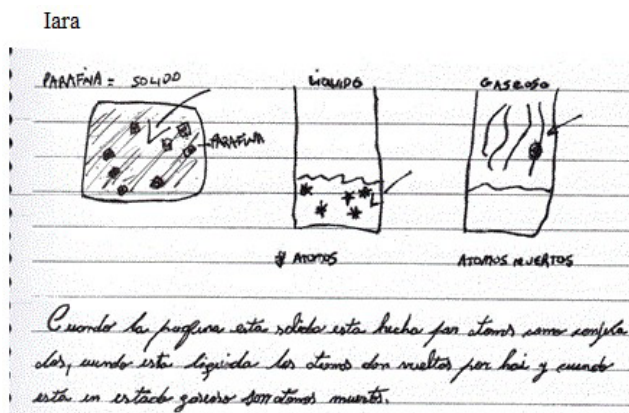


Figura 2. Los estudiantes producen representaciones centradas en los materiales, en lo observable.


Brian dibuja el fuego, el tubo de ensayo y parte de la sustancia que al pasar de vapor a sólido queda adherida a las paredes. Camila escribe “es sólido por dentro y por fuera”, lo que podría expresar una primera aproximación a pensar en la constitución interna de la materia. Hay una indiferenciación del plano macro y el submicroscópico (Gutiérrez, Crespo y Pozo, 2005).

En cambio, el 75% restante de la clase consigue representar aquello que “no se ve” y produce modelizaciones en las cuales la constitución de la materia se distingue de alguna manera del material observado (Figura 3). Esta diferenciación entre los planos macro y submicroscópico es una condición necesaria para que los alumnos puedan entender que tiene sentido discutir acerca de la continuidad o la discontinuidad de la materia y “muestra” una evolución de las ideas iniciales acerca de su constitución.



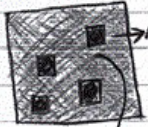
Cuando la parafina está sólida está hecha por átomos como congelados, cuando está líquida los átomos dan vueltas por ahí, y cuando está en estado gaseoso son átomos muertos.

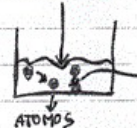
Camila

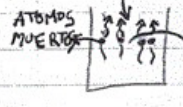
Parafina:  Parafina es sólida por dentro y por fuera.  
Es sólida porque es duro pero cuando  
pones agua se ablanda.

Parafina: Para mí es sólido por dentro y por fuera. Es sólido porque es duro pero cuando ponés agua se ablanda.

Martín

**PARAFINA SÓLIDA**  
 ATOMOS CONGELADOS  
 PARAFINA SÓLIDA POR DENTRO

**PARAFINA LÍQUIDA**  
 ATOMOS QUE SE MUEVEN  
 PARAFINA LÍQUIDA POR DENTRO

**PARAFINA GASEOSA**  
 ATOMOS QUE SE MUEVEN  
 PARAFINA GASEOSA POR DENTRO

Cuando la parafina está sólida por fuera, también está sólida por dentro y tiene átomos que están congelados. Cuando la parafina está líquida por fuera, está líquida por dentro y los átomos se descongelan y empiezan a moverse. Si la parafina recibe más calor del que tenía, los átomos se mueren porque no pueden recibir tanta temperatura y la parafina se convierte en gaseosa por dentro y por fuera.

Cuando la parafina está sólida por fuera, también está sólida por dentro y tiene átomos que están congelados. Cuando la parafina está líquida por fuera, está líquida por dentro y los átomos se descongelan y empiezan a moverse. Si la parafina recibe más calor del que tenía, los átomos se mueren porque no pueden recibir tanta temperatura y la parafina se convierte en gaseosa por dentro y por fuera.

Figura 3. Primeras representaciones sobre aquello que no se ve. El pasaje a lo microscópico “muestra” una aproximación a la discontinuidad.

La expresión utilizada por Martín “la parafina tiene átomos” nos permite pensar que está concibiendo la existencia de unas unidades *dentro* de la materia y no las visualiza como *constituyentes* de esta.

Ambos niños, Iara y Martín, refieren a átomos, cosas chiquititas, que les sirven para pensar sobre las situaciones propuestas. Posiblemente ellos tomen estas denominaciones de la divulgación social del conocimiento sin que tengan otro sentido que referir a algo pequeño. Para el estado sólido, Iara dibuja el trozo de parafina como un cuadrado y unas marcas dentro de este que representan átomos congelados. Para los estados líquido y gaseoso, estas marcas se modifican: asteriscos y luego círculos. Ello estaría indicando que los átomos sufren también transformaciones al igual que el material observado: la parafina que cambia de estado. La idea de otorgar el mismo comportamiento a lo macroscópico que a lo submicroscópico —alejada de la interpretación científica— es muy frecuente entre los alumnos (Oliva-Martínez *et al.*, 2003). Llama la atención que ella dibuje el mismo número de partículas en los tres estados. Lamentablemente, no llegamos a interrogar a esta alumna sobre esa conservación, sin duda interesante. Martín comunica que durante la situación experimental los átomos pasan de estar congelados a moverse y morir; se achican y su forma cambia a la vez que se producen transformaciones físicas en el material: en la parte superior de la imagen, cuadraditos, más abajo círculos más

pequeños y luego puntos. La utilización de expresiones tales como “los átomos se mueren porque no pueden recibir tanta temperatura”, claramente animista, es muy frecuente entre los niños, incluso de mayor edad, y fue estudiada por Piaget (1984) y por muchos otros investigadores (Pozo *et al.*, 1991; Driver *et al.*, 1992). El movimiento entre las partículas solo es representado con flechas en los estados líquido y gaseoso; en cambio cuando la materia está en estado sólido, las partículas no se mueven, cuestión bastante intuitiva y lógica desde el sentido común, aunque distante del conocimiento científico.

Veamos un fragmento de los intercambios orales que se produjeron entre Iara, Martín y la docente durante la elaboración de representaciones:

Docente: [a Iara] —¿y qué sería esto que hay acá adentro? [Señalando la primera representación de Iara].

Iara: —ehhh, la parafina, yo qué sé...

Docente: —y mirá, y acá, cuando está líquido hiciste estas cositas, ¿qué son?

Iara: —ahí, átomos.

Docente: —¿átomos?

Iara: —sí, ni idea...

Docente: —¿y cuando está acá [refiere al estado gaseoso], no están estos [refiere a los asteriscos que representan a las partículas en el estado líquido]?

Iara: —no...

Docente: [a Martín] —¿vos qué pensás de esto?

Martín: —y la verdad que no se me ocurre cómo puede ser un material por dentro si no lo conozco...

Docente: —Iara imaginó esto, ¿me lo contás? Dale, porque yo no sé lo que pensás...

Iara: —eso pienso, lo que puse, ahí, así está líquido y están los átomos por ahí, y después el cosito es cuando se mueren...

Docente: —ah, ¿acá es cuando los átomos se mueren? [Señala la parte de la imagen correspondiente al estado gaseoso].

Iara: —sí, se están muriendo, se están yendo...

Docente: —¿se están yendo como por acá? [señala el humito].

Iara: —claro, sí.

Docente: —pero acá no los pusiste, mirá...

Iara: —bueno, pero están muertos, te pongo, si querés te lo dibujo [agrega un círculo].

Este grupo de alumnos consigue producir una diferenciación entre el plano macro —el material observado— y el submicroscópico —la constitución de la materia—. Interpretamos como gran avance en el proceso de construcción de conocimiento concebir que es posible pensar sobre inobservables, cuestión que atraviesa la producción científica. Desde este punto de vista, admiten una cierta discontinuidad aun cuando parecen sostener que sobre ambos operan las mismas transformaciones: mientras el material se derrite, las partículas también lo hacen, se deforman o se descongelan —señalamos una movilización de las primeras ideas— y se mueren —cuestión que responde a una concepción animista—; si se mueve, está vivo. Los estudiantes inscriben sobre el papel marcas semejantes a las utilizadas en las representaciones modélicas convencionales —como círculos y cuadraditos que suelen estar presentes en los textos del área— pero atribuyen a las partículas el comportamiento macroscópico del material del que provienen.

### ***Aproximaciones al carácter modélico convencional de la materia***

Después de la elaboración de representaciones, los alumnos leen un texto (Frid *et al.*, 1998) en el cual se exponen ideas que aporta la ciencia sobre este tema. En las interacciones orales que se producen acerca de su interpretación, los alumnos expresan de manera todavía confusa que los materiales están constituidos por partículas invisibles. Algunos argumentan que se pueden partir hasta que sean una partícula; otros, mientras

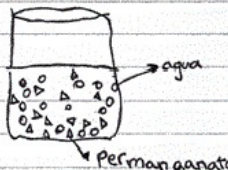
se pueda ver el material; otros, hasta que se vuelvan una partícula. Esta diversidad de ideas da cuenta de la dificultad de interpretar las informaciones que el texto aporta y de la necesidad de diseñar situaciones que permitan su discusión y avance. En este marco se propone una nueva escritura, en la que los alumnos deben explicar las experiencias realizadas. La escritura, los intercambios y las correcciones propician nuevos avances hacia el concepto de materia. Mayoritariamente comienzan a concebir que las partículas conservan su tamaño, cantidad y estructura en las transformaciones observadas a nivel macroscópico; esto involucra una nueva aproximación conceptual al objeto de enseñanza.

Finalmente, se presenta una nueva situación para repensar y afianzar las interpretaciones: cada grupo de alumnos realiza un nuevo experimento, que debe registrar y explicar por escrito. En esta consigna no se solicita que elaboren representaciones no textuales. No obstante, todas sus producciones las incluyen (Figura 4), lo que nos permite sostener que avanzaron en la comprensión del trabajo que se les solicitó: pueden pensar y hasta representar lo que no se ve.

Encontramos que al finalizar la secuencia los alumnos usan conceptos de la teoría para explicar nuevas situaciones experimentales, avanzan en la apropiación de la noción de modelo en la medida en que participan de su construcción y de un proceso de descentraciones sucesivas —ambos aspectos indisolubles desde el punto de vista disciplinar— e ingresan en los modos explicativos del área.

Camila

1) Cuando pusimos el permanganato de potasio en el agua y se despartamaron las partículas y después revolvímos y era de color lila.



1) Cuando pusimos el permanganato de potasio en el agua, se despartamaron las partículas y después revolvímos y era de color lila.

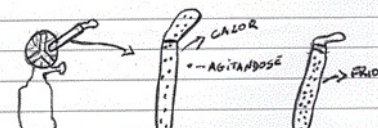
El agua está hecha de partículas y el permanganato también, entonces se juntaron las partículas de ambos y el permanganato tenía color y se tiñó el agua que es transparente.

El agua está hecha de partículas y el permanganato también, entonces se juntaron las partículas de ambos y el permanganato tenía color y se tiñó el agua que es transparente.

Iara

Calentamos un tubo que en la punta tenía una bombucha que se iba inflando.

Según la teoría: Calentamos el tubo y las partículas que estaban en el aire empezaron a agitarse y separarse, por eso se infla la bombucha.



Calentamos un tubo que en la punta tenía una bombucha que se iba inflando.

Según la teoría: Calentamos el tubo y las partículas que estaban en el aire empezaron a agitarse y separarse, por eso se infla la bombucha.

Figura 4. Representaciones modélicas sobre la constitución de la materia.

En ambos casos encontramos una separación entre la descripción —lo que hicieron— y la interpretación que propone la teoría, cuestión que aporta a la apropiación del concepto de modelo.

Las marcas utilizadas para representar las partículas no se deforman cuando se le entrega calor al material ni cuando se mezclan sustancias, lo que indica un avance en la diferenciación entre lo que se observa a nivel macroscópico y la interpretación submicroscópica. Es claro que todos los alumnos no alcanzan la misma conceptualización. Así, vemos en la representación de Camila —para la disolución de un soluto en agua— que ella refiere a que ambos, el agua y el permanganato, están *hechos* de partículas, lo cual entendemos como progreso en la conceptualización que interpretamos se relaciona con la variedad de situaciones por las que fue transitando a lo largo de la secuencia (las experiencias, los intercambios, las intervenciones docentes, las representaciones personales de los diferentes alumnos que se analizan y discuten, la lectura); tanto más porque se trata de un fenómeno no estudiado previamente y de mayor complejidad que los cambios de estado analizados. Aunque Iara utiliza la expresión *estaban en el aire* para referir a la composición particular del aire, entendemos que le otorga condición de materia en tanto representa a las partículas que se separan —para explicar la dilatación— y además aumentan su movilidad con la temperatura, conocimiento que solo estuvo presente en el texto.

La elaboración de representaciones modélicas permite actualizar las preguntas planteadas en el texto de Asimov, reconstruir los sentidos del experimento en relación con dichas preguntas y traccionar desde la enseñanza para imaginar algo que “no se ve”: la constitución y estructura de la materia.

## Conclusiones

Valoramos este trabajo como una exploración de un problema teórico-metodológico ya señalado en el campo de la psicología educacional (Lenzi, 2001; Castorina y Carretero, 2012) respecto a la posibilidad de estudiar cambios de orden conceptual en relación con las condiciones didácticas que se generan para la apropiación de los saberes en el contexto escolar.

Interpretamos que la secuencia diseñada contribuyó al aprendizaje constructivo de una noción alejada del universo de preguntas que suelen hacer los niños, que es abstracta (la constitución de la materia), lo cual involucra acercarse al carácter modélico de las explicaciones disciplinares, y a realizar aproximaciones a los sistemas externos de representación en un dominio específico.

Los alumnos tuvieron oportunidad de pensar críticamente un conocimiento que, al ser producido fuera de la escuela, llega ya elaborado, y corre el riesgo de ser asimilado como una verdad acerca de la cual no es posible adoptar un pensamiento propio, para entender qué es lo que dice, cuáles son sus alcances y su trascendencia. El ejercicio de imaginar propuesto con la lectura del texto de Asimov (1992) y luego solicitado en el momento de elaborar las primeras representaciones no textuales guarda cercanía epistemológica con lo que Einstein e Infeld (2011) resaltaron de la producción de Galileo cuando postuló el principio de inercia: este “no puede inferirse directamente de la experiencia, sino mediante una especulación del pensamiento, coherente con lo observado” (2011: 14).

La producción de representaciones modélicas en clase cumple una función epistémica en la producción de conocimiento en la escuela, en tanto colabora en el proceso de

descentración del punto de vista intuitivo sobre el material. Los estudiantes recorren un camino en el que movilizan ideas acerca de la posibilidad de imaginar algo que no es observable. Grafican y entienden qué significa la representación en un lenguaje de semiosis, donde una marca permite mostrar algo vinculado a un concepto. A medida que van transitando por las situaciones de enseñanza producen un uso novedoso de estos sistemas: involucran signos ya conocidos, pero en nuevas relaciones conceptuales. Tal elaboración no se produce a partir de contrastar primeras producciones con lo que “dice” la ciencia, sino en un ir y venir entre la observación de experimentos, las discusiones sostenidas, las interpretaciones —orales y escritas— que permitirían explicarlos, la lectura de un texto expositivo y la propuesta de realizar nuevas experiencias. Los estudiantes se acercan a los modelos que propone la ciencia al transitar un recorrido en el que se les pide elaborar sus modelizaciones. Cada situación de enseñanza que integra la secuencia se convierte en una oportunidad para revisar, ajustar las ideas y para repensar sus representaciones. El contrato didáctico instalado en las clases, que permitió a los alumnos asumir el desafío involucrado en la tarea, está fuertemente vinculado a las condiciones didácticas: contemplar un tiempo de enseñanza cercano al del aprendizaje, permiso para imaginar y poner en discusión sus ideas, confianza en las producciones de los alumnos que se manifiesta en intervenciones aprobatorias y estimuladoras de las posibilidades de entrar en el juego que se les propone. Consideramos que los análisis acerca de las condiciones que intervienen en el avance de estas producciones siguen siendo incipientes en la didáctica de las ciencias y que es necesario seguir indagando en tanto constituyen herramientas muy valiosas para interpretar e intervenir en los procesos de conocimiento que tienen lugar en la escuela. A este propósito, nos interesa contribuir.

## Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado dentro del proyecto UBACyT N° 20020170200167BA01, “El trabajo colaborativo entre docentes e investigadores: una producción de conocimiento didáctico sobre las situaciones de lectura y escritura para aprender Ciencias Naturales”, subvencionado por la Universidad de Buenos Aires. Sus integrantes son: Cecilia Acevedo, Adriana Casamajor, Susana Castronuovo, Facundo Dyszel, Ana María Espinoza, Patricia Luppi y Silvina Muzzanti. . Se agradece a Mariela Ochoa y a los alumnos que participaron de la secuencia didáctica estudiada. También se agradece la lectura crítica del Dr. José Antonio Castorina.



## Bibliografía

- » Adúriz Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para ciencia escolar. *Bio-grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7 (13): 25-34.
- » Ainsworth, S.; Prain, V. y Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333: 1096-1097.
- » Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education* (18)1: 53-85.
- » Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui? Les dossiers des Sciences de l'Éducation. Didactique des disciplines scientifiques et technologiques: concepts et méthodes. *Revue Internationale des Sciences de l'Éducation*, 8 (1): 59-72.
- » Asimov, I. (1992). *Átomo. Viaje a través del cosmos subatómico*. Barcelona, Plaza & Janes.
- » Bachelard, G. (1988). *La formación del espíritu científico*. México, Siglo XXI.
- » Brousseau, G. (2007). *Iniciación al estudio de la teoría de las situaciones didácticas*. Buenos Aires, Libros del Zorzal.
- » Castorina, J. A. (2012). *Psicología y Epistemología Genéticas*. Buenos Aires, Lugar editorial.
- » Castorina, J. A. y Carretero, M. (2012). Cambio conceptual. En Castorina, J. A. y Carretero, M. (comps.). *Desarrollo cognitivo y educación I. Los inicios del conocimiento*, pp. 71-96. Buenos Aires, Paidós.
- » Cook, M. (2011). Teachers' use of visual representations in the science classroom. *Science Education International*, 22(3): 175-184.
- » Díaz-Barriga, F. y Hernández Rojas, G. (2004). Estrategias de enseñanza para la promoción de aprendizajes significativos. En Díaz Barriga, F. (comp.). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México, McGraw Hill Interamericana.
- » Driver, R.; Guesne, E. y Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid, Morata.
- » Einstein, A. e Infeld, L. (2011). *La física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires, Losada.
- » Espinoza, A.; Casamajor, A. y Pitton, E. (2009). *Enseñar a leer textos de ciencias*. Buenos Aires, Paidós.
- » Espinoza, A.; Casamajor, A. y Muzzanti, S. (2010). Relaciones entre la lectura, las representaciones sobre papel y el aprendizaje de las ciencias. *Jornadas Nacionales de la Cátedra Unesco*, Universidad Nacional de Río Cuarto.
- » Espinoza, A.; Casamajor, A.; Muzzanti, S.; Acevedo, C. y Lifschitz, C. (2012). Las ciencias naturales en el aula: cuando los alumnos son convocados a representar sus ideas. *Novedades educativas*, 256: 36-44.
- » Espinoza, A.; Pitton, E.; Casamajor, A. y Azíz, C. (2012). Escribir para aprender ciencias naturales. Cuando los alumnos le dictan al docente. *III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, pp. 253-265. La Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata.

- » Frid, D.; Umerez, N.; Cerdeira, C.; Costa, A.; Costaguta, M.; Costaguta, M.; Frid, D.; Sturla, A.; Cerdeira, C.; Costa, A.; Domenech, G.; Umerez, N.; Falabella, V.; Gordillo, G.; Novik de Wolf, E.; Huberman, N. y Estebarena, C. (1998). La naturaleza que no vemos. En Frid, D. y Umerez, N. (coords.), *El Libro de la Naturaleza y la Tecnología* 8, pp. 151-152. Buenos Aires, Estrada.
- » Galagovsky, L.; Di Giacomo, M. A. y Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1): 1-22.
- » Garavaglia, M. V. (2015). Enseñar a mirar imágenes. *IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. Ensenada, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Departamento de Ciencias Exactas y Naturales.
- » García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona, Gedisa.
- » Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago, University of Chicago Press.
- » -----, (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71 (5): 742-752.
- » Giudice, J. y Galagovsky, L. (2008). Modelar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para la Escuela Media. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3): 629-657.
- » Gómez Crespo, M. Á. y Pozo, J. I. (2017). Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, (26): 117-139.
- » Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1): 11-28
- » Gómez Llombart, V. y Gavidia Catalán, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12 (3): 441-455.
- » Greeno, J. (1988). *Situations, mental models and generative knowledge*. Palo Alto, Institute for Research on Learning.
- » Grilli, J.; Laxague, M. y Barboza, L. (2015). Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12 (1): 91-108.
- » Gutiérrez, J.; Crespo, G. y Pozo, J. I. (2005). Utilización del modelo corpuscular de la materia. *Enseñanza de las ciencias* (Extra): 1-5.
- » Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. En Gilbert, J. K.; Jong, O. de; Justi, R.; Treagust, D. y Van Driel, J, H, (eds.). *Chemical education: Towards research-based practice*, pp. 189-212. Springer, Dordrecht.
- » Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame, University of Indiana Press.
- » Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge, Cambridge University Press.
- » Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (2): 173-184.
- » Lenzi, A. (2001). El cambio conceptual de nociones políticas: problemas, resoluciones y algunos hallazgos. En Castorina, J. A. (comp.). *Desarrollos y problemas en psicología genética*, pp. 213-252. Buenos Aires, Eudeba.

- » Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en ciencias*, 2 (4): 5-13.
- » Lombardi, G.; Caballero, C. y Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, 66: 147-186
- » Luppi, P.; Acevedo, C. y Casamajor, A. (2018). Las concepciones infantiles sobre fuerza en escenarios didácticos. *Quinto Encuentro de Investigadores en Desarrollo y Aprendizaje*, Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación. Rosario, Universidad Nacional de Rosario.
- » Márquez, C. y Prat, À. (2005). Leer en clase de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (3): 431-440.
- » Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid, Machado.
- » ----- (2012). Desarrollo del pensamiento e instrumentos culturales. En Carretero, M. y Castorina, J. A. (ed.). *Desarrollo cognitivo y educación II*, pp. 25-46. Buenos Aires, Paidós.
- » Maturano, C.; Aguilar, S. y Núñez, G. (2009). Conversión de imágenes al lenguaje escrito: un desafío para el estudiante de ciencias naturales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6 (1): 63-78.
- » Moreno, M.; Sastre, G.; Bovet, M. y Leal, A. (1998). *Conocimiento y cambio. Los modelos organizadores en la construcción del conocimiento*. Barcelona, Paidós.
- » Nersessian, N. J. (2008). Mental modelling, in conceptual change. En Vosniadou, S. (ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*, pp. 391-416. Nueva York, Routledge.
- » Oliva-Martínez, J. M. y Aragón Méndez, M. D. M. (2007). Pensamiento analógico y construcción de un modelo molecular para la materia. *Eureka*. 4 (1): 21-41.
- » Oliva-Martínez, J. M.; Aragón, M. D. M.; Bonat, M., y Mateo, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3): 429-444.
- » Passmore, C.; Svoboda Gouvea, J. y Giere, R. (2014). Models in science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. En Matthews, M. R. (ed.). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, pp. 1171-1202. Dordrecht, Springer Science.
- » Piaget, J. (1984). *La representación del mundo en el niño*. Madrid, Morata.
- » Pozo, J. A.; Sanz, A.; Crespo, G. y Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1): 83-94.
- » Pozo, J. I. y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y aprendizaje*, 10 (38): 35-52.
- » Salsa, A. y Peralta, O. (2010). La influencia cognitiva, cultural y educativa de las representaciones externas. *Revista IICE*, 21: 7-12.
- » Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (1): 21-25. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/1591>
- » ----- (2012). Writing and reading in science: The hidden messages. En Millar, R. (ed.). *Doing science images of science in science education*, pp. 137-159. Nueva York, Routledge.

- » Tamayo Alzate, Ó. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista educación y pedagogía*, 18 (45): 37-49.
- » ----- (2013). Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias* (Extra): 3484-3487.
- » Tapia Luzardo, F. y Arteaga Quevedo, Y. (2012). Selección y manejo de ilustraciones para la enseñanza de la célula: propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3): 281-294.
- » Vosniadou, S. (2013). Razonamiento basado en modelos y el aprendizaje de conceptos científicos contra intuitivos. *Infancia y Aprendizaje*, 36 (1): 19-33.

### **Laura Cecilia Acevedo**

Doctora en Ciencias Sociales y Humanas, Universidad Nacional de Quilmes. Licenciada en Ciencias de la Educación, Universidad de Buenos Aires. Investigadora del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. lceciliaacevedo@gmail.com

### **Adriana Mabel Casamajor**

Magíster en Metodología de la Investigación Científica, Universidad Nacional de Lanús. Licenciada y profesora en Ciencias de la Educación, Universidad de Buenos Aires. Investigadora del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. acasamajor01@gmail.com

### **Ana María Espinoza**

Licenciada en Ciencias Químicas, Universidad de Buenos Aires. Especialista en Didáctica de las Ciencias Naturales. Investigadora del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. anitaespi48@gmail.com