Repositorio Digital Institucional
"José María Rosa"

Universidad Nacional de Lanús
Secretaría Académica
Dirección de Biblioteca y Servicios de Información Documental

Adriana Mabel Casamajor
acasamajor01@gmail.com

La ingeniería didáctica como método de investigación. Estudio de caso:
proyecto de investigación la lectura "en naturales" objeto de enseñanza,
herramienta de aprendizaje

Tesis presentada para la obtención del título de Maestría en Metodología de la Investigación Científica
del Departamento de Humanidades y Artes

Director de Tesis

José Antonio Castorina

El presente documento integra el Repositorio Digital Institucional "José María Rosa" de la Biblioteca
"Rodolfo Puiggrós" de la Universidad Nacional de Lanús (UNLa).

This document is part of the Institutional Digital Repository "José María Rosa" of the Library "Rodolfo
Puiggrós" of the University National of Lanús (UNLa).

Cita sugerida

Casamajor, A. M. (2016). *La ingeniería didáctica como método de investigación. Estudio de caso:
proyecto de investigación la lectura "en naturales" objeto de enseñanza, herramienta de
aprendizaje* (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de Lanús. Departamento de
Humanidades y Artes. Disponible en <https://doi.org/10.18294/rdi.2018.174314>

Condiciones de uso

www.repositoriojmr.unla.edu.ar/condicionesdeuso

www.unla.edu.ar
www.repositoriojmr.unla.edu.ar
repositoriojmr@unla.edu.ar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LANÚS

DEPARTAMENTO DE HUMANIDADES Y ARTES

**MAESTRÍA EN METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA**

**La ingeniería didáctica como método de investigación. Estudio de
caso: proyecto de investigación *La lectura “en naturales” objeto de
enseñanza, herramienta de aprendizaje***

Maestranda: Adriana Mabel Casamajor

Director de tesis: Dr. José Antonio Castorina

Co directora de tesis: Dra. Alicia Viviana Barreiro

Año: 2016

Índice

	Página
Resumen	4
Introducción	5
Capítulo 1. Presentación del problema y de los objetivos	7
Capítulo 2. Nacimiento y desarrollo de la ingeniería didáctica en Francia	10
Capítulo 3. La lectura en Ciencias Naturales	33
Capítulo. Método	47
Capítulo 5. Análisis del caso. La ingeniería didáctica en “La lectura en naturales: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje”	53
Capítulo 6. Discusión y conclusiones	101
Bibliografía	107

Resumen

El propósito de este trabajo es la realización de un análisis metodológico de una investigación que adopta el diseño de los estudios de caso de modalidad cualitativa, de carácter exploratorio – interpretativo, y que sigue los lineamientos de la ingeniería didáctica. Se trata del Proyecto UBACyT *La lectura en naturales, objeto de enseñanza, herramienta de aprendizaje*.

El objetivo es comprender cómo las decisiones metodológicas que se toman durante el transcurso de dicha investigación contribuyen, por un lado, a la profundización en la comprensión de lo que sucede en la clase –es decir las múltiples interacciones entre docente, alumnos y saber– y, por otro, a pensar las relaciones entre la investigación y la acción sobre el sistema de enseñanza.

La metodología sustentada en la ingeniería didáctica se diferencia, en primer lugar, de los métodos experimentales por su modo de validación. Este modo de validación es interno y basado en la confrontación entre un análisis a priori en el cual se encuentran comprometidas un cierto número de hipótesis y un análisis que se apoya en los datos surgidos de la realización en clase (Artigue, 2002). Esta confrontación no supone establecer si se cumplió lo que el análisis a priori “predijo” sino que permite establecer una relación entre las estrategias puestas en juego y los conocimientos en los que dichas estrategias se basan, identificar marcas de posibles evoluciones de las ideas de los alumnos en términos de transformación de sus conocimientos, describir distintos significados de un conocimiento, establecer cuáles serían los asuntos a institucionalizar... Resulta por eso, una referencia esencial para reconstruir el proceso de producción de conocimientos en la clase. El interés del análisis a priori está dado por su fertilidad para realizar tal reconstrucción” (Sadovsky, P. 2004).

En síntesis, se trata de analizar la potencialidad de la ingeniería didáctica en la producción de conocimiento didáctico en el tema la lectura en el área de las Ciencias Naturales, a partir del estudio del caso mencionado.

Introducción

La idea de que las Ciencias Naturales se definen de modo clásico como experimentales y las matemáticas como deductivas -lo que hace a las primeras producto puro de la observación, y a las segundas del pensamiento- parecería seguir constituyendo la base de numerosos pedagogos de las ciencias (Johsua y Dupin, 2005). Sin embargo, estos autores se proponen la consideración de un posible marco epistemológico que permita pensar en mecanismos al menos parecidos para la elaboración y la evolución de la Matemática y las Ciencias Naturales.

Por su parte García (García, 2000) hace referencia a la “no representatividad” (en el sentido de la imposibilidad de tener una representación) de los múltiples conceptos de espacio utilizados por la Física y las Matemáticas al destacar que los marcos lógico-matemáticos dirigen, de alguna manera, las percepciones. Las estructuras lógicas se aplican a la realidad que es fuente de las intuiciones espaciales y, a su vez, esa realidad condiciona las estructuraciones

En el caso que aquí se toma como objeto de estudio, la investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales toma *prestada* la ingeniería didáctica de la Matemática para abordar un estudio sobre las condiciones de lectura que favorecen una interpretación más ajustada de los textos, en el marco de una secuencia de enseñanza sobre la constitución de la materia a niños que cursan el séptimo grado de la escuela primaria. Esta migración de la ingeniería a otra disciplina se realiza con el convencimiento de que su presencia en esta área -que no es inédita- contribuye a potentes reflexiones acerca de lo que se estudia.

Además, es de resaltar que la ingeniería didáctica es una metodología de investigación que pretende impactar en el sistema de enseñanza, que puede ser tenida en cuenta no sólo como tal sino también como un modo para enseñar y aprender en el aula. Hay secuencias didácticas que se diseñan en el marco de las investigaciones que suelen ser tomadas y puestas en práctica por docentes sin afán investigativo, por fuera de las investigaciones. Esto último agrega interés y suma relevancia a esta modalidad investigativa en tanto daría cuenta de que los productos de la ingeniería están teniendo impacto en el sistema de enseñanza. A su vez, esta apropiación de las secuencias de enseñanza por parte de los docentes no investigadores trae aparejado la necesidad de estudiar el funcionamiento de las

secuencias producidas en el marco de la investigación, en las condiciones habituales de enseñanza.

En el presente trabajo se resitúan los resultados del mencionado caso –La enseñanza de la lectura en naturales: objeto de enseñanza, herramienta de aprendizaje- para analizar la potencialidad de la ingeniería didáctica en la producción de conocimiento didáctico en el tema. Esto significa volver a leer el material y los resultados que se produjeron teniendo como objeto el método que se utilizó para la investigación didáctica y su fecundidad para la producción de conocimiento acerca de *la lectura en Ciencias Naturales*. Se pretende realizar un estudio acerca de la fertilidad de la ingeniería didáctica para la producción de conocimiento acerca de la enseñanza de la lectura en las Ciencias Naturales, y cuáles son sus alcances y sus límites para la producción de conocimiento sobre el tema aludido.

Luego de la introducción, en el capítulo número 1 se presentan el problema de investigación que guía este estudio y los objetivos que se persiguen

En el capítulo 2, se explicitan, como marco teórico de esta tesis, los orígenes de esta metodología de investigación, los avatares de su desarrollo, su vínculo con la didáctica de la matemática, como así también las principales perspectivas de las que se nutrió.

En el capítulo 3, también como marco teórico de esta tesis, se hace referencia a la concepción de lectura de la que se parte, a la enseñanza de la lectura en el área, a las características de los textos de Ciencias Naturales y, específicamente, al texto didáctico y las posibilidades del lector.

En el capítulo 4, se hace referencia a la perspectiva metodológica con la que se estudia el caso: esquema interpretativo y diseño de estudio de casos multidimensional

En el capítulo 5 se analiza lo producido en cada una de las fases de la ingeniería: la de los análisis preliminares, la de los análisis a priori y la de los análisis a posteriori

En el capítulo 6 se presenta una propuesta de discusión y las conclusiones a las que se ha arribado.

Capítulo 1. Presentación del problema y de los objetivos

La investigación educativa que más se difunde y circula en los ámbitos de formación de los profesores y maestros no es la que se realiza en aula, sino la que es externa a ella, la que parte del análisis de encuestas, de entrevistas, de resultados de evaluación de los aprendizajes de los estudiantes (Artigue, 1995). Sin desestimar los aportes de dichos estudios, se considera beneficioso ahondar en los aportes de los trabajos que priorizan la realización en clase, profundizando el análisis acerca de sus contribuciones a la producción de conocimiento didáctico y a la enseñanza.

Como ya se mencionó en la introducción, en esta tesis se toma como objeto de estudio un caso –una investigación didáctica sobre la lectura en el área de Ciencias Naturales- para analizar la potencialidad de la ingeniería didáctica en la producción de conocimiento didáctico en el tema. La noción de ingeniería didáctica proviene de la didáctica de la matemática y se origina en los años ochenta. El término ingeniería didáctica da cuenta de la vinculación entre el trabajo del ingeniero con el trabajo del investigador. El ingeniero se basa para realizar su proyecto (Artigue, 1995), en los conocimientos que la ciencia le ofrece y que él domina, pero cuando lleva a la práctica lo que ha diseñado, muchas veces se encuentra con que, ante la complejidad de los objetos con los que tiene que interactuar, no sólo necesita de los conocimientos científicos para concretar su trabajo. Así el ingeniero termina abordando, con todos los medios disponibles, problemas que la ciencia no puede hacerse cargo.

La ingeniería didáctica constituye una metodología muy fértil tanto en Didáctica de las Matemáticas como en las didácticas de otras disciplinas que la han adoptado, y, si bien hoy hay otras metodologías que compiten con ella, en lo que concierne al estudio del *sistema clase* sigue siendo para el didacta un instrumento incomparable cuando se trata de concebir y estudiar posibilidades de formas nuevas en el aula, cuestión fundamental de la investigación. (Artigue, 2002)

La adopción de una perspectiva epistemológica es constitutiva de la Didáctica porque ésta se ocupa de la transformación de los conocimientos. El pasaje de un estado de menor conocimiento a un estado de mayor conocimiento que la Epistemología Genética estudia es también el centro de las preocupaciones de la investigación didáctica, aunque en el caso de la Didáctica el pasaje estudiado es

intencionalmente generado y tiene lugar en un contexto institucional específico, cuya función es la de comunicar saberes culturalmente producidos. (Lerner, 2001)

La fuerza de esa metodología proviene de sus relaciones con la teoría de las situaciones didácticas, teoría que evoluciona, cuyos instrumentos mejoran su adaptación a la concepción y el análisis de ambientes didácticos más respetuosos de la realidad de las condiciones en las que se enseña. Pero esta fuerza de la teoría de las situaciones requiere un esfuerzo sustancial para quienes proceden de perspectivas diferentes de la Didáctica de las Matemáticas y no comparten esta cultura, y para los didactas de las otras disciplinas que, además, deben realizar un trabajo real de conversión didáctica cuando quieren hacer de esta metodología de investigación uno de sus instrumentos de trabajo. (Artigue, 2002)

En el caso que se analiza en este trabajo (Proyecto UBACyT 2000) el término ingeniería didáctica alude al proyecto, puesta en práctica y análisis de una secuencia de clases diseñadas por un grupo de investigación (un ingeniero, siguiendo la analogía referida), para producir aprendizaje del contenido *la constitución de la materia* (el proyecto a concretar); los alumnos pertenecen al 7º grado de la escolaridad primaria. En el transcurso de las clases de la secuencia el proyecto de enseñanza evoluciona a partir de las reacciones de los alumnos en función de las decisiones del profesor. “De esta forma, la ingeniería didáctica es a la vez un producto, resultante de un análisis a priori, y un proceso en el transcurso del cual el profesor ejecuta el producto adaptándolo, si se presenta el caso, a la dinámica de la clase”. (Douady, 1995)

El presente estudio se propone la realización de un análisis metodológico del proyecto de investigación didáctica mencionado (Proyecto UBACyT en adelante). Dicho proyecto UBACyT adopta el diseño de los estudios de caso de modalidad cualitativa, de carácter exploratorio y sigue los lineamientos de la ingeniería didáctica. La metodología sustentada en la ingeniería didáctica “se diferencia, en primer lugar, de los métodos experimentales por su modo de validación. Este modo de validación es interno y basado en la confrontación entre un análisis a priori en el cual se encuentran comprometidas un cierto número de hipótesis y un análisis que se apoya en los datos surgidos de la realización efectiva” (Artigue, 2002, p. 3). En el caso del Proyecto UBACyT que es objeto de este estudio los análisis a priori cristalizaron en el diseño y puesta en práctica de la secuencia de enseñanza sobre la constitución de la materia ya mencionada.

Las preguntas que se intentarán responder en este trabajo son:
¿Por qué la ingeniería didáctica podría mostrarse fértil para la producción de conocimiento en el tema? ¿Cuáles son los alcances y los límites de la ingeniería didáctica en la producción de conocimiento sobre el objeto que se estudia?

El problema enunciado se vincula con el interés, dentro del campo de la investigación educativa, de producir conocimiento acerca de la fertilidad de una perspectiva de investigación que parecería estar restringida a unos pocos investigadores, y cuyos resultados son de escasa difusión o, en todo caso, de comunicación en entornos reducidos fuera de Francia, país en el que se ha originado (Artigue, 2011)

En este trabajo se estudiará la relación entre la opción metodológica del proyecto UBACyT mencionado y la fecundidad del conocimiento producido tomando en consideración que la decisión acerca del método a seguir se resuelve en el plano de la racionalidad de medios afines entre un problema cognitivo de interés, un diseño de investigación apropiado al problema y los instrumentos técnicos más adecuados para resolverlo (Marradi, et al., 2007). Se espera que con esta investigación se avance en el conocimiento acerca de la significación que puede adquirir el trabajo investigativo que incluye realizaciones en el aula.

A partir del planteamiento del problema presentado se consideran los siguientes objetivos:

Identificar las potencialidades de la Ingeniería didáctica para la comprensión de la enseñanza de la lectura en el área de las Ciencias Naturales a través del análisis del Proyecto UBACyT;

Dar cuenta de la viabilidad de la ingeniería didáctica como metodología de investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales, a través del análisis del caso que se estudia;

Comprender si las decisiones metodológicas que se expresan en la formulación del proyecto UBACyT mencionado y los ajustes que se realizaron durante el transcurso de la investigación, contribuyen a profundizar la comprensión de la situación de enseñanza estudiada.

Capítulo 2. Nacimiento y desarrollo de la ingeniería didáctica en Francia

El nacimiento y desarrollo de la Didáctica de las Matemáticas se da en Francia y fuertemente vinculado con el rol que los IREM (Institutos de investigación en enseñanza de las Matemáticas) jugaron en ello (Douady, 1995). Durante los años sesenta y setenta se produjo en dicho país un cambio en los currículos de Matemática que incluyó la incorporación de nuevas nociones. Esta decisión generó la necesidad de capacitar a los profesores en estas nuevas nociones y producir documentos pedagógicos que orientaran la enseñanza y la evaluación. Desde el punto de vista del modo en que se pensaba el aprendizaje había una fuerte influencia de Piaget y una fuerte difusión de su teoría constructivista

Por su parte, desde la perspectiva de la investigación, se vio como necesaria una aproximación científica a los problemas que se generan en la comunicación del saber, que considerara como un objeto de estudio la clase en su globalidad, en la que interactúan los alumnos, el profesor y un saber (Doody, 1995). Dicha búsqueda de legitimidad científica llevó a la investigación a tomar métodos y criterios de sectores cercanos ya reconocidos, especialmente de la psicología. Pero la investigación privilegiada por estos métodos -que se podría calificar de laboratorio, externos a la clase-, o las comparaciones estadísticas entre grupos experimentales y testigos tomados de las Ciencias Experimentales se contradicen flagrantemente con los marcos teóricos de la Didáctica en tanto al ser concebida ésta como el estudio de los problemas generados en la comunicación del saber, se vuelve indispensable que dichos estudios consideren a la clase en su globalidad como objeto y que se tengan en cuenta la interacción y la dependencia entre el docente, el alumno y el saber (Douady, 1995). Se consideró en consecuencia que era necesario diseñar proyectos de investigación de tipo experimental en los que se formularan hipótesis, se diseñaran y pusieran en juego experiencias, se construyeran herramientas, o se adaptaran otras existentes, para el tratamiento de los datos recogidos, y se cruzaran métodos para afinar los resultados.

Todos estos propósitos hicieron necesaria la existencia de espacios para la experimentación y así nacen los IREM a partir de dos problemáticas: desde el Ministerio de Educación Nacional, para que los profesores aprendan las nuevas nociones que se incluirían en los nuevos currículos de Matemáticas, y así poder dar

una enseñanza adecuada a sus alumnos; y, desde los investigadores, para poder problematizar las relaciones entre la enseñanza y el aprendizaje y desarrollar métodos de investigación necesarios para la mejora de la relación didáctica.(Doady, 1995)

Los IREM ofrecieron trabajar conjuntamente a personas con diferente formación -profesores de primaria, de secundaria, de universidad, inspectores, matemáticos, físicos, psicólogos, sociólogos, etc.- con dedicación parcial y manteniendo sus cargos de base. Otra característica de los IREM es que constituyeron una organización nacional para participar en la formación inicial y permanente de los profesores, desarrollar investigaciones sobre la enseñanza de las matemáticas y producir y difundir documentos para la enseñanza. Desde el punto de vista de la investigación se realizaron estudios de fenómenos provocados y se comenzó un proceso de búsqueda de explicaciones. Durante varios años, hasta 1977, las dos lógicas -la del Ministerio de Educación y la de los investigadores- evolucionaron paralelamente.

En el año 1977 el Ministerio de Educación de Francia suprime el espacio de trabajo para los profesores, parecería que se consideró que éstos ya estaban en condiciones de enseñar las nuevas nociones. Sin embargo, esto produjo incertidumbre en los docentes que no sabían qué enseñar, qué libertad de acción debían dar a los alumnos, qué distancia podían tomar del texto que tenían. Esto generó una reacción dogmática por parte de los docentes, que seguían lo que estaba escrito en el papel y esperaban lo mismo por parte de los alumnos. Los estudiantes, por su parte, también estaban ante una situación de incertidumbre entre repetir lo que estaba escrito, sin comprender, o intentar comprender sin respetar las exigencias del profesor; las Matemáticas eran vistas por muchos alumnos como algo mecánico.

Ante esta situación se reformuló el trabajo en los IREM y se generó una nueva problemática: desde el punto de vista del aprendizaje se hizo énfasis en el sentido y, en consecuencia, en los problemas que pueden ser fuente de aprendizaje y desequilibrio para los alumnos cuando no tienen todos los conocimientos para su solución. Aparecieron nuevas preguntas que se orientaron a tratar de responder acerca de los medios que es necesario dar a los alumnos para permitirles lograr un nuevo equilibrio a partir de los problemas que enfrentan, al papel del profesor dentro de este nuevo esquema, a la creación de un saber común en la clase que sea utilizable en otras situaciones, y que pueda ser transformado en un saber cultural, y

a la explicación de los errores persistentes de los alumnos, como así también al de la distancia entre las expectativas del profesor y los hechos observados.

Los profesores de los equipos IREM, por su parte, decidieron preparar conjuntamente sus clases con cierta intención de aprendizaje, hacer observaciones mutuas de clase, analizarlas y tomar nuevas decisiones. La Didáctica de la Matemática entró en pleno auge y se desarrollaron nuevas metodologías de investigación, como es el caso de la ingeniería didáctica que se propone responder a cuestiones tales como ¿cómo tomar en cuenta la complejidad de la clase en las metodologías de la investigación? ¿Cómo pensar las relaciones entre investigación y acción sobre el sistema de enseñanza? (Chevallard, 1982)

La didáctica de la Matemática y la ingeniería didáctica

Los propósitos de la escuela francesa de Didáctica de la Matemática se vinculan con la preocupación por descubrir e interpretar los fenómenos y procesos ligados a la adquisición y la transmisión del conocimiento matemático. Dos concepciones epistemológicas subyacen a estos objetivos:

(...) la identificación e interpretación de fenómenos y procesos objeto de interés supone el desarrollo de un cuerpo teórico, y no puede reducirse a observaciones realizadas a partir de situaciones aisladas ni a cuestiones de opinión; por otro lado, la convicción de que ese cuerpo teórico debe ser específico del saber matemático, y no puede provenir de la simple aplicación de una teoría ya desarrollada en otros dominios (como la psicología o la pedagogía) (Panizza, 2004, p.2)

Existen en la actualidad tres aproximaciones principales y complementarias entre sí, que se articulan:

(...) Una aproximación cognitiva que se ha desarrollado alrededor de los trabajos de G. Vergnaud en el área de los campos conceptuales. Una aproximación a través de “los saberes” que se ha desarrollado alrededor de los trabajos de Y. Chevallard en el área de

la teoría de la transposición didáctica, en un principio, antes de extenderse a una aproximación antropológica más global del campo didáctico. Una aproximación a través de situaciones que es finalmente la que ha tenido, sin duda, la influencia más determinante y cuyo padre fundador es G. Brousseau (Artigue, 1995, p. 11)

La teoría de situaciones de Brousseau ha puesto a la situación de enseñanza en el centro de la didáctica, como unidad de análisis mínima. El autor se sitúa dentro de una perspectiva constructivista con aprendizaje por adaptación a un medio que resulta problemático. El objeto central de su teoría no es el sujeto que aprende sino la situación por medio de la cual se organizan las relaciones entre los tres polos del triángulo didáctico: maestro, alumno y saber.

Estas relaciones condicionan y dan forma a los procesos de adaptación que los alumnos pueden desarrollar en un contexto determinado y, en consecuencia, a los conocimientos matemáticos que son susceptibles de ser contruidos allí. La teoría da cuenta del conjunto de estas interacciones y fenómenos que ellas inducen. Uno de sus principios fundamentales es que, si no comprendemos en este sentido la situación, no podemos interpretar cognitivamente los comportamientos de los alumnos observados (Artigue, 2002, p. 3).

En la teoría de las situaciones didácticas las interacciones didácticas son modelizadas en diferentes niveles, dos de ellos son: el nivel a-didáctico y el nivel didáctico. Una situación didáctica es una situación diseñada con la intención de que los alumnos adquieran un determinado saber. Esta preocupación por diseñar situaciones que ofrezcan al alumno la posibilidad de construir el conocimiento da lugar a la necesidad de diseñar situaciones en las que el alumno se encuentre solo frente a la resolución de un problema, sin que el maestro intervenga en cuestiones relativas al saber que está en juego. El reconocimiento del valor de esos momentos de aprendizaje dio lugar a la noción de situación a – didáctica entendida ésta como una situación que no puede ser dominada por el alumno sin la puesta en práctica de los conocimientos que la misma situación requiere, y que a su vez sanciona las decisiones que él toma en el sentido de que le hace notar si éstas han aportado a la

solución o no. Todo esto sucede sin la intervención del docente en lo que al saber en juego respecta. En la situación a–didáctica el alumno debe relacionarse con el problema respondiendo al mismo en base a sus conocimientos, involucrado en la situación problemática y no en satisfacer el deseo del maestro.

En el marco de esta teoría el análisis a–didáctico es fundamental, pero como toda modelización, la modelización a–didáctica tiene sus límites. La confrontación *análisis a priori/análisis a posteriori*¹ ha contribuido a reflexionar acerca del sujeto que aprende sin dejar de lado su condición de niño, de adolescente, de alumno. En este sentido la teoría de las situaciones ha desarrollado el nivel didáctico que tiene por ambición tomar en cuenta en la modelización algunas limitaciones del modelo a didáctico, considerando entonces al alumno no sólo como un sujeto epistémico sino como un sujeto institucional cuyos procesos de adaptación están condicionados también por el conocimiento de las normas institucionales que atraviesan sus relaciones con el docente y el saber. El concepto central en este nivel es el de “contrato didáctico” que designa las expectativas, generalmente implícitas, que tienen respectivamente uno en relación con el otro –el alumno y el docente– en lo que concierne al saber matemático. En este nivel didáctico, el comportamiento del docente se vuelve un elemento esencial en el análisis de las interacciones en el seno del sistema. (Artigue, 2002)

Brousseau desarrolla la teoría de situaciones dentro de la Didáctica de la Matemática de la escuela francesa. Esta teoría de la enseñanza busca las condiciones para una génesis artificial de los conocimientos matemáticos, ya que ellos no se construyen de manera espontánea, y está sustentada en una concepción constructivista del aprendizaje. Según este autor el alumno aprende adaptándose a un medio que es factor de contradicciones, de dificultades, de desequilibrios, un poco como lo hace la sociedad humana. El saber, fruto de la adaptación del alumno, se manifiesta a través de respuestas nuevas que serían la prueba de que hubo aprendizaje” (Brousseau, 1986)

Hay situación didáctica cada vez que se puede caracterizar una intención de enseñanza de un saber a cargo de un profesor que se dirige a un alumno y que, para ello, se instituyen mecanismos

¹ Ver análisis a priori y análisis a posteriori en el apartado siguiente.

sociablemente definidos. Lo que caracteriza la perspectiva constructivista es la voluntad de poner al alumno en situación de producir conocimientos (en general reformulando y luchando contra conocimientos anteriores) en referencia en primer lugar al problema y no a la intención de la enseñanza. Es la presencia y la funcionalidad en la situación didáctica de una fase de situación a–didáctica la marca principal de la diferencia con las situaciones estrictamente formales (Joshua y Dupin, 1993, p.247)

En el marco de la escuela francesa, el aprendizaje implica construcción de significado y apropiación del conocimiento; aprender es involucrarse en una actividad intelectual cuya consecuencia final es la disponibilidad de un conocimiento con su doble status de objeto y de herramienta (la autora hace referencia específicamente a aprender matemáticas)²Y enseñar es crear condiciones que producirán la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes. Para que haya enseñanza y aprendizaje es necesario que el conocimiento sea una manifestación importante de los juegos de la escuela, que sea esencial en la interacción entre docente y alumno. (Douady, 1995).

Por su parte Brousseau (1980) refiere al aprendizaje como una adaptación del alumno a una situación problema que es nueva para él. Las dificultades con las que el alumno se enfrenta son fundamentales para provocar esta adaptación; ellas pueden ser constitutivas de nuevos saberes indispensables para la comprensión de tal situación. La enseñanza debe entonces provocar en los alumnos esas adaptaciones por medio de la propuesta de situaciones en las que el alumno no tenga el saber necesario para resolverlas. En la elección de esas situaciones la noción de

² Saber matemáticas implica dos aspectos: 1. poseer herramientas (teoremas y nociones). Las herramientas están inscriptas en un contexto. Las situaciones o los problemas en los que evolucionan las nociones generan significado para esas nociones. Se trata de un punto de vista semántico. 2. Identificar las nociones y los teoremas como elementos de un corpus reconocido social y científicamente. Es también formular definiciones, enunciar los teoremas de ese corpus y demostrarlos. Los teoremas y las nociones tienen carácter de objeto, están descontextualizados, despersonalizados. El trabajo de descontextualización y despersonalización participa del proceso de apropiación del conocimiento. El trabajo de recontextualización permite expandirlo (al significado) Este trabajo de recontextualización puede hacerse tanto sobre las herramientas como sobre los objetos, pero se necesita respetar un conjunto de reglas internas de las matemáticas y diferentes modos de expresión. Es una componente sintáctica del significado

obstáculo epistemológico³ es indispensable e intrínseca al aprendizaje por adaptación

Si bien los procesos de adaptación de los alumnos son, la mayoría de las veces, una combinación sutil de procesos a-didácticos y didácticos, uno de los principios fundamentales de la teoría es que un cierto nivel de a didacticidad es necesario para los aprendizajes matemáticos. Es primordial comprender la sutileza de los juegos que existen entre adaptaciones a-didácticas y didácticas si queremos comprender lo que se aprende en una situación dada o intentar controlar lo que allí puede ser aprendido. Queda claro que cuando, apoyándose en esta teoría, se intentan construir situaciones que optimicen las interacciones, se busca un equilibrio satisfactorio entre esos dos tipos de adaptación y, en particular, asegurarse de que el alumno no pueda tener éxito jugando solamente sobre el contrato didáctico. (Artigue, 2002)

Se puede decir por un lado que una cierta a didacticidad es necesaria para el aprendizaje, pero, por otro, que es insuficiente porque los conocimientos pueden no resultar adecuados para resolver la situación que se propone y porque la intervención didáctica del docente es indispensable para que los conocimientos que se producen localmente puedan pasar a ser conocimientos compartidos, reutilizables, legitimados institucionalmente, es decir convertirse en saberes (Bessot, 2009)

Ahora bien, las situaciones didácticas son objetos teóricos que permiten estudiar las condiciones y relaciones de un conocimiento, pero algunas de esas condiciones pueden ser modificadas por el docente. Así, se habla de variable didáctica cuando las variaciones que el docente incorpora a la situación que propone llevan a que los alumnos tengan que modificar las estrategias de resolución que ponen en juego, y en consecuencia, el conocimiento necesario para resolver la situación. El docente puede proponer situaciones que el alumno pueda comprender y resolver con sus conocimientos, y luego hacerle afrontar la construcción de un conocimiento nuevo. La modificación de la variable puede contribuir así a la puesta en escena de un nuevo campo de problemas o de conocimientos diferentes.

Otro aspecto de las situaciones a – didácticas es la noción de sanción, que luego

³ La noción obstáculo epistemológico es tomada del filósofo Gastón Bachelard. Según el autor “Se conoce en contra de un conocimiento anterior, destruyendo conocimientos adquiridos (...) derribando los obstáculos amontonados por la vida cotidiana (...) Frente a lo real lo que cree saberse claramente ofusca lo que deberá saberse” (Bachelard, 2003, p. 15)

fue designada con el término retroacción, entendida como la posibilidad que la situación misma ofrece al alumno, al brindar información acerca de su producción, de juzgar los resultados de su acción estableciendo relaciones entre sus elecciones y los resultados que va obteniendo.

Si bien la situación a–didáctica es concebida como un momento de aprendizaje y no de enseñanza, es el docente quien debe gestionar la entrada del alumno a ésta. Esto se vincula con la devolución en tanto se trata del acto por el cual quien enseña logra que el alumno acepte la responsabilidad de una situación de aprendizaje (a–didáctica), o de un problema, y las consecuencias de esta transferencia de responsabilidad (Brousseau, 1998)

Sin embargo, que el docente no intervenga en lo concerniente al conocimiento en juego no significa que guarde silencio; el docente interviene para instalar y mantener a los alumnos en tarea. Él puede alentar la resolución de la situación, decir que existen diferentes maneras de resolverla, anunciar que se discutirán las resoluciones logradas, recordar las restricciones que haya habido en la consigna, etc.

La teoría distingue tres tipos de situaciones didácticas, las de acción, las de formulación y las de validación. Las situaciones de acción son aquellas en las que los alumnos actúan sobre un medio material o simbólico poniendo en acto conocimientos implícitos, y en las que no parecería ser necesario el intercambio de información entre ellos porque comparten la misma información sobre el medio.

Las situaciones de formulación refieren a la enunciación explícita de un mensaje destinado a otro o a otros alumnos que deben comprenderlo y actuar sobre un medio en función del contenido de ese mensaje. Las formulaciones que se enuncian conllevan la necesidad de ser comunicadas al/los otro/otros pero son ponderadas como simplemente informativas, no requieren, en este contexto, validez.

Las situaciones de validación son aquellas en las que se observa a los alumnos enunciar afirmaciones para ponerse de acuerdo sobre su verdad o falsedad. Los distintos grupos de la clase deben tener la posibilidad de sancionarlas en el sentido de aceptarlas, rechazarlas, pedir pruebas, oponer otras afirmaciones, etc.

Otro concepto clave de la teoría de situaciones es el que se designa con el nombre de institucionalización y hace referencia a un doble reconocimiento ya que es un momento en el que para el alumno se oficializa el objeto de enseñanza; y para el docente, lo aprendido por él. La institucionalización puede ser considerada como

complementaria a la devolución ya que en la devolución el maestro pone al alumno en situación a–didáctica, mientras que en la institucionalización se definen las relaciones que los alumnos pueden haber logrado a través de sus producciones con el saber cultural o científico, y con el proyecto didáctico; en el momento de institucionalización se produce una lectura de esas actividades y se les da un status (Brousseau, 1986)

Cabe resaltar que las producciones “libres” de los alumnos de las fases a–didácticas son constitutivas del sentido de los conocimientos que los alumnos construyen y que la institucionalización implica definir las relaciones entre esas producciones y el saber cultural o científico, y no una presentación del saber cultural en sí mismo, desvinculado del trabajo realizado en clase. Durante la institucionalización se arriba a conclusiones a partir de lo producido por los alumnos, se recapitula, sistematiza, ordena, vincula lo que se produjo en los diferentes momentos de la secuencia de enseñanza para poder establecer relaciones con el saber cultural.

La didáctica francesa ha producido además numerosos conocimientos sobre las concepciones de los alumnos, los obstáculos y dificultades que intervienen en el aprendizaje de una noción, de un dominio o de un modo de funcionamiento matemático dado, como por ejemplo estructuras aditivas y multiplicativas, números decimales y fracciones, álgebra, geometría, demostración, etc. Además sus orientaciones específicas le han permitido producir otras más globales que toman en cuenta la circulación de los saberes enseñados y de sus prácticas usuales, tratando de ponderar las posibilidades de diseñar ingenierías que, sin desentender las restricciones del sistema, pueden permitir un funcionamiento más adecuado de la enseñanza.

La teoría de las situaciones didácticas ha encauzado el desarrollo de la metodología de la ingeniería didáctica, metodología que se basa en un control a priori de las situaciones que se ponen en juego dentro del proceso experimental; este control busca precisar las posibilidades seleccionadas, los valores de las variables didácticas que se producen como resultado de esa selección y el sentido que pueden tomar los comportamientos previstos teniendo en cuenta esos valores. En el análisis a posteriori, el análisis a priori se compara con la realización efectiva y se busca lo que rechaza o confirma las hipótesis sobre las cuales estaba basado (Artigue, 1995)

La ingeniería didáctica

La noción de ingeniería didáctica proviene de la Didáctica de la Matemática y se origina a principios de los años ochenta. El término da cuenta de la vinculación entre el trabajo del ingeniero con el trabajo del investigador. El ingeniero se basa para realizar su proyecto (Artigue, 1995) en los conocimientos que la ciencia le ofrece y que él domina, acepta someterse a un control de tipo científico, pero cuando lleva a la práctica su diseño muchas veces se encuentra con que, ante la complejidad de los objetos con los que tiene que interactuar, los conocimientos científicos no son los únicos que necesita para concretar su trabajo. Así el ingeniero termina abordando, con todos los medios disponibles, problemas que la ciencia no puede hacerse cargo

La ingeniería consiste en sentido estricto:

- en la concepción y en la realización de todo o parte de un plan de estudio: una serie de lecciones, una lección, una serie de ejercicios, un manual, un programa informático, etc.
- esta concepción está acompañada del estudio de diversas posibilidades entre las cuales se hace una elección, y de la explicitación de las razones y de las elecciones (técnicas, científicas y otras).

Pero en sentido más amplio nosotros podemos admitir la simple producción de un currículum -sin sus justificaciones precisas- y, en consecuencia también su conducta, en la medida en que todo currículum comunica necesariamente un cierto campo de decisiones didácticas a los docentes que la utilizan (...)

La ingeniería didáctica es:

- el instrumento indispensable para la confrontación de la ciencia didáctica con la contingencia
- el instrumento y el objeto de las observaciones
- el medio para la puesta en práctica y la difusión de sus resultados hacia los docentes y el público.

Por ello está en el centro de la didáctica (Brousseau & Brousseau, 2005, citado en Bessot, 2009, p. 30)

Pero esta metodología respeta ciertos principios que Brousseau expresa en

términos de ruptura. Uno de ellos es el apoyo total a la transposición didáctica en el sentido de interrogar a la Matemática en su interior sin dar como necesariamente matemáticas las concepciones o prácticas improvisadas de los matemáticos. Otro es no dar por sentado que los dispositivos gracias a los cuales se producen aportes provenientes de la Psicología, la Sociología o la Pedagogía son supuestamente transparentes (Bessot, 2009)

Ahora bien, en la teoría de las situaciones no hay separación entre teoría, observación y práctica, no hay una teoría y su aplicación. La relación es dialéctica. La observación de la práctica en la ingeniería didáctica prima sobre la teoría en el sentido de que ciertos resultados de las ingenierías pueden ser potenciales conceptos teóricos y esto es posible gracias a su puesta a prueba en la práctica. Se puede decir que los conceptos teóricos de la teoría de las situaciones son productos de la investigación y de la observación en la ingeniería didáctica. Los conceptos de contrato didáctico y de institucionalización son ejemplos de esto. Así la teoría de las situaciones produce dialécticamente -con la ingeniería didáctica- herramientas teóricas que se someten a prueba en la ingeniería, y la teoría controla la consistencia de la interpretación de quien observa dicha ingeniería.

La elección de una situación fundamental para cada saber a enseñar es también fruto de la investigación en ingeniería didáctica. Al respecto Perrin Glorian (1994) destaca que la noción de situación fundamental ha sido comprendida, en los inicios, como una situación que será efectivamente utilizada como situación de enseñanza. Sin embargo, Bessot (2009) considera que es más adecuado concebirla como un paradigma de investigación, en el sentido de conjunto de situaciones basadas en los problemas de un campo del saber -que tienden a resolver- y en las actividades matemáticas específicas de la comunidad de este dominio. Se habla entonces de situaciones, y su articulación, que se generan dentro de este paradigma. Brousseau (1981) señala que una de las razones para investigar una situación fundamental es que ello permite determinar el conjunto de situaciones que son fértiles para hacer funcionar una noción en los diferentes sentidos posibles. Legrand (1993) hace referencia a que contribuye a estar atentos a la fragmentación que una noción puede sufrir en las múltiples situaciones didácticas; también Brousseau (2005) hace referencia a la función de las situaciones fundamentales en tanto resumen el sentido global de un saber de manera de permitir desplegar la cantidad y la diversidad de situaciones según las necesidades y las posibilidades de la enseñanza. Legrand

(1996) avanza con otra función de las situaciones fundamentales que es la de permitir una rápida entrada del saber a enseñar en el sentido de postular que para cada noción matemática a enseñar a determinado nivel hay una situación o un pequeño grupo de situaciones que permiten introducir rápidamente la noción en clase en una verdadera dimensión epistemológica. Por último, puede considerarse que el poder de una situación fundamental debe ser comprendido como el poder de suscitar otras situaciones capaces de constituir la génesis de un concepto, de una teoría o de una técnica (Bessot, 2009)

La ingeniería didáctica como metodología de investigación

Es necesario distinguir este tipo de investigaciones –las que siguen los lineamientos de la ingeniería didáctica- de otras que también se realizan en clase

(...) las investigaciones que recurren a experimentaciones en clase se sitúan a menudo en un enfoque comparativo con validación externa basada sobre la comparación estadística de performance de los grupos experimentales y de los grupos testigo. Este paradigma no es el de la ingeniería didáctica que se sitúa por el contrario, en el registro de los estudios de caso y en los cuales la validación es esencialmente interna, basada en la confrontación entre análisis a priori y análisis a posteriori. (Artigue, 1995, p 37).

El trabajo de la ingeniería está centrado en el análisis de la enseñanza de un contenido en determinado nivel. Se incluye clásicamente una reflexión epistemológica, un recorte del campo disciplinar, diagnósticos sobre la enseñanza habitual, una concepción de secuencias de clase, observaciones y una evaluación de experiencias efectivas. (Robert, 1992)

Las fases de la ingeniería didáctica

La fase de los análisis preliminares

Aquí se incluyen los conocimientos didácticos ya adquiridos sobre el tema que

se desea estudiar, el análisis epistemológico de los contenidos a enseñar, el análisis de la enseñanza usual y sus efectos, las concepciones de los alumnos, sus dificultades y errores, su evolución y el conjunto de las condiciones que cumplirá la realización didáctica que se generará para ser estudiada. Es de destacar que estos análisis no suelen aparecer en las publicaciones de las investigaciones de ingeniería didáctica, sin embargo, sí se suelen retomar y profundizar en las fases sucesivas.

El análisis epistemológico del contenido que se va a enseñar hace referencia al conocimiento de los procesos por los cuales los conceptos que son objeto de enseñanza se forman y se desarrollan y, más generalmente, el conocimiento de la actividad de la ciencia en cuestión. Este análisis permite al didacta ponderar las diferencias existentes entre saber “sabio”, y saber “enseñado” (Chevallard, 1985) entendiéndose al primero como al saber que produce la comunidad de los matemáticos y al segundo –el saber enseñado– como aquel que es tratado en el interior del sistema didáctico y que ha sufrido transformaciones en tanto su función es la de reproducción y representación del primero sin estar sometido a las mismas exigencias de productividad. La ponderación de las diferencias entre ambos tipos de saberes contribuye a alertar sobre la ficción de la escuela en la que se suelen ver los objetos de enseñanza como copias simplificadas pero fieles de los objetos de la ciencia. A su vez la división del saber en partes susceptibles de ser enseñadas una tras otra a un público determinado, hace que la apropiación de ese saber pueda ser sancionada sobre la base de un grupo restringido de competencias pero que son desprovistas de significación en términos de la evolución del saber “sabio”. La noción de transposición didáctica que Chevallard aporta, contribuye a tener en cuenta estas diferencias.

Además, la epistemología interviene también en la posibilidad de la transmisión de una cultura indispensable para hacer entrar a los estudiantes en el juego matemático. Ella propone al didacta un cierto número de preguntas globales y fundamentales para guiar la producción de ingenierías didácticas, como el análisis de la enseñanza usual:

*(...) ¿qué transponer dentro de la enseñanza de los
constituyentes de esta cultura y de sus interrelaciones? ¿Existe una
transposición mínima o un conjunto de transposiciones mínimas a
respetar para no desnaturalizar el sentido de esta cultura? ¿Es posible?*

¿Bajo qué condiciones? ¿En qué pueden o deben las transposiciones depender de los públicos a los cuales se dirige la enseñanza? ¿Cuáles son los inconvenientes que se presentan sobre las transposiciones actuales? ¿Cuáles son sus efectos? (Artigue, 1990, p.4)

Pero es sobre la noción de obstáculo que se tiene tendencia a focalizar la visibilidad de la epistemología en didáctica. La noción de obstáculo epistemológico fue introducida por el filósofo y epistemólogo Gastón Bachelard dentro del libro publicado en 1938 y titulado: *La formación del espíritu científico* donde él escribió:

Cuando buscamos las condiciones psicológicas de los progresos científicos, llegamos pronto a la convicción que éstos están en términos de los obstáculos que debe plantear el problema del conocimiento científico. Y no se preocupa por considerar los obstáculos externos como la complejidad y la fugacidad de los fenómenos, ni de incriminar la debilidad del sentido y del espíritu humano: es dentro del acto mismo del conocimiento, íntimamente, que aparecen, por una clase de necesidad funcional, las lentitudes y los problemas. Aquí mostraremos las causas de estancamiento e incluso de regresión, descubriremos las causas de la inercia que llamaremos los obstáculos epistemológicos. El conocimiento de lo real es una luz que proyecta siempre algunas sombras. Ella no es inmediata y plena nunca. Las revelaciones de lo real son siempre recurrentes. Lo real no será jamás “aquello que podamos creer” pero esto es aquello que siempre debemos pensar. El pensamiento empírico es claro, sobre todo, cuando el aparato de razones ha estado puesto a punto.

En correspondencia con un pasado de errores, encontramos la verdad en un verdadero arrepentimiento intelectual. De hecho, conocemos; en contra de un conocimiento anterior; en destrucción de conocimientos mal hechos, en dominación dentro del espíritu mismo, que obstaculiza la espiritualización (Bachelard, 1938 p. 15).

La fase de los análisis a priori

En la fase de análisis a-priori, el foco está puesto en las características de una situación a-didáctica que se quiere diseñar y está centrado en las potenciales interacciones sujeto/*milieu*/matemáticas que se pueden propiciar. Los alumnos son considerados como sujetos “epistémicos” y todo lo que puede condicionar la realización de estas potencialidades, especialmente en el plano afectivo o institucional, es considerado desde el punto de vista de este modelo o en forma separada. El concepto de “*milieu*” es central en este nivel.

Brousseau define al milieu como un sistema antagonista del sujeto del que pueden formar parte los objetos materiales o simbólicos (otros alumnos también pueden formar parte del milieu), mediante los cuales se va a organizar la interacción con el saber. En el análisis a-didáctico de las interacciones el ingeniero didacta se propone explicitar las características de una tarea problemática propuesta a los alumnos y del milieu asociado a la resolución de la misma, de las posibilidades de acción (considerando este término en un sentido amplio) de los alumnos, de las retroacciones y de los medios de validación que les ofrece la interacción con el milieu. Este estudio debe permitir dar sentido a los comportamientos observados y, en particular, asegurar que los comportamientos esperados, si se producen, puedan ser legítimamente interpretados como signos de la construcción de los conocimientos a los que se apunta. (Artigue, 2002 p. 3).

Margolinas señala, con respecto al análisis a-priori de las situaciones a didácticas⁴ que se persigue en ellos diseñar una situación que pueda ser vivida como a didáctica por el alumno. Se trata de la búsqueda de las condiciones necesarias (Margolinas 1993).

En esta fase de la metodología es sumamente evidente la vinculación de la ingeniería didáctica con la teoría de las situaciones didácticas porque

(...) las elecciones que se realizan antes de la concepción, tanto

⁴Brousseau (1986): “El término de situación a-didáctica designa toda situación que, por una parte no puede ser dominada de manera conveniente sin la puesta en práctica de los conocimientos o del saber que se pretende y que, por la otra, sanciona las decisiones que toma el alumno (buenas o malas) sin intervención del maestro en lo concerniente al saber que se pone en juego.”

a nivel del proyecto como de cada una de las situaciones, son explicitadas precisando las variables didácticas sobre las cuales se ha intervenido, los milieux que estas elecciones condicionan, buscando prever las interacciones posibles de los alumnos en general con estos milieux y sus posibles construcciones de conocimientos, en situaciones a didácticas. También se manifiesta dicha relación en una estructuración del conjunto de las situaciones, frecuente aunque no sistemático, de los tres tipos de situaciones que Brousseau distingue para analizar las relaciones del sujeto con el conocimiento matemático: las de la acción, de la formulación y de la validación (Artigue, 2002 p. 4)

Esta fase de los análisis a priori comprende una parte descriptiva y otra predictiva. Se describen las selecciones de nivel local de la situación a-didáctica que se va a diseñar y que se va a poner en práctica en el aula, se analiza qué podría estar en juego para los alumnos en función de las posibilidades de acción, de selección, de decisión, de control y de validación de las que ellos disponen y se prevén los comportamientos posibles teniendo en cuenta la posibilidad de que sean el resultado de la puesta en práctica del conocimiento contemplado por el aprendizaje. Se trata del momento de actuar sobre el sistema.

El profesor fue poco tenido en cuenta en esta fase de los análisis a priori en los comienzos de la ingeniería didáctica, y esto se vincula con razones históricas. La didáctica de las matemáticas se desarrolló en Francia sobre la base de la teoría constructivista del conocimiento y en esta perspectiva es primordial restituir el lugar del alumno que no es tenido en cuenta por las teorías conductistas del aprendizaje. Así el docente tuvo de alguna manera que pagar el precio de que el estudiante haya sido el actor principal en el devenir de la teoría y las situaciones de institucionalización se introdujeran mucho más tarde que las de acción, formulación y validación. En este análisis a priori, al estudiante se lo tiene presente tanto en lo descriptivo como en lo predictivo, pero al docente solo en lo descriptivo, como si la situación lo determinara por completo en su accionar (Artigue, 1995). Es por esto mismo que en ciertas ocasiones sus intervenciones suelen considerarse como “ruido” en el funcionamiento didáctico en relación con el funcionamiento cuyo estudio se privilegia, que es el de las relaciones entre el estudiante y el medio con

respecto al saber. Podría decirse que la producción de la noción de contrato didáctico en el marco de la teoría de las situaciones posiciona al profesor como otro actor importante en la escena didáctica y su papel comienza a ser previsto en el análisis a priori como el de un actor central en referencia a los dos procesos antagonistas que, en la teoría de las situaciones didácticas, gobiernan las relaciones entre saberes y conocimientos: el proceso de devolución y el proceso de institucionalización. (Artigue 2002)

Este análisis a priori ya debe considerarse como un análisis de control de significado en el sentido de que la ingeniería didáctica que se diseñe deberá poder permitir el control de la relación entre las situaciones diseñadas y la producción de significado por parte de los alumnos. Así, ya en esta fase de concepción de la ingeniería, comienza el proceso de validación.

En la concepción de la secuencia de enseñanza se toman decisiones que involucran variables macro didácticas, concernientes a la organización global de la ingeniería, y variables micro didácticas, concernientes a la organización local. La decisión acerca de las primeras, que precede a la de las segundas, se vincula con las condiciones más generales que se quieren sostener durante la secuencia de clases que se va a diseñar; las micro didácticas se refieren al devenir del proceso de enseñanza. Cabe resaltar que, a pesar de ser presentadas por separado, las decisiones que involucran variables globales y las que involucran variables locales no son independientes; constantemente hay que velar porque la concepción general permita la organización y el devenir de las situaciones locales (Brousseau, 1981).

La fase de los análisis a posteriori

En los análisis a posteriori y validación, la última de las fases, el trabajo consiste en la puesta en acción de las situaciones previstas, el registro de las mismas y el análisis que “se apoya sobre el conjunto de los datos recogidos durante la experimentación: observaciones de las clases de enseñanza, pero también producciones de los alumnos en clase o fuera de ella” (Artigue, 1995 p.48). La información suele complementarse con cuestionarios, entrevistas individuales o en pequeños grupos aplicadas en distintos momentos de la enseñanza o durante ella. Este material es el que permitirá la confrontación del análisis a priori con el análisis a posteriori como base de validación.

Ahora bien, si bien el proceso de validación interna se distingue de los modos

usuales de validación estadística vinculados con las experimentaciones en clase, según los cuales las diferencias mensurables constatadas se relacionan implícitamente con las variables sobre las que se ha influido, en esta metodología la validación es también problemática. En la mayoría de las publicaciones de trabajos de ingeniería la confrontación de los análisis a priori con los a posteriori muestra la aparición de distorsiones que no son analizadas en términos de validación, sino que suelen ser señaladas como aspectos de la ingeniería a modificar; de alguna manera se puede advertir un intento de reducirlas sin observarse un compromiso más fuerte con un proceso de validación. Aline Robert (1992) responde a la pregunta que ella misma formula acerca de qué es probar en didáctica de las matemáticas; considerando que el campo de la didáctica se relaciona con el de una ciencia humana, su objeto no es establecer “teoremas” ni leyes sino más bien llegar a poner en evidencia algunas regularidades en el interior del sistema considerado.

Sin embargo, sin olvidar los problemas referentes a la validación referidos, es necesario destacar que la ingeniería didáctica contribuyó a que el investigador se sumergiera en la complejidad del sistema que estudiaba. Si bien, por las características de su construcción, en los desarrollos de ingenierías se corre el riesgo de no advertir fenómenos que sí son identificados en observaciones más naturalistas, éstas permiten evidenciar fenómenos didácticos que se le escapan a las metodologías más externas a la clase. La noción de institucionalización, por ejemplo, debe su existencia a la ingeniería didáctica

La transmisión de las secuencias

Con referencia al tema de la transmisión de las secuencias de enseñanza a los docentes, es de tener en cuenta que es necesario no sólo un estudio de las concepciones de los estudiantes sobre la noción que se va a enseñar, sino también un estudio de las representaciones del profesor acerca del contenido puesto en juego, por un lado, y de los conocimientos anteriores y la forma de construir conocimiento de los estudiantes, por otro. Muchas veces sorprenden a los investigadores iniciativas imprevistas del profesor que lleva adelante la secuencia de enseñanza que ellos concibieron; sucede que el docente también interpreta la situación y esa interpretación debería ser objeto de estudio en sí misma y no ser

vista como un “ruido” inevitable en la experimentación⁵.

Robert y Robinet (1989), sostienen que la transmisión está condicionada por las conductas de los profesores en clase y que estas conductas no son improvisadas, sino que, si bien suelen estar guiadas por lo que sucede en el momento en la clase, dependen de la personalidad del docente y sus concepciones sobre la disciplina y sobre la enseñanza. En función de esto es que formulan la hipótesis de que debe existir cierta compatibilidad entre los investigadores que concibieron la ingeniería y la de los profesores que van a llevarla a cabo para que haya un buen funcionamiento de la transmisión didáctica.

La posibilidad de transmisión de los diferentes tipos de resultados de la ingeniería por fuera de la comunidad de investigadores cambia según se trate de los resultados relacionados con las concepciones y los obstáculos o con los resultados de la ingeniería. Las dificultades en la transmisión estarían vinculadas con: la falta de adecuación entre las concepciones sobre el aprendizaje de quienes reciben los resultados y aquellas que subyacen a la producción de la ingeniería; la complejidad de los productos de la ingeniería y el nivel de conocimiento disciplinar y pedagógico que se requiere para su gestión; la distancia entre las características de estos productos y el funcionamiento habitual de la enseñanza; la descripción misma de los productos que se centra más en las rupturas cognitivas y menos en los aspectos más continuos y comunes del aprendizaje.

A este respecto de la transmisión Brousseau afirma que la descripción sistemática de las situaciones didácticas es el medio más directo para discutir con los maestros acerca de lo que hacen o podrían hacer, y para considerar cómo tomar en cuenta los resultados de las investigaciones en otros campos. La teoría de las situaciones aparece entonces como un medio privilegiado, no solamente para comprender lo que hacen los profesores y los alumnos, sino también como un medio

⁵ En la actualidad varios investigadores estudian las representaciones de los profesores sobre el objeto a enseñar. Algunos han indagado las representaciones de los docentes de los niveles primario y secundario (Ortiz Casallas, 2009; Peredo Merlo, 2011, Tiburcio Esteban, 2009, Amadeo, 2005) y otros las representaciones de los docentes universitarios (Cisneros Estupiñan, 2005; Corrado Eizaguirre, 2004)

de comunicación entre investigadores y con los profesores (Brousseau, 1999)

Cabe comentar que aun cuando la Didáctica de las Matemáticas adoptó una aproximación sistémica, desde sus comienzos ha concentrado su mirada sobre el sujeto que aprende y sus interacciones con el saber; el docente, tanto como partenaire del investigador en la concepción y la experimentación de las ingenierías, como usuario potencial de los resultados de la investigación, permanecía como una figura poco tenida en cuenta, poco cuestionada. Es desde fines de los años '80 que el docente es considerado como otro actor importante de la situación didáctica, tan imprevisible como los alumnos en sus comportamientos. La creación de los IUFM va a sostener y amplificar esta toma de conciencia acerca de la importancia del docente. La investigación ha progresado mucho en esa dirección contribuyendo a que los investigadores tomen conciencia de la complejidad del trabajo del docente,

(...) quien tiene que generar un ambiente dinámico, abierto, de la diversidad y la fuerza de las restricciones que se ejercen sobre este trabajo, de la coherencia de las prácticas observadas en los docentes expertos, pero también de la distancia existente entre, por un lado, esas prácticas y los modos de tomar información y decisión que subyacen a ellas y, por otro, las construcciones propuestas por las ingenierías didácticas (Roditi, 2001, citado por Artigue, 2002, p.5)

No obstante los avances, a fines de los años '80, el concepto de ingeniería didáctica comienza a ser cuestionado porque en la investigación en el nivel secundario y en el superior los propósitos enunciados son más difíciles de cumplir y porque además persiste la dificultad del control de las ingenierías más allá de los ambientes experimentales donde fueron construidas (Artigue, 1988). Pero el principal cuestionamiento recae sobre la existencia de una situación fundamental para todo concepto, es decir de una situación característica del saber en juego donde éste sea óptimo, en el sentido explicitado en párrafos anteriores. Además, aun cuando existiera una situación fundamental, el trabajo universitario no es necesariamente compatible con el tipo de encuentro a-didáctico que se persigue instalar.

Las interacciones con el milieu no son suficientes para hacer

accesible todo el trabajo matemático requerido, de manera autónoma, en un lapso razonable. La cuestión que se plantea entonces al investigador es, en el marco de las condiciones existentes, organizar las mediaciones del docente de manera que, en la resolución del problema planteado, la distribución de las responsabilidades entre docente y estudiantes se vea optimizada, en el sentido de la devolución a los estudiantes de una responsabilidad máxima. Si nos situamos en el marco de la teoría de las situaciones no podemos ya, por lo tanto, vincularnos con una situación única, sino con una sucesión de situaciones. (Artigue, 2002, p. 2)

En cuanto al problema ya mencionado de la dificultad del control y de la difusión de los productos de ingeniería surgidos de las investigaciones, ya a fines de los '80 estas cuestiones fueron identificadas y se ensayaron explicaciones referidas al desfase existente entre los principios que se encuentran en la base de las ingenierías concebidas y las representaciones meta cognitivas de los usuarios potenciales. Pero el desarrollo de las investigaciones sobre el docente a partir de los años '90 contribuyó a matizar esta interpretación y a interrogarse más generalmente sobre la situación de los objetos de ingeniería construidos en relación con las prácticas existentes y sobre sus condiciones de viabilidad en la institución escolar.

Más recientemente las relaciones entre investigación y enseñanza ordinaria han sido objeto de reflexión entre los teóricos de este campo, pero partiendo de la ingeniería didáctica no sólo como medio para hacer aparecer fenómenos didácticos a través de la investigación, sino para hacer evolucionar la enseñanza usual. (Perrin-Glorian, 2009). Al respecto señala Brousseau (2005) que se puede distinguir la ingeniería de producción y de desarrollo que persigue la mejora de la enseñanza, de la ingeniería como fenómeno técnico que tiene por objeto permitir el estudio empírico de fenómenos didácticos en circunstancias compatibles con la ética de la enseñanza. Sin embargo, actualmente la ingeniería didáctica comienza a ser considerada al mismo tiempo que un instrumento para la investigación como un dispositivo de enseñanza y aprendizaje en el aula. Además, la puesta en práctica en la enseñanza usual, no controlada, de las situaciones producidas por la investigación surge casi independientemente de la iniciativa de los investigadores. La ingeniería didáctica se sitúa entonces en la interfaz entre la investigación y la enseñanza usual.

“Pensar el problema de la ingeniería didáctica es pensar, en la relación entre el desarrollo actual y el devenir de la didáctica de la Matemática, el problema de la acción y de los medios para la acción sobre el sistema de enseñanza” (Chevallard, 1982, citado por Perrin Glorian, 2011).

A partir de este interés por el análisis del funcionamiento de clases habituales con herramientas de la teoría de las situaciones didácticas, el estudio de la acción y de los medios de la acción sobre el sistema de enseñanza requiere una extensión de la idea de ingeniería didáctica. El problema no es ahora solamente el del control y de la puesta en práctica de los principios teóricos que guían la ingeniería didáctica; es también el de las posibilidades de la adaptación de las situaciones para los docentes, dentro de las condiciones habituales de funcionamiento de la enseñanza y con la doble perspectiva del estudio de la robustez de una secuencia de situaciones y de la formación de los docentes. Así, en el estado actual, la ingeniería didáctica de desarrollo es a la vez una ingeniería didáctica para el desarrollo de recursos y para la formación de docentes que participan en ella.

Cabe destacar que la cuestión del tamaño de las ingenierías y la producción de recursos es importante porque si bien una situación aislada se difunde fácilmente, no se suele poder atender los efectos de fondo que produce en la enseñanza; incluso puede provocar efectos negativos. Se ha constatado en cambio que una ingeniería más grande, más articulada, se difunde más fácilmente. Parecería que los recursos que provienen de la ingeniería que se va a difundir deben al menos partir de un tema de estudio, deben permitir que los docentes puedan capturar el punto de vista desde el cual ese tema se está abordando y poder pensar la cuestión como algo más global. Así los recursos que se difundan no deberían provenir de acotadas incursiones en un nivel o sector de estudio. (Perrin-Glorian, 2009). A su vez esta ingeniería de desarrollo está fuertemente ligada a la investigación sobre los saberes matemáticos necesarios que los docentes necesitan para enseñar y, en ese sentido, ella está vinculada a la formación.

Capítulo 3. La lectura en Ciencias Naturales

A comienzos del siglo XX la lectura era concebida como un proceso de descifrado de lo que está escrito; aprender a leer consistía, en consecuencia, en lograr el dominio de las palabras para ponerlas juntas, desentrañar significados y adquirir vocabulario (Goodman, 1982). Se hacía referencia a la lectura como un proceso divisible en sus partes componentes, la comprensión era una de ellas, el sentido estaba en el texto y el lector debía extraerlo. (Dubois, 1994). Pero no sólo se pensaba que la lectura podía ser desagregada en sus distintos elementos, sino que éstos podían a su vez ser ordenados según su complejidad y así ser enseñados progresivamente. En consecuencia, podría decirse que el lector comprendía el texto cuando había podido extraer el significado que en él se hallaba, porque se admitía que el sentido del texto estaba en sus palabras y sus oraciones, y que el papel del lector residía en descubrir dicho sentido

A partir de los años 70 esta concepción se modifica con los aportes de la Psicolingüística que vincula a la Psicología Cognitiva con la Lingüística; uno de sus mayores exponentes es Kennet Goodman. La lectura para a ser concebida como un proceso de construcción de significado a partir de la interacción entre un sujeto que lee y un texto escrito, y deja de ser caracterizada como un conjunto de actividades sueltas para ser considerada desde una teoría de comprensión global. El sentido no está en las palabras ni en las oraciones que forman un texto, sino en la mente del autor y del lector cuando hace su interpretación del texto. Desde esta perspectiva, cuando se lee se ponen en juego diferentes estrategias, entre ellas la anticipación y la verificación.

Al leer se ponen en juego diversas estrategias lectoras, entre ellas la anticipación y la verificación. Es decir, el sujeto que lee va elaborando hipótesis acerca de lo que el texto dice a medida que va avanzando en el recorrido por las líneas. Varios saberes intervienen en la construcción de esas hipótesis, el saber sobre el sistema de escritura, el saber sobre los textos, el saber sobre el mundo y el saber sobre el tema específico sobre el que trata lo que se está leyendo. (Goodman, 1984. Smith, 1983). Tanto los lectores expertos como los principiantes ponen en juego las

mismas estrategias al leer. La diferencia está dada por el grado de eficacia con que cada lector pone en acto este proceso permanente entre anticipación y verificación. En consecuencia, habrá que poner en contacto a los niños con los textos y las prácticas lectoras lo más tempranamente posible para contribuir al aprendizaje de la anticipación y la verificación (Espinoza et. Al (2009)

En este mismo contexto Smith, (1983) sostiene que leer es correr riesgos. Dos fuentes de información interactúan en el acto lector: la visual, que es la información gráfica disponible (las letras, sus agrupamientos, los signos de puntuación, la disposición espacial, el material gráfico, etc.), que desaparece cuando termina el acto específico de leer, y la información no visual que no abandona nunca al lector y se vincula con el conocimiento del idioma, del tema sobre el que se lee y de cómo leer. Otra información no visual que reconocen Ferreiro y Teberosky (1979) es el soporte material del texto (libros, folletos, revistas, etc.). Ambos tipos de información intervienen una en función de la otra; cuanto mayor es la información no visual, menos se requerirá de la información visual y viceversa. Cabe reflexionar que cuando el alumno lee para aprender, tiene poca información sobre el tema que es objeto del texto, y que esta falta de información no visual afecta fuertemente la interpretación que él hace.

La enseñanza de la lectura en Ciencias Naturales

Pasar de concebir a la lectura como un proceso de descifrado de marcas de un texto a un proceso en el que tanto el texto como el lector aportan a la construcción de significado, tiene consecuencias en la enseñanza. En el primer caso se enseña desde lo más simple a lo más complejo, de las letras o sílabas a las palabras y oraciones, luego a la comprensión literal y posteriormente la lectura crítica. En cambio, en el segundo caso, cuando se considera que tanto el lector como el texto aportan a la construcción de significado, el modo de enseñar a leer cambia: la práctica lectora se presenta a los alumnos con toda su complejidad desde el inicio, aun cuando los lectores no están en condiciones de leer por sí mismos todo lo que se les propone. Esta práctica que se les presenta incluye, como toda práctica social

de la lectura, un propósito, y se propicia que los alumnos participen de ella desde sus propias posibilidades. Subyace a esta práctica de enseñanza de la lectura que el participar de actos lectores contribuirá a su apropiación por parte de los alumnos.

Esta nueva manera de enseñar a leer se nutre de los aportes que brindó la Psicolingüística en los últimos 35 años y que permitieron interpretar el lugar que ocupan los saberes que el sujeto posee en el proceso de construcción de significados, en interacción con un texto (Smith, 1983; Goodman, 1980). Además, variadas investigaciones en enseñanza de las Ciencias Naturales brindaron interpretaciones sobre el proceso de aprendizaje que aportaron abundante información acerca de muchas de las ideas que los alumnos suelen tener sobre los fenómenos naturales (Driver, 1986, 1989; Giordan, 1988).

“Volverse lector en un dominio específico significa aprender a participar de un paradigma, en el mismo sentido en que Kuhn⁶ propuso esa noción para describir una comunidad científica que comparte un mismo conjunto de textos, un mismo conjunto de interpretaciones y un mismo conjunto de creencias con respecto a los problemas que se investigan” (Olson, 1998, p.301).

La conceptualización de la enseñanza de la lectura en Ciencias Naturales puede tomar como punto de partida las siguientes palabras de Delia Lerner

(...) para concretar el propósito de formar a todos los alumnos como practicantes de la cultura escrita, es necesario reconceptualizar el objeto de enseñanza y construirlo tomando como referencia fundamental las prácticas sociales de lectura y

⁶ Kuhn, T. Filósofo norteamericano según quien la desorganizada y diversa actividad que precede a la formación de una ciencia se estructura y dirige finalmente cuando una comunidad científica adhiere a un solo paradigma. Un paradigma está constituido por los supuestos teóricos generales, las leyes y las técnicas para su aplicación que adoptan los miembros de una determinada comunidad científica. Los que trabajan dentro de un paradigma, ya sea la mecánica newtoniana, la óptica ondulatoria, la química analítica o cualquier otro, practican lo que Kuhn denomina ciencia normal. La ciencia normal articulará y desarrollará el paradigma en su intento por explicar y acomodar el comportamiento de algunos aspectos importantes del mundo real, tal y como se revelan a través de los resultados de la experimentación. Al hacerlo experimentarán inevitablemente dificultades y se encontrarán con aparentes falsaciones. Si las dificultades de ese tipo se escapan de las manos, se desarrolla un estado de crisis. La crisis se resuelve cuando surge un paradigma completamente nuevo que se gana la adhesión de un número de científicos cada vez mayor, hasta que finalmente se abandona el paradigma original, acosado por problemas. El cambio discontinuo constituye una revolución científica. El nuevo paradigma, lleno de promesas y no abrumado por dificultades en apariencia insuperables, guía entonces la nueva actividad científica normal hasta que choca con serios problemas y aparece una nueva crisis seguida de una nueva revolución

escritura. Poner en escena una versión escolar de estas prácticas que guarde cierta fidelidad a la versión social (no escolar) requiere que la escuela funcione como una microcomunidad de lectores y escritores Lerner. (2001, p.25).

Estos aportes de la Didáctica de la Lectura nos alertan acerca de la necesidad de tomar como referencia tanto los textos como las prácticas de lectura de la comunidad científica como insumos necesarios para pensar qué prácticas de lectura en Ciencias Naturales será interesante propiciar en la escuela, de manera tal que dicha práctica tenga su correlato fuera de ella. No se trata de replicar en el aula las prácticas de la comunidad científica sino de tenerlas como referencia, de manera que se puedan reconocer, en las prácticas lectoras escolares, rasgos propios del campo disciplinar

Además de tomar como referencia las prácticas lectoras de la comunidad científica para el aprendizaje de la lectura en Ciencias Naturales es indispensable apropiarse, según Lemke (1997), del vocabulario hablado en ciencia, que va mucho más allá del vocabulario específico. En este sentido explica este autor que hablar ciencia es una forma particular de unir las palabras, formular preguntas, argumentar, razonar, generalizar, que permite compartir un determinado patrón semántico, es decir una particular forma de establecer relaciones que llevan a construir un sentido particular a lo que se dice.

(...) hablar científicamente es el dominio de los patrones temáticos de cada tema científico. Estos patrones de relaciones semánticas entre términos científicos están altamente estandarizados en cada campo de la ciencia: cada libro de texto, cada artículo y toda exposición cuidadosa hecha por el profesor en un aula, utiliza los mismos patrones (Lemke, 1997, p. 41)

La pregunta es entonces: si, para Lemke, aprender ciencia es aprender a hablar científicamente ¿cómo aprenden a hablar científicamente los alumnos, si ellos llegan a la escuela con diversos saberes, pero sin los patrones semánticos ya internalizados? La respuesta que puede inferirse de la propuesta de Lemke a este interrogante es que aprenden ciencia a través de la lectura de textos científicos, ya

que para él existe una relación muy estrecha entre el lenguaje formal, escrito, y el científico. “(...) el lenguaje científico hablado resulta más cercano al lenguaje formal escrito que al habla coloquial.” Lemke (1997, p.183). Sin embargo, cabe aclarar que no se está acordando con que aprender ciencia es solamente aprender un lenguaje; la perspectiva epistemológica que subyace a este trabajo, y a la investigación que es objeto de estudio, se aleja de la postura del autor citado; sólo se retoman sus conceptos para el estudio específico de la lectura en el área. Estudios que comparten la perspectiva sociocultural –y que se han inspirado en la teoría vigotskiana para analizar la distinción entre los conceptos cotidianos y los conceptos científicos a partir del estudio de situaciones de clase (Shepardson, 1996)– han puesto de manifiesto que el lenguaje social es una herramienta necesaria pero no suficiente para aprender ciencias, ya que los alumnos y el docente pueden compartir una terminología pero percibir y significar los fenómenos de diferentes maneras. Castorina (1998, 2000b) ha realizado una crítica epistemológica de la teoría semiótica de la enseñanza enmarcándola en la concepción del constructivismo social sobre la naturaleza de la ciencia, fundamentalmente objeto tres cuestiones: la primera es en que se le da mayor importancia a la deliberación o al recurso argumentativo en comparación con la verificación empírica, reduciéndose las relaciones del alumno con el material empírico y restándole importancia a las interacciones del sujeto-alumno con los objetos. La segunda crítica reconoce que la enseñanza de las ciencias involucra procesos de semiosis social pero que no se reduce a ellos. Y la tercera apunta a la desaparición en sentido epistemológico del cambio conceptual, en tanto desde esta teoría no sería posible determinar cuándo un conocimiento es de mayor validez. De este modo, el saber cotidiano y el saber científico constituirían dos “modos de hablar” simétricos e incomparables sin considerar que la construcción conceptual depende no sólo de la situación interactiva que se genere en el aula (Candela, 1996), sino también de los límites y potencialidades que presentan los modos de razonamiento de los alumnos.

Ahora bien, avanzar en el análisis de las dificultades y los alcances de un texto para tomar decisiones acerca de las condiciones en las que la lectura será presentada para que los alumnos puedan acceder a una comprensión lo más cercana posible a lo que allí se comunica, requiere tener en cuenta el marco conceptual del alumno.- que no sólo incluye la cercanía o distancia que el mismo tiene con el conocimiento disciplinar sino también su trayectoria como lector- y la tipología textual del texto

que se propondrá leer, su legibilidad, la complejidad de su trama, su coherencia y su estructura. Pero también requiere efectuar consideraciones acerca del recorte particular de contenidos que se tratan, de la rigurosidad con la que el conocimiento es presentado y estar conceptualmente en condiciones de reponer lo *no dicho* del conocimiento incluido en el texto.

*La expresión no dicho hace referencia al sentido con el que debe ser interpretado eso que está escrito, es decir, cómo deberían ser tomadas esas expresiones (Olson, 1998)ⁱ. La interpretación de un texto estará entonces fuertemente relacionada con la posibilidad de “compensar” eso “no dicho” y dicha compensación estará atravesada por las ideas que el lector posee. Sucede que al escribir el autor hace una selección de todo aquello que podría decirse sobre un determinado tema, pues tiene presente, entre otras cuestiones, los propósitos que persigue, el para qué de su escrito así como los potenciales destinatarios: para quiénes. Esa selección, que realiza el autor, interviene fuertemente en la interpretación que hace un lector: es preciso identificar lo que el texto dice, pero también saber que el autor deliberadamente deja conceptos sin decir debido al recorte particular de contenidos que efectúa, así como lo “no dicho”. En su texto *El mundo sobre el papel* Olson considera que la escritura tiende a interpretarse como una representación completa de lo que se dice. Su hipótesis es que los enunciados escritos tienden a especificar lo que se dice y son ambiguos en el sentido de cómo esto que se dice debe ser tomado. (Espinoza et al. 2009)*

Cuando en el marco de la enseñanza de las Ciencias Naturales se presenta un texto a los alumnos, se espera que ellos arriben a una interpretación lo más ajustada posible a los contenidos para los cuales ese texto fue seleccionado. Sin embargo se sabe que ellos van a interpretar lo que leen de acuerdo a su trayectoria como lectores, a los conocimientos que posean sobre el tema y a las condiciones didácticas en las que la lectura se presenta; entre estas condiciones se puede destacar

que el contenido con el que están interactuando en esa práctica lectora sea posible de relacionar con otros conocimientos del área.

Aprender a partir de un texto obliga a realizar una lectura minuciosa, detenida, con gran esfuerzo de acomodación, es decir, un trabajo intelectual importante que implica sostener una postura crítica, autónoma y comprometida. Al respecto se han desarrollado distintas caracterizaciones de las dificultades que los alumnos encuentran frente a la lectura y diversos modos de abordarlas y vías para resolverlas. Desde la teoría socio-cultural se destaca la centralidad del contenido específico y se reconoce la importancia del contexto de lectura para la interpretación de los textos seleccionados para la enseñanza. Diversos estudios aluden a que las dificultades de los alumnos al leer textos expositivos están directamente relacionadas con el conocimiento de los contenidos específicos que éstos portan (Prat, 2000; Astolfi, Peterfalvi y Vérin 1991) y algunas investigaciones refieren a la posibilidad de favorecer interpretaciones más cercanas al objeto de enseñanza al instalar un propósito lector genuino de los alumnos en el transcurso de la secuencia de enseñanza en la que se incluye la lectura (Espinoza et al, 2009; Espinoza, 2010).

Con la expresión *propósito lector* se quiere hacer referencia a la posibilidad de que el alumno lea por un interés propio, por saber, que le pueda otorgar sentido a la lectura que realiza y que ese mismo sentido la oriente, que su práctica lectora se parezca a cuando se lee para satisfacer una necesidad o un deseo, que propicie la búsqueda de respuestas a preguntas genuinas, la revisión de las propias ideas, la resignificación y relación entre los conceptos, más allá de que la situación que lo llevó a tener esa necesidad haya sido diseñada por el docente. Se busca propiciar prácticas lectoras semejantes a las de los lectores expertos que indagan sobre un determinado tema.

Frente al reconocimiento de las dificultades que los alumnos enfrentan para interpretar los textos del área de Ciencias Naturales, en algunas publicaciones se propone el desarrollo de orientaciones para mejorar la calidad de los textos de circulación habitual en la escuela; sin embargo, concebir esas orientaciones como resolución del problema supone desconocer las limitaciones que un texto inevitablemente encierra, por su misma condición de texto. Otra perspectiva es en cambio considerar la cuestión de la interpretación de un texto como un problema didáctico y avanzar en el diseño y estudio de situaciones de enseñanza que favorezcan una buena aproximación al conocimiento disciplinar que en el mismo

se comunica, al mismo tiempo que se contribuye a un avance en el reconocimiento del tipo de textos del área, importante herramienta de aprendizaje tanto dentro como fuera de la escuela.

Acerca de los textos de Ciencias Naturales

Una primera cuestión que habilita a detenerse a caracterizar los textos de Ciencias Naturales es que esta caracterización puede contribuir a la comprensión de la complejidad que encierra leer este tipo de textos. Se puede pensar entonces en el tipo de discurso que se utiliza en ellos para comunicar el saber. Sutton (1997) y Jacobi (1987) diferencian una lógica vinculada al trabajo de investigación de otra relacionada con la comunicación de ese saber como producto terminado. Los propósitos de estas dos lógicas son diferentes: en el caso de la investigación, lo que se escribe está al servicio de sostener y estructurar el desarrollo investigativo, mientras que cuando el objetivo es comunicar el estado de la cuestión -los hallazgos- es necesario reordenar los procedimientos que tuvieron lugar en la investigación de manera que se presenten a través de un discurso fuertemente estructurado, al servicio de la comprensión de lo producido. Se trata en este último caso de despojar al texto de las marcas de la subjetividad propias del proceso de producción del saber científico, para transformarlo en conocimiento “objetivo”. Esta condición, a pesar de que es reconocida por los lectores de textos del área, contribuye a otorgar una cierta ilusión positivista en la concepción de ciencia.

El texto que se escribe para comunicar a la comunidad científica nuevos hallazgos o alguna reconsideración sobre anteriores comunicaciones, no incluye un relato exhaustivo y cronológico de los distintos momentos de la investigación, aunque sus lectores están en condiciones de reconstruirlos a partir de las referencias a ciertos elementos seleccionados de la realidad que aparecen en ellos, a algunos de los procedimientos realizados, al registro de datos o mediciones efectuadas durante el trabajo. Se puede agregar que el lenguaje es preciso, riguroso y el discurso suele ser denso, cargado de información. Estos textos suelen incluir gráficos, esquemas, símbolos, expresiones matemáticas; el género al que pertenecen es el informativo y su trama es argumentativa; la argumentación puede identificarse en el uso que el autor hace de determinada teoría para explicar ciertos fenómenos.

Las posibilidades del lector y el texto que se lee en la escuela

Los comportamientos lectores que se ponen en juego cuando se lee para aprender Ciencias Naturales pueden también interpretarse a partir de las reflexiones posibles de realizar sobre los textos. Se consideran a continuación algunas características de los textos que leen los alumnos en la escuela

Relacionada con lo ya escrito en el apartado anterior, se retoma la cuestión de que los textos escolares ya no ostentan marcas de subjetividad, pues constituyen prácticamente la última etapa de los sucesivos pasajes desde el discurso científico a través de los distintos géneros de publicación; así, las huellas de quiénes produjeron el conocimiento y en qué contexto político y social, se han perdido en los manuales. El conocimiento se presenta, en cambio, en estos últimos como objetivo, neutro, despojado de toda implicancia. Sutton (1997) refiere a dicha transformación de los escritos con los conceptos de “lenguaje como sistema interpretativo”, aquel que comunica huellas de condiciones de producción, de novedad, de provisoriedad, y “lenguaje como sistema de etiquetaje”, los fenómenos en este caso se nombran, se definen, se naturalizan, como si siempre hubiesen sido comprendidos de esa manera. Este uso del lenguaje como sistema de etiquetaje en los textos escolares podría contribuir a que los alumnos tengan una visión deformada de la ciencia.

Por otro lado, es habitual que quienes escriben textos para la escuela utilicen un lenguaje que no es el específico del área, sino que, con el afán disminuir la distancia entre el lector y el texto, hagan uso de un lenguaje más coloquial. Esto suele generar en los lectores la sensación de que el texto es fácil y que han comprendido lo que en él se intenta comunicar. Sin embargo, suele suceder que lo leído sólo está disponible para ser repetido ante preguntas del docente y por un determinado tiempo. Puede interpretarse que la lectura sin mediación didáctica que la problematiza, que la acompaña con otra información no alcanza para aprender.

La mayoría de los textos didácticos no incluyen en sus producciones lo nuevo, lo original; en la escuela, en el área de Ciencias Naturales, se enseña solamente aquello que ya ha sido consensuado por la comunidad científica. Esto contribuye a cierta uniformidad de los textos escolares en cuanto al recorte de contenidos que presentan; las diferencias se encuentran, en cambio, en el desarrollo, en el alcance de dichos contenidos, en el lugar que ocupan las ilustraciones, la

información que éstas aportan, la utilización de analogías y la concepción de ciencia. En los párrafos siguientes se hace referencia a estas cuestiones

Las ilustraciones que se incluyen en los libros de texto pueden cumplir una función predominantemente decorativa, pero también pueden ser una importante fuente de información. Es importante detenerse a considerar el marcado nivel de abstracción que poseen las que se incluyen con función informativa, porque suelen utilizar gráficos de barras, circulares o cartesianos, con diferentes unidades y escalas que necesariamente obligan al lector a actualizar y resignificar herramientas de la matemática en relación con el contenido que se intenta comunicar, o usan simbología específica de la física, la química o la biología, incluyen rótulos con terminología técnica y están acompañadas de epígrafes que aclaran o agregan información (Astolfi y Ginsburger-Vogel, 1987). Pero no sólo es necesario estar familiarizado con estas formas de representación para comprender lo que ellas comunican, sino que también hay que poder interactuar con el texto en un ida y vuelta con las ilustraciones; se trata entonces de un complejo proceso de interpretación (Robert, 1987) que no se da espontáneamente.

Para favorecer en el lector la construcción de representaciones sobre el tema, los textos incluyen, con frecuencia, analogías. Es común que los autores utilicen analogías cuando quieren comunicar una idea que consideran importante, y que no se muestra sencilla de ser interpretada. Sin embargo, no es fácil comprender el sentido con el que la analogía se propone, porque es necesario discernir en qué se asemejan y en qué se diferencian el fenómeno en estudio y el análogo.

Otra característica de los libros de texto es que incluyen actividades. Se suelen proponer en ellos experiencias para que los alumnos realicen, relatos de experimentos para colaborar con la comprensión de lo que se comunica, preguntas para responder al finalizar la lectura, o al inicio del texto -con lo que el lector ya sabe del tema-, preguntas retóricas que no se espera que sean respondidas, tablas en las que se visibiliza información a ser usada para las respuestas, etc. (Astofi y Ginsburger-Vogel, 1987).

Pero a pesar de todas las transformaciones que se realizan para hacer accesibles los conocimientos de Ciencias Naturales, los textos de esta área son difíciles porque para acceder a un conocimiento del área siempre hace falta recurrir a otros conceptos con los está relacionado. Un ejemplo de esta característica es, por ejemplo, que no se puede concebir un abordaje del concepto de materia sin hacer

referencia a las sustancias, a la temperatura, al calor, a los estados de agregación, etc. aun cuando ellos no sean necesariamente el objeto de enseñanza en el momento del acto lector. Cada uno de los términos recién mencionados remite a un concepto de las Ciencias Naturales que el alumno no posee, aunque tenga ciertas ideas sobre ellos. Hay que agregar que muchos de esos términos tienen una o varias acepciones en el lenguaje cotidiano y otra en el campo científico. Este carácter polisémico de los términos no contribuye a una interpretación ajustada por parte de los lectores. Por ejemplo, en un texto se puede encontrar la expresión “los gases se escapan del recipiente”; sin embargo, eso no significa que el autor del texto le haya querido adjudicar intencionalidad a los gases, aunque sí puede ser interpretado como intencional dicho comportamiento por los lectores alumnos.

Por otro lado, hay obstáculos epistemológicos que operan en la construcción de conocimientos científicos, que constituyen dificultades inherentes al conocimiento específico que se intenta enseñar: el animismo, la intencionalidad de los fenómenos, la atribución del mismo comportamiento macroscópico observable a lo microscópico, el carácter modélico de lo que se dice e incluso la misma concepción de ciencia. Hay algo diferente en lo que se dice en ciencias que, al no resultarle comprensible, el alumno lo suele obviar; por ejemplo, la teoría cinético molecular propone la existencia de partículas que vibran, para interpretar el comportamiento de un material en estado sólido, pero esta versión está muy alejada de lo que comúnmente se puede observar. El modelo se propone para explicar la constitución de la materia, pero la observación de los objetos sólidos no colabora con esta explicación, sino que justamente la contradice. La distancia entre lo macroscópico y lo microscópico es anti intuitiva y difícil de comprender.

También es de considerar que los textos expositivos pueden incluir una trama argumentativa; pero hay distancia entre el modo de argumentar de los textos científicos y el de los didácticos. Se puede hacer referencia a una manera de argumentar que puede ser comprendida como tal por un alumno, y que un texto didáctico puede incluir. Un ejemplo de esto es cuando se argumenta a favor de un concepto, modelo o teoría presentando variadas situaciones en las que los mismos se utilizan para explicar fenómenos. Existe otro plano, y es el que intentaría dar cuenta de las condiciones en las que esos conocimientos fueron construidos, de las razones que contribuyeron a su producción, que no es abordable por los alumnos que no poseen los conocimientos que les permitirían comprender las razones de las

continuidades y las rupturas entre cómo se pensaban los fenómenos en el pasado y cómo la ciencia los piensa en la actualidad

El concepto de fuerza ilocucionaria, o lo no dicho -como ya se ha hecho referencia en este capítulo- permite complejizar la comprensión del problema de la enseñanza de la lectura. Las analogías, las ilustraciones, los experimentos que se incluyen en los textos de Ciencias Naturales requieren, si se pretende que estén al servicio de la comprensión por parte de los alumnos, una mediación didáctica; porque los alumnos lectores no están en condiciones de reconocer aquellas marcas que dan cuenta del sentido en que están planteadas. Como ya se señaló, comprender, por ejemplo, una analogía, implica distinguir en qué se parece y en qué se diferencia los fenómenos que se están comparando; para ello es necesario detenerse en ella e intentar comprender qué se está queriendo comunicar a través de ella. Esto no lo puede realizar el alumno por sí mismo, es necesaria una orientación del docente, es necesario enseñar a leer analogías.

Las ilustraciones y las experiencias que se proponen en los textos también requieren orientación didáctica. En el caso de las ilustraciones suele suceder que haya superposición de niveles de representación, lo microscópico, lo sub microscópico y lo macroscópico suelen aparecer yuxtapuestos en algunas imágenes. Los alumnos no adoptan espontáneamente estrategias de lectura que contribuyan a su interpretación; es necesario enseñarles a distinguir los diferentes niveles de representación para que se vayan aproximando al concepto de modelo, en tanto imagen que no pretende mostrar la realidad, sino una manera de pensarla.

Los textos que se leen en la escuela cumplen una doble función: presentar al lector información sobre teorías, fenómenos, hechos y, a la vez, contribuir a la enseñanza de esos conocimientos en la escuela, de acuerdo con los programas de los que ella se rige.

Los textos – desde una perspectiva sociofuncional – son selecciones, recortes, opciones, del potencial de significado contenido en el lenguaje. Todo texto se define como la realización de un potencial de significado: es lo que se quiere decir seleccionado entre una serie de alternativas que constituye lo que se puede decir. (Rodríguez, 1988, p. 4).

Estas palabras tienen una connotación especial en el área de Ciencias Naturales, dada la complejidad del conocimiento que se enseña y la necesidad

de apelar a otros saberes, tan complejos como el que se quiere enseñar, para que el lector pueda construir significado. En este sentido la selección que realiza el autor de un libro didáctico de lo que “se puede decir” para lo que “se quiere decir” es una tarea muy compleja. Y un ejemplo que puede dar cuenta de las consecuencias que pueden tener las decisiones que toman los autores de textos para la escuela, es el de omitir la referencia al concepto de vacío, cuando se presenta la Teoría Cinético Molecular. Porque según esta teoría, la materia está constituida por unidades discretas llamadas partículas, pero no se hace referencia en los textos a qué hay entre las partículas; se omite esa información. Los alumnos no suelen manifestar ninguna inquietud por esta falta de información -puede pensarse que no la advierten- y la mayoría de ellos interpreta que entre partícula y partícula hay aire. Ahora si bien, en el texto no se hace referencia a que en el interior de la materia haya otra materia (aire en este caso), pero tampoco se expresa en otro sentido. Cualquiera de los dos posibles posicionamientos de los alumnos -la no reflexión sobre la separación entre partículas o la presencia de aire entre ellas- trae dificultades al aprendizaje y a la enseñanza de la teoría.

La decisión de omitir en el texto didáctico la referencia al vacío entre partículas parece contribuir a la interpretación que hacen los alumnos acerca de que hay aire; esto puede estar vinculado con la dificultad ya conocida en los alumnos de otorgarle condición de materia al aire y, por otro lado, al obstáculo que históricamente trajo la conceptualización del vacío, y que también es frecuente entre los estudiantes. Es de suponer que aquellos docentes que estén al tanto de las dificultades que pueden tener los alumnos para concebir la existencia de vacío entre las partículas, estarán en mejores condiciones de pensar intervenciones para orientar a los estudiantes y avanzar en la comprensión de la teoría.

Para finalizar este capítulo: para que los alumnos puedan leer, -es decir para que puedan construir significado en interacción con un texto- deben reponer lo no dicho con los saberes que disponen, pero dado que no tienen, ni pueden tener, todos los saberes necesarios para compensar esos huecos, sin distorsionar el sentido con el que debe ser interpretado el texto, es necesario un abordaje didáctico.

Capítulo 4. Método

Como ya se mencionó en la *Introducción* y en el capítulo *Presentación del problema y de los objetivos*, el propósito de este trabajo es analizar la opción metodológica por la ingeniería didáctica adoptada en una investigación didáctica sobre la enseñanza de la lectura en Ciencias Naturales. En dicha investigación, los lineamientos metodológicos son los de la ingeniería didáctica que es, a su vez, una metodología que se desarrolló inicialmente en el seno de la Didáctica de la Matemática francesa. Se trata en el presente trabajo de volver objeto una metodología de investigación didáctica. Las conclusiones a las que se arribará están muy vinculadas al contexto específico –el del caso- por lo que no se pretende que los resultados sean *exportables* a otros contextos. El propósito principal de este estudio está orientado a la comprensión profunda, no a la generalización.

Siguiendo a Ynoub (2015), podría decirse que esta tesis se enmarca en un tipo o esquema de investigación interpretativa en tanto se persigue validar una decisión metodológica –la de la ingeniería didáctica como metodología de investigación en el proyecto UBACyT mencionado- atribuyéndole un nuevo significado a lo producido en la investigación que se toma como objeto de estudio. Si bien habitualmente la investigación interpretativa supone el trabajo directo con sujetos humanos, también puede tratarse del abordaje de producciones hechas por otros investigadores, como es este caso.

La característica más distintiva de los estudios cualitativos es el énfasis en la interpretación, pero ésta no se circunscribe a la identificación de variables y al desarrollo de instrumentos con anterioridad a la recogida de datos, ni al análisis e interpretación para el informe final. Por el contrario, en estos estudios se destaca el trabajo de un intérprete que observa el desarrollo del caso objeto de análisis, alguien que recoge lo que está ocurriendo y que a la vez examina su significado y reorienta la observación para precisar o sustanciar esos significados.

El diseño del presente trabajo es compatible con el estudio de casos, en tanto sistema acotado, integrado, que no persigue la generalización sino el conocimiento profundo de lo que estudia, la comprensión de la realidad. Y se puede hablar de estudio instrumental de caso (Stake 1998) ya que, a partir de comprender el funcionamiento de un proyecto de investigación, analizando el conocimiento

producido en las distintas etapas del mismo, se indaga sobre la fertilidad de la ingeniería didáctica para estudiar la lectura en el área de las Ciencias Naturales.

Las fuentes de datos están compuestas por:

los informes del Proyecto UBACyT: Aisenberg, B. (2000). Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica Programación Científica 1998-2000. Proyecto anual AF48. La lectura “en sociales” y “en naturales”: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje.

Aisenberg, B. (2001) Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica. Programación Científica 1998-2000. Proyecto anual AF48. La lectura “en sociales” y “en naturales”: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje. Informe final. Abril de 2001 y

Aisenberg, B. y Lerner, D. (2003) Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica. Proyectos anuales 2003 Proyecto: La lectura en Ciencias Sociales y en Ciencias Naturales: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje. Informe final abril de 2003

Comunicaciones científicas: Espinoza, A. (2000) Congreso de didácticas especiales. Universidad de Granada

Y documentos internos del equipo de investigadoras, como es el caso del análisis de los textos que leen los alumnos en las entrevistas y en la secuencia de enseñanza.

El diseño “multidimensional” se vincula con la posibilidad de cotejar múltiples dimensiones, característica típica de los análisis en profundidad y de las descripciones densas de los estudios interpretativos (Ynoub, 2015). El concepto de dimensión, más pertinente que el de variable en este tipo de indagación, en la que se estudia la potencialidad de una metodología de investigación, hace alusión a los aspectos relevantes bajo análisis que orientan la aproximación al tema que se investiga. Así, en el trabajo que se presenta en esta tesis se puede hacer referencia a un estudio multidimensional al ser los objetivos: la relevancia de la ingeniería didáctica para la comprensión de la enseñanza y la aplicación de dicha metodología para el estudio de la lectura en Ciencias Naturales.

El primer ordenamiento que enmarca este trabajo ha sido analizar el conocimiento producido en la investigación que es objeto de estudio en cada una de las fases de la ingeniería- la de los análisis preliminares, la de los a priori y la de

los a posteriori. A su vez, en cada una de ellas, se trató de identificar la vinculación de lo producido por el proyecto UBACyT con los componentes de dichas fases en la ingeniería. En el caso de los análisis preliminares se indagó acerca de lo producido en relación a: la práctica usual de la lectura en Ciencias Naturales, el conocimiento didáctico sobre el tema de enseñanza, el análisis epistemológico de los contenidos de enseñanza y las entrevistas a parejas de alumnos en situación de lectura, fuera de clase (en el marco de la preparación de estas entrevistas el equipo de investigación UBACyT realizó un análisis de textos expositivos sobre los contenidos de enseñanza, que también fueron tomados como fuentes de datos para este estudio). En los análisis a priori se analizó lo producido con respecto al diseño de la secuencia de enseñanza en tanto hipótesis de trabajo del equipo de investigación. En los análisis a posteriori el trabajo se centró en cómo fue interpretado por el equipo de investigación lo acontecido en clase en relación a cómo evolucionaron los conocimientos de los alumnos a partir de lo que se propuso durante la secuencia diseñada.

En cuanto a temporalidad, en este tipo de esquema interpretativo se puede considerar la idea de *ciclo* que supone por una parte secuencialidad, pero también clausura y cierre, en el sentido de configuración, totalización o simultaneidad, y como tal se captura como un todo porque del análisis de la secuencias de acciones se pueden identificar configuraciones estructurales. (Ynoub 2015). La idea de ciclo se vincula aquí con el recorte que se realiza para el estudio, ya que se trata de un proyecto de investigación, su desarrollo y sus producciones (informes y comunicaciones científicas).

Si bien este tipo de estudio no persigue la generalización de sus conclusiones, sí se espera que contribuya a la modificación de generalizaciones, en tanto pueda revelar la complejidad de los problemas que se recortan y que suelen ser tratados con cierta simpleza en otro tipo de estudios. En este caso específicamente se puede aludir a que la profundidad con la que, por medio de la ingeniería didáctica, se estudió el tema *la enseñanza de la lectura en el área de las Ciencias Naturales* puede contribuir a poner en duda generalizaciones que aluden a que se enseña a leer de una vez y para siempre y que el área en la que esta enseñanza se desarrolla es la de Lengua. Y puede agregarse que una generalización que sí se persigue, deseable y posible, es la confianza de los investigadores y docentes en este tipo de estudios.

En síntesis, el estudio que se presenta en este trabajo puede caracterizarse como de tipo interpretativo, con un diseño de estudio de caso instrumental, multidimensional y de ciclo. El criterio principal para la elección de un diseño de investigación suele ser el de optimizar las condiciones para el contraste de aquello que se debe describir, explicar o interpretar, entendiéndose como condiciones de contraste aquellas que mejor contribuyen a la detección del asunto que se investiga (Ynoub 2015). En el caso de este trabajo que se presenta se trata entonces de argumentar acerca de si las decisiones que se adoptaron para definir la estrategia empírica son fértiles para la comprensión del tema la *lectura en Ciencias Naturales*.

Consideraciones acerca del proyecto UBACyT, caso que se estudia en este trabajo

El proyecto de investigación que se toma como caso de estudio en este trabajo “La lectura en naturales: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje”ⁱⁱ se propone producir conocimiento acerca de las condiciones didácticas que permitan transitar a los alumnos hacia la comprensión más ajustada de los textos del área. El trabajo de investigación realizado en el marco del mencionado proyecto tiene como objetivo principal el estudio de una secuencia didáctica que se desarrolla en situaciones de clase con alumnos de 12-13 años. El contenido es el de discontinuidad de la materia, que en la escuela argentina comienza a enseñarse en el séptimo grado de la escolaridad primaria, por esta razón éste suele ser el primer contacto formal de los niños con su enseñanza.

La propuesta didáctica se basa en acercar a los alumnos la idea de que la materia está constituida por unas unidades muy pequeñas a las que llamamos partículas, caracterizar los estados de agregación de la materia en función de la movilidad de dichas partículas, e iniciar una primera aproximación a la idea de sustancia al presentar los distintos “materiales” como constituidos por diferentes partículas que los caracterizan.

El docente que coordina el trabajo en el aula no pertenece al equipo de investigación y mantiene encuentros periódicos con el mismo para poder interpretar el sentido que se intenta dar a la secuencia y reflexionar sobre lo acontecido en clase, como así también participar de los ajustes que surjan como necesarios. La decisión acerca de la exterioridad del docente del grupo de investigación tiene su

fundamento en la conveniencia de preservar su intención de enseñanza despreocupándolo de la problemática interna de la investigación y en esa medida sostener el lugar de sus intervenciones ya que podrían ser tan imprevisibles como las de los alumnos. De esta manera se generan condiciones para que la clase se desarrolle lo más “normalmente” posible.

Se pretende que el conocimiento producido en el proyecto UBACyT arroje información para:

- ✓ Aportar conocimiento acerca de las relaciones entre las conceptualizaciones de los alumnos y los logros y dificultades en sus interpretaciones de textos sobre contenidos específicos de las Ciencias Naturales.
- ✓ Avanzar en la conceptualización de condiciones didácticas para las situaciones de lectura, en el marco de secuencias sobre contenidos específicos, tendientes a promover en los alumnos: el involucramiento lector, las interpretaciones más ajustadas posibles de los textos y el establecimiento de relaciones entre las interpretaciones de los textos y los conceptos e ideas que constituyen los ejes de contenidos de enseñanza.
- ✓ Avanzar en el análisis de la contribución y los límites de situaciones didácticas de lectura para el aprendizaje de contenidos específicos, en el marco de secuencias de enseñanza de las Ciencias Naturales. (Aisenberg, 2000).

La investigación no es de tipo naturalista, en donde se produce conocimiento a partir del análisis de lo que sucede en las clases sin hacer incidir ciertas condiciones didácticas específicas, sino que justamente se propone desplegar conocimiento relacionado con dichas condiciones. Así, el diseño del proyecto UBACyT sigue los lineamientos generales de la metodología de la ingeniería didáctica (Artigue et al, 1995), esto es el estudio de casos que incluyen en la investigación la planificación de secuencias de enseñanza para ser estudiadas en situación de clase, con análisis preliminares, análisis a-priori y análisis a- posteriori.

El trabajo realizado en el marco del proyecto UBACyT que se toma como caso en esta tesis no se ubica dentro de una visión prescriptiva de la producción didáctica, sino descriptiva - interpretativa. La preocupación es comprender qué vínculo pueden establecer los alumnos con el saber –la discontinuidad de la materia, en este caso- en el marco de la secuencia que las investigadoras diseñan y que el docente a

cargo de los alumnos gestiona. Por otro lado se reconoce la complejidad y contingencia del sistema didáctico por lo que no se pretende otorgar una rigurosa relación de causa - efecto a las condiciones didácticas analizadas, sí se les puede atribuir una función condicionante de las actividades de los alumnos

Capítulo 5. Análisis del caso. La ingeniería didáctica en “La lectura en naturales: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje”

Como se mencionó en el capítulo dedicado a describir el método que se sigue en este trabajo, se ha analizado el conocimiento producido en el Proyecto UBACyT en cada una de las fases de la ingeniería didáctica.

Fase de los análisis preliminares

El tipo de trabajo realizado en esta fase, previo al diseño y puesta en práctica de la secuencia de enseñanza, se encuadra en lo que en ingeniería didáctica constituyen los análisis preliminares. Como ya se hizo referencia en el capítulo 2, *Nacimiento y desarrollo de la ingeniería didáctica en Francia*, esta fase incluye el análisis epistemológico de los contenidos contemplados para la enseñanza, el estudio de la enseñanza tradicional y sus efectos, el análisis de las concepciones de los estudiantes, de las dificultades y obstáculos que influyen en su evolución, como así también del campo de restricciones donde se va a situar la realización didáctica específica.

Se describe a continuación una síntesis de lo realizado en el marco de dichos análisis.

En esta fase se incluyó: un estudio sobre la práctica usual de la lectura en Ciencias Naturales mediante la reunión de datos recolectados en la experiencia docente y en la observación de tipo etnográfico de clases; el análisis epistemológico de los contenidos específicos sobre los que se propone la enseñanza (discontinuidad de la materia); la recolección bibliográfica del conocimiento didáctico sobre el tema; el análisis de textos expositivos sobre dichos contenidos que, como se verá más adelante concluyeron con la elección del texto que leerían los alumnos durante la secuencia didáctica que se estudia (un fragmento del capítulo “La naturaleza que no vemos” del *Libro de la Naturaleza y la tecnología 8* de Editorial Estrada, 1997). Para recolectar mayor información sobre las dificultades y alcances que ese texto ofrecía a los niños, se efectuaron entrevistas a parejas de alumnos en situación de lectura y fuera de clase.

Con respecto a la práctica usual de la lectura en ciencias

En el informe del año 2003, el equipo de investigación escribe, con referencia a la práctica habitual de la lectura en el área

En la enseñanza usual de las Ciencias Naturales suele concebirse la lectura como una habilidad general -cuya enseñanza es atribuida al Área de Lengua- independiente de los contenidos específicos de los textos. Por otra parte, son muy escasos los estudios sobre la especificidad de las condiciones de situaciones de lectura para el aprendizaje de contenidos del área, derivada de su inserción en -y sus relaciones con- secuencias didácticas para la enseñanza de contenidos de dichas áreas escolares. Son pocos los trabajos sobre las relaciones entre el contenido específico de un texto y las conceptualizaciones de los alumnos sobre dicho contenido, así como sobre las condiciones e intervenciones didácticas que tomen como objeto dichas relaciones. Asimismo, son exigüos los estudios acerca de la contribución específica de las situaciones de lectura para el aprendizaje de contenidos determinados. (Aisenberg y Lerner, 2003, p. 3)

En las situaciones habituales de lectura en el área de Ciencias Naturales los alumnos leen para responder a los requerimientos del maestro: para responder preguntas a un cuestionario, para subrayar las ideas principales de un texto, para hacer un resumen que luego entregarán al docente, etc. Así, cuanto más los alumnos acerquen sus respuestas a lo esperado, cuanto mejor identifiquen en el texto lo que el docente considera importante, más posibilidad de ser bien evaluados serán ya que en términos de Perrenoud habrán aprendido el oficio de alumno que entre otros aspectos implica actuar en función de satisfacer las expectativas del maestro (Perrenoud 1996). De este modo, cuando los alumnos leen en clase, o para una clase, un texto que el docente les ha indicado, lo hacen principalmente para responder al deseo del profesor o maestro y es el docente quien establece qué leer, cuándo leer y cómo leer, situación que no favorece el vínculo con el texto, ni con el conocimiento ni con la institución ya que no propicia un interés genuino por aprender, como sí sucede cuando se lee fuera de la escuela para satisfacer alguna necesidad propia.

A partir de esta caracterización de la enseñanza usual se reflexiona acerca de lo disruptiva que puede llegar a resultar en las aulas de muchos docentes una propuesta, como la que se está comenzando a pensar, en la que la lectura sea objeto de enseñanza en la clase de Ciencias Naturales. Esta reflexión contribuyó a la decisión de probar la secuencia que se estaba por planificar en una escuela donde se pueda considerar que el contexto pedagógico es cercano a las concepciones didácticas del equipo de investigación.

Con respecto al análisis epistemológico del contenido discontinuidad de la materia

El equipo de investigación consideró necesario indagar acerca de la naturaleza del conocimiento que es objeto de enseñanza en la investigación. Se reflexionó así sobre la concepción de ciencia bajo la consideración de que dicha concepción atraviesa *el qué y el cómo* enseñar ciencias en la escuela. El primer posicionamiento que se hizo explícito fue considerar el conocimiento científico como el fruto del trabajo de un equipo de científicos en un determinado momento social e histórico y, por lo tanto, como verdad transitoria. Esta postura estuvo muy presente a la hora de seleccionar los textos que leerían los alumnos y también en el momento de diseñar las situaciones de lectura y de escritura.

Las investigadoras adhieren a la manera de entender el conocimiento según la cual se reconoce que, en su intento por conocer la realidad, la ciencia produce una interpretación de la misma que es inevitablemente parcial e incompleta, cuestión que guarda íntima relación con su posibilidad de cambio o evolución. Esta capacidad de evolución es quizá uno de los atributos más importantes de la ciencia. (Castorina, 1988)

Si bien la metodología de la ingeniería didáctica supone el compromiso con la epistemología constructivista se reconoce la necesidad de una metodología rigurosa para la producción de conocimiento, se concibe la intervención de un conjunto dinámico de procedimientos condicionados por los conocimientos de base que ya se poseen –y que constituyen el marco teórico que contextualiza y modula el trabajo- así como las preguntas que se formulan y los objetivos que se persiguen.

Se reconoce a su vez que en el contexto de una investigación sólo es posible hallar algo cuando se va hacia la realidad con una pregunta planteada y, de alguna

manera, ese interrogante funciona como esquema asimilador que permite ir ajustando progresivamente las hipótesis iniciales con la realidad contrastada. Así las preguntas, los objetivos de la investigación, el marco teórico y el marco epistémico ⁷condicionan la determinación de a qué se considera hecho o dato; lo que es así considerado es aquello a lo que se le otorga valor o interés; es una elaboración del investigador quien se ve autorizado para esa realización porque puede argumentar a partir de la experiencia y de los conceptos que pone en juego en esa selección así como por la comunidad científica a la que pertenece y que interviene validando o rechazando su producción.

El conocimiento científico se desarrolla como un movimiento de ir y venir entre la experiencia y la teoría. La explicación científica es la operación que resulta de ese movimiento. Se trata de un movimiento de mediación de la experiencia por la teoría y de la teoría por la experiencia. (Samaja, 2008, p. 147)

Se puede decir que la ciencia produce conocimiento para explicar el mundo y no para describirlo con precisión. Pero la observación y la experimentación sólo pueden revelar sucesiones temporales, los vínculos causales no son observables (García, 2000). Para producir explicaciones la ciencia construye modelos que representan las fracciones del mundo que estudia. Así, la teoría se sirve de ellos en tanto sistemas simplificados e idealizados que posibilitan detenerse sólo en los factores relevantes al estudio en cuestión y reflejan la suposición de la teoría acerca de ciertas características de los objetos inobservables. Una teoría científica tendrá como referente no al sistema real que pretende explicar sino al modelo de tal sistema (Lombardi, 1998)

Explicar en ciencias es dar cuenta del funcionamiento interno, más profundo, muchas veces microscópico y submicroscópico de los fenómenos, en consonancia con la producción científica de la que se dispone, en oposición a lo que aparenta ser. Se trata de poner en relación los modelos y las teorías –que pertenecen al mundo

⁷ García, (2000) refiere al marco epistémico como “un sistema de pensamiento rara vez explicitado, que permea las concepciones de la época en una cultura dada y condiciona el tipo de teorizaciones que van surgiendo en diversos campos del conocimiento. Cambios muy significativos de marco epistémico marcan grandes épocas históricas”

de lo abstracto- con las descripciones de los fenómenos, que pertenecen al mundo sensible.

Con respecto al lenguaje, se puede decir que éste es propio de cada ciencia y es a través de él que se comunican los conocimientos que se producen en cada campo. Al respecto Lemke (1997) reflexiona acerca de la función del lenguaje científico no sólo para comunicar la ciencia sino también para *hacer ciencia*. No se argumenta, por ejemplo, de la misma manera en todas las disciplinas, existen procedimientos propios de un campo que no son pertinentes en otro. El lenguaje de las ciencias es una construcción social que se distancia del lenguaje cotidiano en la medida que la relación entre los datos y la manera en que son explicados son de naturaleza distinta de las interpretaciones construidas a partir del sentido común

Ahora bien, la enseñanza de las ciencias toma como referencia el conocimiento producido dentro del campo científico. Esto incluye los conceptos centrales y sus interrelaciones, las maneras de indagar, argumentar y validar que son propias de ese campo. Pero en la enseñanza, tomar como referencia el conocimiento científico significa una cercanía como así también una distancia con él. En toda su amplitud y profundidad, el significado que adopta el conocimiento científico está íntimamente ligado a los problemas que le dieron origen, al tipo de preguntas que lo gestaron y que permitió resolver, a la manera en que se articula con otros conocimientos del campo con los que conforma un complejo entramado de relaciones, así como a su evolución a través del tiempo. Sin embargo, este tipo de conocimiento sólo puede ser del dominio de un especialista en la disciplina, está necesariamente fuera del tipo de conocimiento que es responsabilidad de un docente y como tal, no puede ser enseñado a un alumno en edad escolar. En consecuencia, las propuestas de enseñanza que se diseñen deberán avanzar en la resolución de la tensión que se genera entre: proveer conocimientos suficientemente cercanos al campo científico como para sostener su sentido y transformar esos conocimientos para que puedan ser enseñados a diferentes alumnos.

Además, hace falta reconocer que ese delicado equilibrio no se alcanza a partir de una suma de las partes más sencillas o accesibles del conocimiento disciplinar, y que será necesario concebir una combinación de saberes con una estructura interna que le dé consistencia como área de conocimiento y considerar al sujeto que aprende, analizar qué puede conocer del objeto de enseñanza.

Específicamente en el caso del concepto de materia

La utilización del modelo discontinuo de la materia, donde la misma se supone constituida por pequeñísimas unidades invisibles aún a través de un poderoso microscopio, alcanza para interpretar, por ejemplo, los estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso) y el pasaje de uno a otro. La clasificación de las transformaciones de la materia se muestra fértil para concebir la necesidad de profundizar el modelo, constituye una oportunidad para reflexionar sobre cómo podrían ser esas pequeñas unidades en su interior e interpretar así la aparición de otras sustancias por reordenamientos en el interior de esas partículas. Este ejemplo permite analizar el marco en el que la utilización de un modelo es pertinente, y cuáles son los límites de su utilización. (Espinoza et al, 2009, p. 43)

La distinción entre modelo y realidad constituye una herramienta indispensable para interpretar el discurso de la ciencia, pero esta distinción implica un elevado nivel de abstracción, lo que obliga a que sea presentada con diferentes niveles de aproximación a través de la escolaridad, en toda situación que se muestre propicia. Se deberá considerar qué transformaciones del conocimiento disciplinar lo muestran accesible para ser transmitido en la escuela, pero también se deberá concebir cuáles significados es necesario y posible preservar, y cuáles posponer o abandonar. Esto se vincula fuertemente con la transposición didáctica y con la vigilancia epistemológica. El grupo de investigadoras no pensaba en la enseñanza del concepto de modelo como una enunciación al margen de los modelos concretos y específicos por considerar que “(...) hay saberes (en sentido amplio: saberes y procedimientos) que son aprendidos sin ser nunca específicamente enseñados” (Chevallard, 1991 p. 67)

Podría decirse que el análisis epistemológico estuvo presente en tres niveles, por un lado, en tanto Epistemología de la ciencia, en el sentido de reconstrucción de la producción del conocimiento, sus procesos y mecanismos. Por otro, como una teoría epistemológica constructivista que estudia los pasajes de estados de menor a mayor conocimiento para interpretar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Y también en tanto atiende la cuestión de la credibilidad de los modelos, su poder

explicativo, las cuestiones metodológicas del conocimiento científico en relación a decisiones filosóficas sobre conocimiento y realidad.

Este análisis epistemológico resultó muy potente para el trabajo de investigación porque significó revisar las concepciones propias -aunque no conscientes- de ciencia, de enseñanza, de sujeto que aprende, de contenido de enseñanza, y, al reflexionar sobre ello inevitablemente se profundizó en el contenido que era objeto de enseñanza: la lectura en el aprendizaje de la constitución de la materia.

Puede agregarse que para pensar el conocimiento a ser enseñado en la escuela se tuvieron en cuenta las disciplinas de referencia, la responsabilidad social de la escuela, el sujeto que aprende, el análisis del estatus que los conceptos tienen en el campo científico y el sentido particular que pueden adoptar en la escuela. El desafío consistió así en la posibilidad de encontrar situaciones que tengan significado para los alumnos y en cuya resolución estén involucrados los contenidos de enseñanza.

Con respecto al conocimiento didáctico sobre el tema

El trabajo del equipo en esta fase permitió alcanzar ciertas precisiones en la conceptualización acerca de las condiciones didácticas que favorecen la apropiación del significado que adquiere el contenido discontinuidad de la materia en los textos informativos, por parte de los alumnos. Dichas precisiones delimitaron líneas de trabajo para avanzar en la investigación:

En el informe final del año 2001 las investigadoras escriben:

Las situaciones previas a la lectura generan condiciones que pueden favorecer u obstaculizar la interpretación de los textos por parte de los alumnos; asimismo, dichas situaciones influyen en la modalidad con la que se abordan los textos. En relación con estas cuestiones, se han establecido diferentes tipos de situaciones que preceden a la lectura, utilizados –a título de hipótesis- como herramientas para el diseño de las situaciones de las secuencias didácticas y para su análisis.
(Aisenberg, 2001, p. 4)

La convicción que subyacía al establecimiento de diferentes tipos de situaciones que precedieran a la lectura es que siempre se lee con un objetivo y que ese objetivo orienta la lectura: se lee para buscar alguna información que se necesita en ese

momento, se lee para buscar argumentos para convencer a otro de que lo que pensamos, se lee para para entretenernos, etc. y según sea el propósito con el que se lee es cómo se lee. En consecuencia, las investigadoras partían del convencimiento de que la lectura de un texto no debe ser presentada sin ninguna situación que la anteceda y que propicie la construcción de un propósito lector. En otras líneas del mismo informe puede leerse:

(...) se han privilegiado las situaciones de trabajo experimental que promueven una problematización previa a la lectura (relacionada con la temática del texto) tendiente a que los alumnos elaboren preguntas genuinas, condición necesaria para que se involucren en la lectura, buscando respuestas a sus propias preguntas. Una condición de la situación experimental previa es que sus consignas promuevan que el discurso en la clase se desarrolle en un nivel explicativo. Por ejemplo, si se pide a los alumnos que expliquen qué ocurre al calentar un trozo de cera, probablemente dirán que se derretirá o que se convertirá en líquido, quedando en un nivel meramente descriptivo; en cambio, si se les pregunta qué es lo que hace que un sólido se convierta en líquido, es probable que queden desconcertados, que “entren” en una situación de problema. Este tipo de contextualización marca una modalidad de abordaje del texto, fuertemente sesgada por las preguntas y respuestas que circularon previamente en el aula. En relación con este tipo de situación previa, quedan como líneas abiertas de trabajo el profundizar en la indagación de las condiciones de los “escenarios” que favorecen el establecimiento del problema como tal, así como el análisis de las consecuencias que trae aparejadas (...).(Aisenberg, 2001, p. 5)

Pensar en la situación experimental como problematizadora de la situación de lectura significó un claro distanciamiento con la enseñanza usual en el área donde es habitual que el experimento esté al servicio de demostrar, de hacer visible, de corroborar lo que se afirma. En este marco, en cambio, la función didáctica de la situación experimental –en la que una vez descripto lo que observarían los alumnos debían pensar cómo se podría explicar lo que observaban– estaría al servicio de

provocar que los chicos se hicieran preguntas, discutieran entre ellos, que se hicieran cargo del problema que se estaría comenzando a delinear

Con respecto a estas líneas:

Las situaciones de lectura (que pueden incluir lecturas sucesivas, la alternancia de lectura individual o por parejas con discusiones colectivas, la realización de actividades con el apoyo de los textos) debieran promover la puesta en juego y la explicitación de las interpretaciones de los alumnos de los textos, en función de sus propios sistemas de ideas, dado que –a diferencia de las recuperaciones literales de las afirmaciones de los textos- son las que dan cuenta de la comprensión alcanzada sobre el objeto del cual trata el texto. (Aisenberg, 2001, p. 5)

Se estaba pensando en una lectura durante la cual los alumnos discutieran con el texto a partir de lo que ellos habrían estado conjeturando acerca del tema; que leyeran poniendo en juego esos saberes que se habrían ido construyendo en la clase y no tratando de obturar aquello que se piensa para poder acercarse a lo que dice el texto

Y: “La clarificación de los ejes y recortes de los contenidos de enseñanza aparece como condición imprescindible para el diseño de situaciones de lectura concebidas como instancias de conceptualización. (...)” (Aisenberg, 2001, p. 6)

Nuevamente aparece una diferencia con la enseñanza habitual en la que los contenidos de enseñanza suelen presentarse con tal amplitud y ambigüedad que no contribuyen a precisar qué se está persiguiendo que los alumnos lleguen a conceptualizar

Por último, se avanzó en la conjetura que el desafío didáctico - de la didáctica de la lectura en las Ciencias Naturales- era “recrear” las prácticas de lectura propias de dichas ciencias en la escuela. El área que tendría que hacerse cargo de esto sería la de Ciencias Naturales y la vigilancia epistemológica recaería por un lado en lo concerniente al conocimiento del mundo natural y por otro lado en lo vinculado a la práctica social de la lectura en este campo.

Con respecto al análisis de textos para los alumnos

Como ya se mencionó en el inicio de este apartado, previamente a las entrevistas que se harían a los niños para indagar acerca de las dificultades y alcances que el texto les ofrecía, se realizó un análisis del texto que se incluiría en la secuencia de enseñanza sobre la discontinuidad de la materia

El texto seleccionado para las entrevistas y para la secuencia didáctica es el capítulo “La naturaleza que no vemos” del libro de Ciencias Naturales para octavo año de la EGB, de Editorial Estrada (ver anexo). Esta decisión se tomó después de haber leído y analizado numerosos textos didácticos del área y se fundamenta principalmente en que los que quedaron descartados para su uso en la secuencia eran textos que tenían errores conceptuales, presentaban el conocimiento como algo acabado y verdadero, como conjunto de descripciones no argumentadas, sin que se considere la necesidad de que los potenciales lectores puedan pensar sobre el tema.

Para las entrevistas se utilizó una versión más breve del texto seleccionado para la secuencia, que fue armada por el equipo a partir del mismo manual. Esa versión abreviada se pensó teniendo en cuenta el tiempo posible de lectura por parte de los chicos durante la situación de entrevista y sobre qué ideas se quería indagar la comprensión lectora.

Guiaba al grupo de investigación la presunción de que un conocimiento más acabado por parte de las investigadoras de las características del texto seleccionado contribuiría a la interpretación de las respuestas de los chicos en las situaciones de entrevista y a preparar con más elementos el momento de lectura dentro del marco de la secuencia didáctica que se desarrollaría en el aula. Este análisis aportó insumos para pensar en cómo puede intervenir el docente para enseñar a leer en Naturales.

La función primordial de un texto expositivo es presentar al lector información sobre teorías, predicciones, fenómenos, hechos, etc. De allí que su función sea informativa, es decir hacer conocer, en este caso, la teoría cinético molecular. A su vez, el texto que se usó en la secuencia es un texto escolar, y como tal cumple una doble función, ya que si bien es informativo también se trata de un texto didáctico. Didáctico en cuanto a que es elaborado expresamente para la escuela, con el fin de cumplir con las exigencias de un programa. Presenta los temas, las actividades, las estructuras discursivas en forma pautada según el grado de dificultad que ofrecen (Kaufman y Rodríguez, 1993). El lenguaje no aparece como una barrera que deba ser superada, sino que conduce al lector en la forma más directa posible a identificar

o caracterizar los hechos, fenómenos que constituyen el referente. Es simple, directo, coloquial, tanto por su intención de informar como de enseñar.

En términos de Kaufman y Rodríguez, la función de este tipo de textos es informativa y la trama descriptiva, ya que presentan preferentemente las especificaciones de objetos y procesos a través de una selección de sus rasgos distintivos. Los sustantivos y adjetivos adquieren relevancia en los mismos, ya que los primeros mencionan y clasifican los objetos y los segundos permiten complementar la información a partir de la caracterización del objeto en cuestión. No obstante la preeminencia de lo descriptivo de la trama, puede decirse que subyace a ella lo argumentativo, fundamentalmente en los apartados en los que la teoría cinético molecular se muestra potente para explicar fenómenos que los lectores pueden observar en su vida cotidiana. Así puede verse en la ilustración y el epígrafe que se presentan a continuación

El calor del sol al mediodía dilata el material con que se construyen los cables; de este modo quedan más flojos que al amanecer. La mayoría de los materiales, cuando absorben calor, aumentan su tamaño. Esto se debe a que sus partículas se agitan más y, en consecuencia, ocupan un espacio mayor.

En términos de Olson podría decirse que en los momentos en que el texto presenta determinados fenómenos explicados desde la teoría cinético molecular, se podría hablar de que la fuerza ilocucionaria (expresión de una intencionalidad personal y privada) es argumentar a favor de la teoría. La expresión que introduce situaciones de la vida cotidiana como la de los cables que se incluye unas líneas más arriba: **“Todos los efectos que representamos en las siguientes ilustraciones, pueden explicarse partiendo del hecho de que la materia está formada por partículas en movimiento”** es un claro ejemplo de esta intención. Es de destacar que se utiliza el tiempo presente del modo indicativo, lo que le otorga carácter de enunciado verdadero. Por otro lado podría decirse que el autor “presta ayuda” para que el lector pueda interpretar el texto a través del uso de analogías, ejemplos,

ilustraciones. Así establece una analogía entre el trabajo del personaje de un cuento y el del científico, en la primera página

(IMAGEN DE LA PRIMERA PÁGINA)

Es interesante destacar que en el comienzo del capítulo la trama es narrativa. El autor narra, en los dos primeros párrafos, un cuento de Borges. En el tercero la trama cambia, se torna más descriptiva, y se establece una analogía entre el personaje del cuento narrado y el trabajo en Ciencias Naturales, que está muy poco

desarrollada. A partir de allí continúa refiriéndose a cómo se trabaja en ciencias. Es interesante pensar en términos de la fuerza ilocucionaria en esta página, en el sentido de ¿qué se pretendió decir con esto? Podría pensarse que la intención es que los lectores relacionen el trabajo del científico con un trabajo que requiere mucha imaginación. No obstante, esto no está logrado ya que lo que dice que hace el príncipe es “innumerables y complicadas pruebas” y se pierde la idea que para hacer pruebas antes hay que imaginar, hacer hipótesis de lo que puede haber adentro.

Por otro lado, en toda la página se utiliza una tipografía distinta a la que aparece en el resto del capítulo, pero este tipo de letra no parecería estar al servicio de acentuar el pasaje de lo narrativo a lo descriptivo, sino que se mantiene, y sólo cambia cuando aparecen situaciones de la vida cotidiana para que los lectores analicen. El cambio de letra parecería estar indicando: acá empieza el texto “realmente” cuando podría decirse que ese inicio se produce mucho antes (en el tercer párrafo). Las situaciones que aparecen al finalizar la página intentan instalar una inquietud en el lector, un propósito que guíe la lectura

Se utiliza también en el texto una analogía para hacer referencia al movimiento de las partículas en un sólido. La elección del análogo (“pasajeros sentados en un ómnibus que transita una calle empedrada” en el apartado Los sólidos) intenta ilustrar aquello de que las partículas, en un sólido, se mueven pero éste no pierde la forma. Como ya se mencionó, el lenguaje responde a la lógica interna disciplinar y, en particular, la utilización de metáforas o analogías, cuya inclusión fuera bastante menospreciada en la concepción positivista de las ciencias, resulta actualmente una modalidad frecuente y prestigiada para la comunicación en el área. Esta condición o característica del texto está relacionada con el proceso de producción científica ya que es reconocido el importante papel que el pensamiento metafórico ha jugado en las ideas que los investigadores comienzan a tener en la interpretación de los objetos de estudio. Como dice G. Ciapusio (2003 p. 60) “La metáfora, habitualmente considerada como una figura del lenguaje con funciones ornamentales, es estudiada en los últimos tiempos como un potente instrumento del pensamiento, una fuente de explicación y en su posible papel heurístico en la investigación de la naturaleza”. Se supone que en el texto literario la metáfora tiene una función estética y que puede ser tomada con mayor libertad por el lector para sumergirse en imaginarios mundos posibles. Pero en el texto científico la relación

de correspondencia entre los distintos elementos comparados tiene una función explicativa y se espera que sea tomada por el lector en un sentido más restringido.

En cuanto a las ilustraciones es interesante observar cómo muchas de ellas son una combinación de dibujo y representación. Tal es el caso del trozo de piedra que aparece dibujado como ejemplo de materia en estado sólido y que tiene representaciones de partículas en movimiento.

La teoría de las partículas en movimiento

La materia se puede dividir, "grosso modo", en tres clases: los gases, los líquidos y los sólidos. Los gases se caracterizan por no tener una superficie límite bien definida y por ocupar todo el espacio que tengan disponible. Los líquidos, en cambio, presentan una superficie límite, pero no poseen forma definida. Adoptan la forma del recipiente que los contiene. Los sólidos, finalmente, poseen forma definida y permanente. Además, los sólidos, los líquidos y los gases se pueden transformar unos en otros si se los calienta o se los enfría. ¿Cómo puede explicarse todo esto que los hombres han venido observando desde hace siglos?

Los antiguos habían desarrollado una teoría, conocida como la *teoría de los cuatro elementos*, según la cual los gases, los líquidos y los sólidos no eran más que formas que adoptaban los "elementos" aire, agua y tierra.

El cuarto elemento era el fuego, que se encargaba de producir los cambios y las transformaciones en los otros elementos. Esta teoría tuvo una vigencia de casi dos mil años. Solo hace unos "pocos" cientos de años se comprobó que cuatro elementos no eran suficientes para explicar la inmensa variedad de fenómenos que ocurren en la naturaleza.

Más recientemente, a mediados del siglo XVIII, se desarrolló una teoría conocida con el nombre de *teoría cinético-molecular de la materia*. Nosotros la llamaremos, simplemente, *teoría de las partículas en movimiento*: consiste en suponer que, en la naturaleza, todos los materiales están formados por pequeñísimos e invisibles granitos de materia, las partículas.

Así, habría partículas de oxígeno, de agua, de sal... Se suponía que estas partículas podrían atraerse entre sí como si fuesen "pequeños imanes", que eran de diferente tamaño y peso según el tipo de sustancia que formaran y que se encontraban en constante movimiento.

El objetivo de la teoría fue explicar cuáles eran las principales características de los gases, los líquidos y los sólidos, y cómo se transformaban unos en otros. La teoría también intentaba explicar qué es el calor, qué es la temperatura y cuál es la diferencia entre ambos.

Pero, ¿será posible explicar tantas cosas a partir de suponer que la materia está formada por partículas?

Los sólidos

Según la teoría de las partículas en movimiento, los materiales sólidos están hechos a partir de partículas que se atraen entre sí con mucha fuerza. Es por ese motivo que los cuerpos, tales como las piedras o los metales, mantienen su forma. Para cambiarla o separar sus partes, es necesario realizar una fuerza que sea capaz de separar las partículas que los forman.

Además, se supone que las partículas que forman un sólido "tiemblan" u "oscilan" permanentemente en sus lugares como si fuesen pasajeros sentados en un ómnibus que transita una calle empedrada.

Así se vería un trozo microscópico de un material en estado sólido. Sus partículas vibran en una posición determinada. Por eso, el sólido no pierde la forma. A pesar de lo fuertemente unidas que se encuentran, en la superficie puede producirse una fuga de partículas.

Los líquidos

Las partículas que forman un líquido no están unidas entre sí, como ocurre con las de un sólido. Están casi tan sueltas como los granos de arena de una playa. Pero, a diferencia de ellos, las partículas de un líquido, igual que si fuesen bolas de billar, están agitando y moviéndose constantemente de un lugar a otro del recipiente y rebotando unas contra otras con gran velocidad. Precisamente debido a que rebotan con tanta intensidad, es que, a pesar de atraerse, las partículas no alcanzan a unirse como ocurre en los sólidos.

151

(Imagen de la roca). Por un lado, aparece la piedra, dibujada como tal, y, por otro las partículas representadas por círculos pequeños y rayitas que intentan dar idea de movimiento y, algunas de ellas, separándose de la piedra intentando representar la fuga. Podría pensarse que esta combinación de dibujo y representación es una limitación que el texto tiene para ilustrar lo que viene informando en el apartado. ¿Cómo sería un trozo de piedra visto al microscopio?

¿Ayudaría a que los lectores se hagan una representación de la constitución de la materia, del movimiento de las partículas y de la fuga que se produce? No necesariamente este análisis da cuenta de que esta combinación de dibujo, representación, y epígrafe en potencial, intentando salvar la posible confusión (agregando *Así se vería*), obstaculice la comprensión por parte de los alumnos, o si colabora, y en qué medida, si este tipo de ilustraciones “prestan ayuda” para acercarse a la idea que se quiere comunicar. El epígrafe refiere a un trozo microscópico, cuando en realidad es imposible ver así en el microscopio un trozo de piedra (en todo caso sería un trozo plano), pero por otro lado si lo que apareciera fuera el dibujo de un trozo visto al microscopio, sería muy difícil de relacionar con la piedra. Y más aún, aunque fuera una delgadísima tajada de piedra, las partículas no se observarían porque justamente se trata de un modelo y no de la realidad. No se sabe tampoco hasta dónde alcanza el uso del potencial *Así se vería* para dar idea de que en realidad no es observable, pero que si lo fuera se vería así

Hay además una doble comparación para referirse a las partículas de un material que está en estado líquido: se compara a las partículas con los granos de arena para dar idea de que están separadas y con las bolas de billar para dar idea de movimiento. No obstante, es interesante reflexionar sobre cómo puede ser interpretada la analogía según el lector. (Ver apartado Los líquidos)

Otra de las que podríamos llamar “limitaciones” del texto es la ausencia del contexto histórico, político y social en el que se produjo la teoría cinético molecular. Sin embargo el equipo de investigación, en el momento de analizar el texto, consideró que muy probablemente la extensión y la complejidad que adquiriría el escrito si estas cuestiones se incluyeran obrarían en contra de la posibilidad de acercarse a sus rudimentos más básicos.

Por otro lado (en el segundo párrafo del apartado La teoría de las partículas en movimiento), con el uso del pretérito imperfecto **“habían desarrollado”** y **“eran”**, los autores intentan dar idea de algo que ya no está en vigencia. Con el adverbio **“sólo”** y el adjetivo **“pocos”**, antes de **“cientos de años”** (tercer párrafo), se intentaría dar idea de la provisoriedad del conocimiento y del ritmo en que éste se produce. No obstante, lo que los alumnos suelen entender es que “antes se pensaba mal y ahora se piensa bien”.

“Nosotros la llamaremos simplemente...” (Cuarto párrafo del mismo apartado)
El uso de la primera persona del plural apela al lector a que se involucre en este

modo de llamar a la teoría. Se da permiso a “escolarizar” el contenido a través del uso del adverbio “simplemente” ¿qué es lo simple? Aparentemente se da idea de que con el uso de palabras de uso cotidiano (partículas, movimiento) el contenido se transforma en algo sencillo de comprender.

“**Consiste en suponer**” (Cuarto párrafo del mismo apartado): con el verbo suponer los autores intentan dar idea de modelo que sirve para explicar un fenómeno. Sin embargo, al no sostenerse durante todo el texto, no logra llamar la atención del lector. Además, el uso del tiempo presente da idea de vigencia. A medida que avanza en el desarrollo del texto, el autor abandona el uso de términos que dan idea de la transitoriedad de las teorías.

El quinto párrafo presenta información muy compleja, muchos datos - refiere a las partículas, a la atracción, la diferencia de tamaño, a la diferencia de peso y al movimiento - con muy poco desarrollo.

“**Se suponía que estas partículas...**” (Quinto párrafo del mismo apartado). Se sostiene el *suponer* pero el uso del pretérito imperfecto da idea de algo que ya no tiene vigencia. Esto se contradice con el párrafo anterior en el que se usa el presente. La intención podría ser dar idea del momento en que se desarrolló la teoría.

La pregunta retórica del último párrafo del apartado intenta guiar al lector en la interpretación del texto proponiendo un objetivo de lectura para lo que sigue. Sostiene la idea de modelo, con la palabra “**suponer**” e intenta comunicar una noción de teoría al escribir: “**explicar tantas cosas...**”

El uso de la preposición “**según**” (primer párrafo del apartado Los sólidos), intenta dar idea de modelo y la expresión “**están hechos a partir**” tiene la intención de comunicar que las partículas son el elemento constitutivo de la materia.

A partir del apartado Los líquidos, desaparecen los indicadores de provisoriedad, las formulaciones de la teoría aparecen como enunciados. Junto con los indicadores de provisoriedad desaparece también el uso del pretérito y es reemplazado por el presente, así las afirmaciones se transforman en enunciados, con lo cual, lo que se transmitiría es que los conocimientos tienen carácter de “verdad”. Esto lleva a pensar que la intención que predomina en los autores es que los chicos comprendan el modelo que, si bien es provisorio, es el paradigma actual.

Aprender a leer, en términos Olson, es, en parte, aprender a hacer frente a lo no expresado. ¿Qué posibilidades tienen estos lectores, alumnos de séptimo grado, de hacerle frente a ello cuando sus conocimientos previos están tan alejados de lo que

se les quiere comunicar? Cuáles son las actividades y las intervenciones docentes que colaboran en este sentido cuando se lee en Naturales, es entonces la pregunta.

Con respecto a las entrevistas clínico didácticas

Las decisiones acerca de las condiciones en que fueron realizadas las entrevistas a los niños obedecieron a la necesidad de indagar:

. Los modos de proponer la lectura que propicien el involucramiento del lector y permitan otorgarle sentido a la misma. Por esta razón, se decidió realizar la lectura del texto seleccionado ⁱⁱⁱdespués de la observación de una experiencia y solicitar a los alumnos la escritura de una explicación acerca de lo que está ocurriendo durante la misma. Se elige una experiencia bien sencilla^{iv}, en la que las sustancias utilizadas sean factibles de ser reconocidas por los alumnos, para intentar concentrar la atención en la explicación que luego va a solicitarse y no desviar hacia otros aspectos, más llamativos, mágicos o lúdicos que pueden tener estas actividades. De esta manera también se apuntaba a tener información acerca del conocimiento que los alumnos tenían disponible hasta ese momento sobre el tema. Se suponía que la mayoría de los alumnos no harían uso de modelos explicativos y que sus intentos iniciales estarían en términos de descripciones de lo observado, lo que debe necesariamente marcar la interpretación de la lectura. En este sentido se quería investigar si la lectura posibilita un cambio en el nivel descriptivo / explicativo de los fenómenos.

. Los alcances y dificultades de las interpretaciones que realizan. Se prepararon una serie de intervenciones posibles de ser implementadas por el entrevistador, tendientes a profundizar el conocimiento acerca de: qué entendían los alumnos de las analogías que presenta el texto (en relación con el tamaño de las partículas y su movilidad); el significado que le otorgan a ciertos términos, conocidos por su utilización cotidiana pero que adquieren un sentido particular en el contexto específico (por ejemplo la palabra “suponer” utilizada en el texto para referir a qué dice la teoría cinético molecular en relación a la existencia de partículas y al comportamiento de las mismas); la posibilidad de que los niños usen los modelos que aporta el texto para representar e intentar explicar lo que está ocurriendo durante el fenómeno observado en la experiencia inicial; y qué es lo que rescataban

como ideas centrales del texto (la existencia de partículas, sus características y la movilidad de las mismas en los diferentes estados de agregación de la materia).

. Las interacciones entre pares y con el entrevistador. Se decidió efectuar las entrevistas con dos alumnos simultáneamente y generar un espacio para que discutan entre ellos las interpretaciones que cada uno realizara.

Se incluyen a continuación fragmentos de una segunda entrevista ^vpara mostrar sólo algunas partes de lo registrado y analizado.

Entrevistadora: - Les vamos a pedir que observen qué ocurre durante una experiencia, y que luego traten de explicar qué es lo que ocurre... Bueno, mejor escribanlo porque así lo pueden pensar mejor.

(La decisión de pedir que lo comuniquen en forma escrita y no oral se toma para conocer qué es lo que está pensando cada alumno individualmente y que no se contaminen entre sí las dos respuestas)

(El entrevistador realiza la experiencia que consistió en someter al calor un trozo de naftalina)

Franco: Yo ya lo escribí

Magdalena: Yo también,... no es mucho en realidad

E: Lo que a vos te parece. Lo que les pedimos es que traten de explicar lo que ocurrió. ¿Intentaron eso?

(Los alumnos revisan lo que habían escrito)

E: Franco, ¿podés leer lo que pusiste?

Franco: La pastilla pasó de estado sólido a estado líquido a causa del calor, luego al enfriarse volvió como a tratar de ingresarse de nuevo.

E: ¿Y vos qué pusiste, Magdalena?

Magdalena: Yo puse que el calor derritió a la naftalina, como estaba el vidrio también ahí, me sorprendió mucho eso...

E: ¿Qué te sorprendió?

Magdalena: Que el vidrio es bastante grueso, y salía humo, y después se convirtió en líquido, estaba líquido.

Los alumnos realizan una descripción de lo que observan y no una explicación recurriendo a otros conocimientos. En todo caso Franco establece una

causalidad entre la entrega de calor y el cambio de estado. Es posible que a Magdalena le llame la atención el cambio de estado al poco tiempo de iniciado el calentamiento, ya que para muchos alumnos esto sólo ocurre en el caso del agua

Se les propone a continuación que lean el texto para confirmar, ampliar o modificar las ideas que ellos tenían.

Fragmento seleccionado de la entrevista luego de la lectura:

E: ¿Por qué no nos cuentan qué pasó con la lectura?

Magdalena: (señalando partes del texto) Yo creo que esto y esto (da vuelta la hoja) no explica sino que es información, pero esto, esto y esto, te lo explica, te da la razón.

E: ¿La razón de qué?

Magdalena: De cómo sucedió eso

E: ¿Y a vos qué te parece, Franco?

Franco: Esta parte, pero esto se necesita leer sí o sí para entender después, porque si vos no sabés cómo es una partícula ni cómo se mueve, no podés explicar

E: Y entonces después de haber leído, ¿qué dirían para explicar la experiencia?

Magdalena: Qué las partículas se mueven

E: ¿Qué partículas?

Magdalena: Las de la naftalina

E: Ajá, ¿hay partículas de naftalina?

Magdalena: Sí, están en movimiento.

E: ¿Eso de dónde lo sacaste?

Magdalena: De lo que te dije que era importante. Mirá, dice (relee el texto de manera pertinente)

A partir de este fragmento del registro, se tiene la impresión de que los alumnos pudieron entrar en la lectura y realizar una interpretación bastante ajustada. Se establece relación entre este acontecimiento y la propuesta de lectura en cuanto a la situación experiencial y la consigna dada. Al menos hay un cambio, ya que ahora pueden recurrir a la idea de partícula para ampliar el marco explicativo. Por otra parte, al propiciar la entrevistadora la intervención de ambos alumnos, parece haber interacciones positivas entre ellos por cuanto es Franco el primero en

mencionar el término partícula, lo que es rápidamente tomado por Magdalena que al principio parece menos sólida en la interpretación de la lectura

E: ¿Ustedes habían escuchado hablar de las partículas?

Franco: En cuarto o quinto grado, que hicimos el pan, las levaduras, trabajamos.

E: ¿Y qué tienen que ver el pan, las levaduras y las partículas?

Franco: El calor da energía y entonces, le da energía a las partículas de levadura entonces empieza a levar y se van agrandando más.

La idea de asociar las partículas a seres vivos no es novedosa. Posiblemente la referencia al tamaño de las partículas y al de los microorganismos, sumado a la idea de movilidad, favorezcan este tipo de interpretaciones que en reiteradas ocasiones encontramos. Estos alumnos habían realizado en quinto grado una observación al microscopio de levaduras. ¿Qué es lo que queda de la enseñanza y qué consecuencias trae? ¿Constituye una base que le ofrece a Franco una mayor posibilidad de anclar las informaciones del texto o una dificultad para acceder a las mismas?

E: ¿Cómo se imaginan las partículas?

Magdalena: Pequeñas dice, como los granos de arena de la playa, dice.

Franco: Eh... al estilo un átomo, mucho más chicos...

Magdalena: Ahí mismo dice que son como arena...

Franco: Acá dice que para formar una gotita de agua se necesitan mil trillones de partículas. Entonces un grano, con treinta granitos, tenés más o menos una gotita.

Magdalena: Para mí no.

E: ¿Dónde lo encontraste Magdalena?

Magdalena: Las partículas que forman un líquido no están unidas entre sí,... están casi tan sueltas como los granos de arena de una playa (lee)

(En las intervenciones posteriores Magdalena parece reafirmarse en su interpretación, pese a una importante argumentación de Franco)

E: Magdalena entendió una cosa y Franco otra. ¿Se les ocurre alguna otra cosa que argumentar para ponerse de acuerdo?

Franco: Mirá, una gotita es una cosita así chiquitita (Dibuja una gota)

E: ¿Qué estás dibujando?

Franco: Es una gotita de agua. ¿Cuántos granos de arena pensás que pueden entrar?

Magdalena: Mil millones dice ahí

... (Continúan los argumentos)

Franco: ¿Vos estás diciendo la partícula de un granito de arena o un grano de arena? Vos decís una partícula...

E: Decíme Magdalena, ¿las partículas se pueden ver?

Magdalena: No

La analogía presentada en el texto en la que se comparan las partículas en un líquido con los granos de arena de una playa, que vistos a la distancia se muestran como un continuo, pero en realidad constituyen unidades bien diferenciadas, resulta útil para Franco y confunde a Magdalena. Entendemos que la interacción entre los alumnos, aunque en algún momento se muestra caprichosa por parte de Magdalena, finalmente resulta útil porque obliga a detenerse, a volver sobre el texto y deja un espacio para la búsqueda de argumentos. Como se verá en lo que incluimos como final de la entrevista, Magdalena queda pendiente del tema, y necesita preguntar para confirmar cuál sería la versión considerada correcta. Esto es interesante porque interpretamos que da cuenta de que ella pudo entrar en el tema

E: Ustedes habían escrito una explicación acerca de lo que habían observado, ¿Agregarían o cambiarían algo?

Magdalena: Si, que las partículas se mueven y que por eso cambian de estado.

Franco: Nosotros con el encendedor, al darle temperatura le agregamos energía, las partículas se empezaron a mover mucho, entonces se empezó como a disolver y las partículas se empezaron a separar. Se mueven mucho, mucho y van formando como gotitas de agua.

E: ¿Como gotitas de agua?

Franco: Si, se empiezan a mover y se disuelven. Se mueven mucho, rompe la forma de lo que es sólido y se empiezan a ir, y bue... después si le sigo dando calor se empieza a evaporar.

Al parecer los alumnos lograron una interpretación que les permite ampliar la visión descriptiva inicial de la experiencia, para hacer uso de la idea de partículas y explicar lo que sucede al fundir la naftalina. Persiste un vocabulario confuso en el sentido de utilizar términos tales como “se disuelven” y “van formando gotitas de agua”, que habría que indagar con mayor detenimiento para entender el significado que le otorgan. Esto ofrece también material para pensar mejor en términos del nivel, en la formulación de los conceptos, que los alumnos pueden alcanzar con la lectura de un texto y en general a través de toda una secuencia didáctica que se propone como primera aproximación al tema

Magdalena: Esperá, esperá. ¿Son como granos de la playa o cómo son? (Antes de retirarse de la entrevista)

E: La teoría dice que las partículas no son visibles ni a simple vista, ni con lupa, ni con un poderoso microscopio.

Magdalena: Entonces son más chicos que un grano de arena.

En el informe del año 2001 puede leerse:

Estas entrevistas permitieron avanzar en la comprensión de las interpretaciones que los niños entrevistados realizan. Por ejemplo luego de sus primeras lecturas del texto –al que suelen considerar como “fácil”- dicen que la materia está constituida por partículas, aunque parecería que esta caracterización de la materia se apoya en algunas palabras o frases del texto que toman literalmente. También realizan interpretaciones desajustadas de los conceptos del texto, a partir de sus propias conceptualizaciones, que podrían estar operando como obstáculos epistemológicos. Por ejemplo la invisibilidad de las partículas es interpretada como transparencia, la movilidad o vibración de las partículas en el estado sólido como inmovilidad. Por otro lado, los niños no acceden al carácter explicativo de la teoría, al carácter argumentativo de las afirmaciones que se realizan. El término “suponer” que es usado en el texto que leen en la entrevista es interpretado como indicador de

las dudas personales del autor y no como hipótesis. Ciertas características de los textos didácticos que se utilizan en la enseñanza de las Ciencias Naturales, como las analogías, el lenguaje coloquial, las ilustraciones y fotos que aportan información complementaria incluidos con el supuesto de que facilitarían a los alumnos la lectura, en algunos casos se constituyen en obstáculos para la comprensión y, en otros, plantean dificultades específicas de interpretación (por ejemplo, relaciones texto-figura que parecen obvias o inmediatas a los adultos, no lo son para los niños). Si bien en algunos casos dichos elementos y características pueden ser útiles para entender la temática del texto, requieren de intervenciones docentes específicas para que aporten algo al alumno. Además, dichos aspectos de los textos no aluden sólo a cuestiones formales sino que llevan implícita una idea acerca de la naturaleza del conocimiento en cuestión, que es necesario analizar. (Aisenberg, 2001, p. 4)

Es de destacar que la fase de análisis preliminares fue de mucho estudio por parte del equipo, que permitió iniciar el diseño de la secuencia y su puesta en práctica con un profundo conocimiento acerca del saber a enseñar, de lo que los alumnos suelen pensar sobre el tema, sobre las posibles interpretaciones que pueden hacer en la lectura de un texto, conocimiento que no hubiera estado disponible de no haber pasado por esta fase.

Fase de los análisis a priori

Esta fase involucra la decisión por parte de los investigadores de actuar sobre el sistema. Por un lado, se describen las selecciones de nivel local de la situación a-didáctica que se va a diseñar y que se va a poner en práctica en el aula, se analiza qué podría estar en juego para los alumnos en función de las posibilidades de acción, de selección, de decisión, de control y de validación de las que ellos disponen, y se prevén los comportamientos posibles teniendo en cuenta la posibilidad de que sean el resultado de la puesta en práctica del conocimiento contemplado por el aprendizaje

Con el resultado de los estudios preliminares, en el año 2000 se iniciaron los análisis a priori para el diseño de una secuencia didáctica, a desarrollar en aula y registrar por integrantes del equipo, que incluiría situaciones de lectura.

La selección de contenidos implicó según este enfoque su problematización, lo que significó reflexionar sobre:

- ✓ ¿Cuáles son las ideas centrales, constitutivas de lo que se quiere enseñar?
- ✓ ¿Cuáles de ellas serán indispensables en relación a ese grupo de alumnos?
- ✓ ¿Cuáles situaciones permitirían aproximarse a esas ideas?
- ✓ ¿Qué podrían entender los alumnos si se las propone de una determinada manera?
- ✓ ¿Cómo intervenir para ayudarlos a hacer avanzar sus ideas?

El equipo otorga a la problematización de los contenidos la potencialidad de colaborar con el objetivo de instalar un propósito lector que oriente la lectura que hacen los alumnos de los textos, cuestión factible si durante los distintos momentos de la secuencia se genera en el aula un escenario de incertidumbre que sostiene la búsqueda y la indagación, que suscita preguntas, interpretaciones, discusiones, desacuerdos que finalmente cuajan en la lectura del texto expositivo.

Dada la dificultad de interpretación del texto seleccionado y la naturaleza del conocimiento a enseñar, las investigadoras deciden presentar la situación de lectura luego de que los alumnos realicen experiencias, discutan cómo las interpretan, intenten explicarlas, busquen argumentos y arriben a algunas conclusiones. Guiaba esta decisión la concepción de que durante la actividad experimental los alumnos tendrían un espacio real para empezar a pensar el tema y generar así mejores condiciones para la interpretación del texto seleccionado. Entre estas condiciones, se prestigió que los alumnos lleguen a la situación de lectura con preguntas que ellos mismos se habrían llegado a formular durante el trabajo previamente realizado.

Los principales momentos de la secuencia que se planificaron y desarrollaron en clase son:

- ✓ Presentación del tema por parte de la docente
- ✓ Realización de experiencias con la intención de discutir sus interpretaciones.
Escritura de conclusiones parciales acerca del experimento.

- ✓ Diseño de representaciones de tipo modélico para avanzar en las ideas que empezaron a concebirse.
- ✓ Lectura del texto expositivo para conocer las ideas que la ciencia aporta sobre el tema
- ✓ Presentación del tema por parte de la docente

El equipo decidió comenzar la secuencia sobre la constitución de la materia retomando lo que el grupo de alumnos había estado estudiando hasta ese momento: el Sistema Solar dentro de un sistema más extenso, el cosmos. El discurso para comenzar con el tema haría referencia a la necesidad de emplear métodos indirectos para conocer un sistema extremadamente grande y lejano como el que se había estado estudiando, y que –en cambio- el recorrido ahora sería estudiar cómo son las cosas en su interior, algo que tampoco alcanzamos a observar directamente por lo extremadamente pequeñas que son. En este marco se presentaría la actividad experimental como un intento de observar comportamientos que nos permiten indagar, intuir, pensar, imaginar lo que se nos muestra inaccesible. Se diría “Vamos al laboratorio para observar los objetos, trabajar con ellos, provocar ciertos cambios, observar cómo estos materiales se comportan, y a partir de estos registros, hacer suposiciones, discutir alternativas, y así pensar mejor, reflexionar acerca de aquello que nos proponemos indagar, en este caso cómo serán los objetos y los materiales en su interior, en su intimidad, cómo está constituida la materia”. (Secuencia 2000. Documento interno del equipo de investigación)

- ✓ Realización de experiencias con la intención de discutir sus interpretaciones

La situación experimental consistió en observar, manipular, pesar, calentar y describir cambios de estado para comenzar luego a discutir cómo se podía explicar lo que estaba ocurriendo, de qué manera se puede interpretar que el calor provoque que algo inicialmente sólido se transforme en líquido y luego en vapor, qué ocurrirá en el interior del sólido o del líquido. La naturaleza abstracta de la pregunta que inauguraba la secuencia *cómo está constituida la materia* planteó la necesidad de hacer una presentación de la situación experimental que orientara claramente hacia dónde se estaba apuntando, cuál es era el sentido de la actividad experimental que

se estaba proponiendo, para qué se planteaba, qué se esperaba de los alumnos. La preocupación que apareció entonces fue la de ver cómo poner la intencionalidad de la experimentación de manera que los alumnos entendieran de qué se trataba, qué era lo que se les estaba proponiendo, para qué se planteaba la experiencia, qué se esperaba de ellos de manera que pudieran participar del “juego” que se quería instalar. En otras palabras, anticipar detalles de la propuesta de manera de contribuir a que los alumnos entren en una situación didáctica en tanto que deberían responder a un problema a partir de la puesta en práctica de los conocimientos que la misma situación requiere, y tomando en cuenta si los aportes que van apareciendo en el grupo contribuyen o no a la solución del problema, sin preguntar al docente si es así cómo se resuelve, involucrándose más allá de su preocupación en satisfacer los deseos del maestro, sino fundamentalmente por un genuino interés en la solución del problema

Por otra parte, fue necesario que el equipo considerara las características que tendría la experiencia que realizarían los alumnos de modo de orientar su atención hacia los aspectos que se deseaban destacar. Atendiendo a esta cuestión, se decidió la realización de una actividad sencilla no ajena al conocimiento cotidiano, cuyos resultados no son espectaculares, y el procedimiento es relativamente simple, no requiere de la utilización de instrumental sofisticado, para disminuir la seducción por los aspectos mágicos de este tipo de trabajo, así como los componentes lúdicos de los mismos. Se decidió así repartir a los alumnos trozos de cera de vela (parafina), sin mencionar de qué material se trataba, para que calentaran con mechero, observaran y discutieran posibles interpretaciones sobre lo observado.

En primer lugar los alumnos debieron caracterizar el material a través de su manipulación y del registro de sus características. La observación de que la parafina sólida cambia de estado y se vuelve líquida tuvo la intención de favorecer su posterior reconocimiento, cuando la parafina se enfría y vuelve a solidificar. A su vez se esperaba que al calentar y obtener un líquido transparente e incoloro, los alumnos tuvieran elementos para discutir qué es ese líquido que frecuentemente tienden a pensar que es agua. No se esperaba que la docente interviniese en esta situación de manera de inducir a los alumnos a que digan nada en particular. Se esperaba que si algún alumno mencionaba que el líquido es agua, la docente interviniese favoreciendo el intercambio de opiniones entre todos e intentando que encuentren sus propios argumentos, sin avalar ninguno de ellos. También se pensó

como posible que la docente pregunte a los alumnos qué les parece que puede ser ese líquido obtenido durante el calentamiento, o que lo plantee como algo que sucedió en otro curso en el que durante este mismo trabajo un alumno dijo que se obtuvo agua y proponga entonces discutir con qué argumentos se puede sostener que sí es agua y con cuáles que no lo es. En el caso que se presentara esta situación, se anticipó que los argumentos de los alumnos podrían remitir al conocimiento no disciplinar, a alguna causalidad de tipo lógico -si tenías cera ahora no podés tener agua- o que utilizaran algo de lo acontecido durante la experiencia. El equipo consideraba que la reaparición de un sólido, con las mismas características que el inicial, al tiempo de suspender el calentamiento, suele ser un argumento utilizado por los alumnos interesante de destacar porque apunta a la razón de ser de la actividad experimental propuesta: usar los datos de la observación para pensar, discutir, argumentar. Este espacio de discusión que se propiciaría era considerado por las investigadoras como condición para que los alumnos pudieran acceder a la propuesta general del trabajo. A su vez para que el escenario de debate que se estaba queriendo propiciar tuviera reales posibilidades de ser instalado en la clase, se estimaba necesario que hubiera momentos en los que la docente permaneciera “aparentemente” al margen de la discusión, aunque en realidad siempre la estuviera conduciendo. Se pensaba en la posible devolución del problema en tanto los alumnos eran quienes debían pensar, discutir y llegar a alguna conclusión que les permitiera argumentar acerca de si era o no era agua el líquido que aparecía a partir de la fusión de la parafina. Pero también el equipo consideraba que debían ser previstos momentos en los que determinados aspectos del trabajo se fueran cerrando al finalizar la jornada, momentos en los que el docente, a partir de lo producido por los alumnos, recapitulara, sistematizara, ordenara y vinculara lo producido en los diferentes momentos de la secuencia para poder establecer relaciones con el saber científico, de alguna manera que institucionalizara, que definiera las relaciones que se estaban dando entre las producciones de los alumnos y el saber científico.

Se esperaba que luego de un cierto tiempo de permanencia en esta discusión, finalmente la docente cerrara aportando las razones por las cuales se puede interpretar que el líquido continúa siendo cera o parafina. Y más adelante, cuando los chicos accedieran a la teoría objeto de enseñanza en la secuencia iba a ser posible y necesario propiciar explicaciones en términos de conservación de las mismas partículas durante el cambio de estado. Es decir que la discusión acerca de si el

líquido obtenido es o no agua, sería un punto pensado para ser inicialmente abordado desde un argumento empírico y ser retomado luego con un argumento teórico.

- ✓ Diseño de representaciones de tipo modélico para avanzar en las ideas que empezaron a concebirse

La idea que guiaba al equipo al diseñar esta propuesta es que generar situaciones en las que los alumnos se vean confrontados a producir representaciones “modélicas”^{vi}, constituye una manera de construir conocimiento en el área y favorece la interpretación de las que aparecen en los textos. Se interpreta que entre las representaciones externas -lo escrito o graficado- y las representaciones internas -lo que se piensa- es posible establecer un diálogo que necesita verse favorecido por las condiciones didácticas en las que se propone tanto la producción como la lectura.

Se pensó entonces en una situación en la que los alumnos representaran cómo imaginaban el interior de la materia en sus tres estados, aun cuando era previsto por el equipo de investigación como casi imposible que los alumnos interpretaran desde el inicio la consigna de trabajo que les daría la profesora, porque en la misma está tanto involucrado el concepto de modelo, difuso para los alumnos a esta altura de su escolaridad, como el concepto de discontinuidad que es objeto de enseñanza. Sí se pensó que los alumnos ya contarían con algunas herramientas, que podrían haber ido adquiriendo a través de la secuencia, que los ubicarían en buenas condiciones para una reorganización del conocimiento. Se trata de:

- las observaciones y discusiones sostenidas durante el experimento que muy probablemente colaborarían con una cierta aproximación a la idea de partículas al tener que relacionar el comportamiento macroscópico de la materia con la constitución submicroscópica de la misma,
- la lectura que ya han hecho de textos del área en la que han visto representaciones de distintos objetos en otros temas estudiados,
- el genuino involucramiento en el trabajo que se les solicitaría.

Las investigadoras no esperaban que ellos “modelizaran” el interior de la materia de manera necesariamente cercana a como lo propone la ciencia, desde el momento que ese concepto constituye justamente el objeto de enseñanza.

Se partió de la consideración de que este tipo de situaciones permite generar un escenario de debate entre los alumnos, en el que la producción de ideas ocupe un lugar prestigioso, y no sólo contribuya a que se involucren con la lectura, sino que genere mejores condiciones para interpretar un texto que incluye numerosas representaciones modélicas, en este caso acerca de los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia. No es lo mismo interpretar un esquema que construirlo. El trabajo intelectual que se despliega cuando se es confrontado a tomar decisiones acerca de cómo 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 realiza cuando se trata de entender qué comunica una inscripción concebida por otro.

- ✓ Lectura del texto expositivo para conocer las ideas que la ciencia aporta sobre el tema

Una condición didáctica relevante para el aprendizaje, que el equipo de investigación tuvo muy presente, es que los estudiantes lean guiados por los interrogantes que se generen en la clase como producto de una construcción colectiva; de esa manera se encontrarían en mejores condiciones a la hora de leer un texto y aprender Ciencias Naturales. Dichos interrogantes favorecen la autonomía de los alumnos porque funcionan como propósito para la lectura. Al mismo tiempo, las condiciones que favorecen la instalación de un propósito lector propician una modificación del estado de conocimiento que los alumnos tienen sobre el tema. En consecuencia, con esta consideración las investigadoras diseñaron situaciones – a las que se hizo referencia en los apartados anteriores- que pudieran contribuir a crear en los alumnos la necesidad de leer sabiendo que para ellos la pregunta acerca de cómo está constituida la materia no es una inquietud, pues en su universo sobre lo natural no existe dicho problema (que sí es relevante en el campo científico).

Además, se partió de la idea de que, en la escuela, habitualmente, es el docente quien se atribuye el derecho de decidir cuándo una interpretación es correcta o no; los alumnos no suelen tener ninguna posibilidad de juzgar la pertinencia de una determinada forma de entender un texto. Muchas veces se considera que hay una sola interpretación posible y que es el docente el único que la conoce. Entendida de ese modo la lectura, los alumnos “tienen la obligación de renunciar a sus propias interpretaciones a favor de la del docente” (Lerner, 2001, p. 56). Cuando la distribución de derechos y obligaciones (*contrato didáctico* en términos de Brousseau), en relación con la aprobación del significado alcanzado está determinada de una vez y “para siempre” en una sola dirección, disminuyen las oportunidades de los alumnos de formarse como lectores pues dependen siempre de otro con mayor autoridad para validar sus interpretaciones y eso era algo que se quería modificar. La propuesta era en cambio que el docente, para enseñar a leer, postergara la explicitación de su intervención al tiempo que interviniese activamente para permitir que en el aula se desplieguen, argumenten, contrasten las ideas de los estudiantes acerca de lo que “dice” el texto.

No se estaba pensando en que el docente renunciara a su rol de enseñante sino en que habilitara en la clase la circulación de los distintos significados que los alumnos irían construyendo en interacción con el texto, incluso aquellos que están alejados de las intenciones del autor, los que habitualmente se piensan como errores de comprensión. Pero, además, dado que enseñar a leer es también comunicar que no toda interpretación puede ser correcta, habría que enseñar cuándo dicha interpretación es válida y cuándo no.

En términos de contrato didáctico, para ser lectores es necesario que en las diversas situaciones de lectura los alumnos asuman responsabilidades en la evaluación de la comprensión. Se trata de que los estudiantes aprendan a darse cuenta cuándo la idea que van construyendo –a medida que avanzan en la lectura– es coherente o no lo es con las ideas que siguen, cuándo se trata de un error de ellos y cuándo de una inconsistencia del texto. Es decir, se pensaba que habría que enseñar a los alumnos a monitorear su propia comprensión; a encontrar indicadores, huellas, marcas en el texto que les permitieran fundamentar su interpretación o refutar la de un compañero o la del docente; de “brindar a los niños oportunidades de construir estrategias de autocontrol de la lectura” (Lerner, 2001, p. 36). Y justamente para que los alumnos tengan derecho a evaluar las interpretaciones que

circulan en la clase es necesario que el docente “postergue la comunicación de su opinión a los niños, que delegue provisoriamente en ellos la función evaluadora” (Lerner, 2001, p. 149), en otros términos, que no sea el primero ni el único en validar las diversas interpretaciones, aunque sí el último.

En clases anteriores a la de la lectura del texto expositivo los alumnos habrían intercambiado ideas acerca de las representaciones que habían producido; llegarían entonces a la lectura con el propósito de contrastar dichas ideas con la explicación que la ciencia ha elaborado para explicar la constitución de la materia. Se perseguía que los alumnos leyeran el texto expositivo con un propósito lector que se habría ido construyendo colectivamente en el transcurrir de la secuencia.

La lectura se propuso en grupos de dos alumnos, cada grupo de cuatro integrantes de la situación de lectura anterior se dividió en dos con la idea de que la interacción entre el alumno y el texto y los alumnos entre sí y el texto sería más potente que en un grupo de más alumnos. La docente presentaría el texto cuando la incertidumbre de los alumnos ya fuera poco sostenible e infructífera. Se esperaba que la maestra actualizara las interpretaciones que los alumnos habían llegado a construir acerca de la constitución de la materia antes de dar a leer el texto que comunica las ideas de la ciencia, de manera de contribuir a que los niños lean con un propósito lector, para contrastar ideas, buscar respuestas, para aprender.

Fase de los análisis a posteriori

Como ya se hizo referencia en el capítulo 2, el trabajo en esta fase consiste en la puesta en acción de las situaciones previstas, su registro, y su análisis.

A partir de los análisis a posteriori realizados por el equipo de investigadoras - luego de que la secuencia fue puesta en clase por primera vez- se produjeron cambios que contribuyeron a la instalación del propósito lector. Como ya se escribió, la secuencia comenzaba con una pregunta del docente –cómo está constituida la materia- pregunta que se pretendía que se constituyera en guía de las clases siguientes. Se había propuesto a los alumnos que retomaran la idea de conocer lo que no es accesible directamente, como había sido el sistema solar, para que pensasen en esta oportunidad en la constitución de la materia. Sin embargo, a partir de los análisis realizados sobre los registros de las clases el equipo consideró

que la pregunta era muy exigente para el docente, no se sostenía en el tiempo, que los alumnos no la vinculaban con el experimento ni con el texto que leían luego, que no colaboraba como “motor” del aprendizaje. De alguna manera este momento de la ingeniería claramente propicia, a partir del análisis de la relación entre lo que se había previsto y lo que se puede inferir de la lectura de los registros de clase, la consideración de cambios en la situación previa al experimento para que realmente contribuya a que los alumnos inicien un proceso de apropiación de la pregunta que sostiene la secuencia de enseñanza, para que empiecen a hacerse cargo de que hay una pregunta que habrá que responder entre todos con los elementos cuya aparición favorecerá la misma secuencia; que entren en una situación a didáctica. Las investigadoras decidieron en consecuencia comenzar la segunda puesta en aula de la secuencia con la lectura de un texto que presentara el tema, para comunicar la pregunta que, en la primera oportunidad, planteaba el docente.

En el texto que el equipo seleccionó está incluida la pregunta de si existe algún fin al procedimiento de dividir y dividir la materia y plantea, además, el procedimiento de dividir algo macroscópico para llegar finalmente a tener que “imaginar” lo que ocurriría a medida que las partículas fueran lo suficientemente pequeñas como para no poder verlas. Este discurso del texto es consistente con el planteo que inicialmente se hace en el laboratorio, donde a partir de la observación de un experimento se propone a los alumnos recurrir a la imaginación o intuición para pensar cómo será eso a lo que no se tiene acceso ni directa ni indirectamente a través de los sentidos.

Luego de la segunda puesta en aula de la secuencia, los nuevos análisis a posteriori permitieron a las investigadoras considerar que la lectura del texto resultó para los alumnos mucho más potente como problematizadora que la pregunta dicha por el maestro. Se interpretó que la posibilidad de volver a ella porque “está escrita”, porque permanece, y el status que el texto escrito le otorga en tanto interrogante de la ciencia durante siglos, colaboraron para que los alumnos se la apropiaran y “se hicieran cargo de responderla”, aunque la respuesta fuese difícil de alcanzar. Además, los registros de clase permitieron afirmar al equipo que los alumnos hicieron referencia al texto en sus discusiones, en clases muy alejadas de aquella en la que se lo leyó. El texto, es un fragmento de Asimov, I. *Átomo. Viaje hacia el cosmos subatómico*. Capítulo La materia (Ver texto en la página siguiente).

La consigna con la que se presentó la situación de lectura fue:

D.: Este libro que está acá es el libro de donde yo saqué las fotocopias. Fíjense todos, éste es el libro y el libro se llama así: *Átomo, viaje a través del cosmos subatómico*. Este libro está en biblioteca; nosotros vamos a estudiar, vamos a leer mejor dicho de este libro un fragmento del primer capítulo, ¿sí? Nosotros vamos a leer ese fragmento y si alguno de ustedes tiene interés en seguir leyendo sabe que lo puede ir a buscar a biblioteca. Ustedes van a encontrarse con que ese fragmento que les voy a entregar tiene 5 párrafos, ¿sí? Nosotros vamos a leer 5 párrafos nada más. El que quiere seguir leyendo, en su casa puede seguir. Les voy a entregar las fotocopias. Van a leer los 5 primeros párrafos y van a poner más atención en los dos últimos, ¿saben por qué? Porque en esos dos últimos está encerrado el tema que vamos a empezar a estudiar ahora.

Luego de la primera puesta en práctica de la situación de lectura del texto de Asimov, y a partir del análisis de los nuevos registros, el equipo consideró que al no ser habitual en la escuela la lectura de este tipo de textos -ya que no suelen leerse en ella textos de divulgación- y que, en consecuencia, los alumnos no ejercen esta práctica lectora, era necesario que el docente acompañara más a los alumnos en la lectura. Y para orientar al docente en cómo podía realizar ese acompañamiento era necesario analizar el texto con más profundidad antes de volver a llevar al aula la secuencia

Se incluye a continuación los párrafos del texto mencionado y el análisis que el equipo de investigación realizó. Aparece subrayado aquello que se consideró más interesante para comentar en tanto cómo podría ser interpretado por los lectores

I Materia

Dividir la materia

Supongamos que tiene usted un buen montón de guijarros pequeños y lisos..., miles de ellos. Si no tuviera nada que hacer, podría decidir dividirlos en dos montones más pequeños, aproximadamente del mismo tamaño. Podría desechar uno de esos montones, guardar el otro, y dividirlo en dos de nuevo.

De estos dos montones aún más pequeños, podría desechar uno y guardar el otro para una sucesiva división, y repetir el proceso una y otra vez.

Puede que se pregunte durante cuánto tiempo podría seguir haciendo eso. ¿Por siempre? Usted sabe que no. No importa lo grande que sea el montón al principio, al fin terminaría con un pequeño “montón” formado sólo por diez guijarros. (Eso puede ocurrir con una sorprendente rapidez. Aunque hubiera empezado con un montón de guijarros, se encontraría con sólo dos guijarros después de tan sólo una veintena de divisiones). Si dividiera entonces de nuevo un montón de dos guijarros, se encontraría con un montón formado por un solo guijarro, y el juego habría terminado. No puede dividir un solo guijarro.

¡Pero espere! Sí puede. Podría colocar el guijarro sobre un yunque y golpearlo con un martillo. Lo rompería en fragmentos, y podría dividir éstos en montones más y más pequeños hasta que se quedara con sólo un fragmento. Entonces podría golpear el fragmento hasta reducirlo a polvo y dividir el montón de polvo hasta que termine con una única y apenas visible partícula de polvo. Entonces podría romper ésa, y empezar de nuevo.

En realidad, no se trata de un juego práctico, porque resulta muy difícil manejar un grano de polvo e intentar romperlo en fragmento aún más pequeños. Pero puede *imaginarlo*. Imagine que puede romper el polvo en partículas aún más finas, las cuales a su vez puede romper otra vez, consiguiendo partículas aún más finas. Ahora pregúntese: ¿existe algún fin a eso?

Puede que le parezca que no es una pregunta muy importante. Ni siquiera una pregunta particularmente sensata, en el sentido de que en realidad no puede ensayar el experimento de ninguna forma práctica. Muy pronto se hallará trabajando con objetos que son demasiado pequeños para poder verlos, de modo que ni siquiera sabrá si está rompiendo o no el montón. Sin embargo, algunos antiguos filósofos griegos se hicieron a sí mismos esta pregunta, e iniciaron una cadena de pensamientos que todavía sigue ocupando a los pensadores de hoy en ella, a veinticinco siglos más tarde.

Podría decirse que el primer párrafo es una invitación a pensar, a imaginar (“supongamos”). “Si no tuviera nada que hacer” podría dar idea de lo azarosas que son a veces las invenciones, puede estar refiriendo a lo divertido, a lo tedioso, al ocio productivo.

El segundo párrafo: “puede que se pregunte” aludiría a las posibles preguntas de los científicos. “Usted sabe que no” (es el conocimiento del lector), es una explicitación sugestiva, intenta atrapar (¿controlar la fuerza ilocucionaria, **tratando de comunicar el sentido con el que el autor quiere que se lea esa idea?**). Induce el establecimiento de analogías. “Esto puede ocurrir con sorprendente...” no colabora a la cohesión del texto (es aparentemente una idea irrelevante), pero intenta comunicar algo de las regularidades que la ciencia analiza, o algo en ese sentido. “No puede dividir un solo guijarro” involucra al lector para que piense que sí se puede.

El tercer párrafo: ¡Pero espere! Continúa con la complicidad entre lector y autor para imaginar un proceso juntos. El uso del presente “puede” asevera y el condicional “podría” invita a imaginar. “Empezar de nuevo” da idea de infinitud

Pero en el cuarto párrafo “En realidad” recuerda que son operaciones imposibles de realizar, aunque se pueden imaginar. “¿Existe algún fin a eso?” intenta introducir al lector en un problema de la ciencia. Intenta que el lector se comprometa con esa pregunta.

El quinto párrafo: “Puede que le parezca...” intenta controlar las impresiones del lector acerca de esta pregunta. De alguna manera contra argumenta sobre los posibles pensamientos de un lector imaginario diciendo “sin embargo...” “Muy pronto se hallará trabajando...” intenta involucrar al lector en los problemas de la ciencia. Es una idea que no colabora a la cohesión del párrafo ya que interrumpe la idea de la importancia de la pregunta. No obstante, en el medio del párrafo, introduce una advertencia tratando de que el lector tome en cuenta el tamaño de los trozos que irían apareciendo (“ni siquiera sabrá si está rompiendo o no el montón”).” (Documento interno del equipo).

Podría decirse que es un texto que adopta una apariencia de duda (Prat y col. 1998), que facilita el diálogo con el lector (óp. Cit.), que abre un interrogante (op. cit.)

Por otro lado, podría decirse que tiene en cuenta el conocimiento del lector. Empieza con las ideas más simples para luego pasar a una mayor elaboración

(empieza proponiendo el juego con los guijarros para luego "imaginar" otras posibles divisiones, aludiendo a las preguntas de los científicos). Tiene una buena estructura superficial que ayuda a anticipar (título Materia, subtítulo Dividir la Materia). Se presentan dos problemas concretos: "¿Existe algún fin a eso?" y "Muy pronto se hallará trabajando con objetos que son demasiado pequeños para poder verlos, de manera que ni siquiera sabrá si está rompiendo o no el montón" La expresión "esta pregunta" puede referir a "¿existe algún fin a eso?" o a "ni siquiera sabrá si está rompiendo o no el montón". Hay un intento de distinguir modelo de observación en "no puede ensayar el experimento de ninguna forma práctica" "Muy pronto se hallará trabajando con objetos que son demasiado pequeños para poder verlos" "cadena de pensamientos". Los tres primeros párrafos (en los que el autor habla de "juego") podrían ser una analogía.

Esta nueva mirada sobre la primera parte del párrafo – que había sido subestimado el año anterior – hizo pensar al equipo en un cambio en la consigna de lectura para una nueva puesta en práctica de la secuencia. Se pensó en: *“lean hasta donde está marcado, porque allí aparecen preguntas que se hace la ciencia y que nosotros vamos a trabajar ahora.* Después de una puesta en común, y según lo que apareciera, se podría decir que en el texto hay una pregunta, que releen los dos últimos párrafos. Las sugerencias que se hicieron a la docente para la puesta en común fueron: preguntar ¿qué se entendió?, retomar lo de “Imaginar” y lo de la invisibilidad y siempre volver al texto para ver qué se estaba entendiendo

La situación de lectura fue grupal, de a 4 alumnos juntos. Dicha conformación de los grupos fue pensada por las investigadoras para que los que comparten la situación de lectura sean los mismos que luego irían a trabajar en la experiencia en el laboratorio, donde trabajan cuatro alumnos por mesada. La idea que orientó esta decisión del equipo fue que el mantenimiento del grupo – son los mismos alumnos los que leen el texto y los que realizan la experiencia – generaría buenas condiciones para que pudieran encontrar relaciones entre lo que leen en el texto y lo que observan en el laboratorio.

Las investigadoras consideraron que en esta situación de lectura del texto de divulgación es la docente quien se “hace cargo” de la anticipación cuando les dice: *Ahí van a encontrar...* Que se trata de una situación de poca autonomía por parte de los alumnos ya que se recomienda incluso qué releer, los alumnos van al texto sin preguntas propias, la docente explicita el porqué de ese texto en ese momento de la

secuencia. Y es también ella quien comunica para qué leer, es una situación de lectura que responde a una necesidad de la secuencia (necesidad didáctica), no a una necesidad de los alumnos. Estas indicaciones que la docente da a los alumnos para el trabajo con este texto son intervenciones didácticas que apuntan a enseñar a leer; ella los orienta para que no piensen en cómo responder las preguntas que Asimov presenta en su texto en ese momento –como se hace habitualmente en las clases de ciencias naturales en las que se responden cuestionarios- sino en que se comprometan con el tema, que puedan aproximarse a las preguntas de la ciencia, en este caso a la problemática de la discontinuidad de la materia.

Fragmento seleccionado de la clase en la que los alumnos leen el texto

Docente: ¿Algún grupo no terminó?

Magalí: lo que quiere decir este texto, lo que vos podés hacer si tenés un, por ejemplo, un material, lo podés romper en infinitos fragmentos hasta sin darte cuenta lo que estás... lo podés dividir, podés romperlo en pedazos chiquititos lo vas a poder dividir, pero hay veces que ni te das cuenta lo que dividís, es como un polvo. Cuando un señor decía que trabajaba con cosas que ni siquiera se pueden ver y vos agarrás y venís caminando y hay cosas que ni se pueden ver, pequeñas partículas que vos tal vez las estás rompiendo y vos no te das cuenta.

(...)

D: Vos empezaste a hablar de... rompiendo, ¿no? En el texto ¿empieza con “rompiendo” ?, a ver.

Nicolás: No, dice dividiendo.

D: ¿Qué divide?

Nicolás: Los guijarros (...)

D: ¿Entendiste así, Miguel, vos eso?

Miguel: Creo que es lo que están diciendo, pero con otras palabras.

D: ¿Qué es lo que vos pensabas?

Miguel: Creo. Un objeto o una piedra, lo que habla acá es que si uno lo divide o lo rompés te van a quedar pedazos de ese objeto pero no del tamaño de lo anterior, te va a quedar más chico.

D: No termino de entender tu idea, ¿qué decías Miguel?

Miguel: Que si agarrás un objeto cualquiera y lo empezás a partir, te van a quedar partes más chicas de ese objeto pero si agarrás...

Alumna: (interrumpe) Pero no te va a quedar lo mismo

Miguel: ¡Bueno, una piedra sí!, te van a quedar piedritas más chiquitas.

Alumna: Te va a quedar arena.

Miguel: te van a quedar piedritas más chiquitas hasta que seguís partiendo y ahí van a quedar partes tan chiquitas que no las podés ver pero igual están, pero igual son partecitas chiquitas.

Alumna: ¿Cómo sabés si no lo podés ver?

Miguel: Porque lo dice acá.

Iair: Si esas partecitas no se ven cómo la ciencia pudo averiguar...

Melanie: con microscopio.

D: A ver, la pregunta que vos hacés es cómo pueden saber que está algo que yo no puedo ver.

Melanie: A través del microscopio.

D: (repitiendo lo que dijo un alumno) Ver para creer. ¿Escucharon la pregunta que hizo Iair? Él dice cómo hacen los científicos para hablar de cosas que realmente no se ven.

Melanie: Usan algunos elementos para poder tratar de saber...

D: Usan elementos ¿saben lo que hacen? Hacen experiencias, van al laboratorio. Por eso nosotros venimos al laboratorio hoy, justamente para poder... si no lo vemos, ¿podríamos llegar a pensar cómo son esas cosas que no vemos?

Alumnos: - Sí (murmullo)

D: ¿Cuál es la palabra que utiliza el autor?

Alumnos: Imaginar

D: Imaginar ¿y cuando digo imaginar pienso en cualquier cosa?

Alumno: (...) no sé qué podés imaginar.

D: Tratá de pensar en esto que estábamos hablando nosotros. Yo les dije fíjense bien en los dos últimos párrafos. Ahí...

Magalí: (interrumpe y lee) “No se trata de un juego práctico. Resulta difícil pensar en un grano de polvo e intentar romperlo en fragmentos más pequeños... pero se puede imaginar.”

D: Podés imaginar.

D: Hice una pregunta. Si vamos a seguir rompiendo, rompiendo, va a llegar un momento que hay una cosa...

P- Ahora yo les voy a contar lo que vamos a hacer en la mesada. Vamos a trabajar, todo lo que nosotros hagamos vamos a usar después para poder imaginar, pero yo voy a tener que pensar mucho tiempo con esto por eso es necesario que tomen nota y registro de todo lo que pasa en el laboratorio; por eso dije que trajeran la carpeta y una birome. Si ustedes quieren, pueden destinar a un compañero del grupo para que tome nota hoy pero como vamos a venir muchas veces al laboratorio, el compañero que trabaja hoy, después por dos o tres días descansa, ¿sí? Porque yo lo que quiero es que tomen nota de todo lo que hacen, ¿estamos?

Este breve fragmento de registro de la primera clase de la secuencia habilita a pensar que los alumnos han entrado en el tema, se están empezando a hacer preguntas sobre los interrogantes que la ciencia estudia, están empezando a hacerse cargo de la devolución del problema que la docente está intentando instalar en el grupo.

En cambio, la situación de lectura del texto expositivo que comunica el saber que se quiere enseñar, es interpretada por el equipo como a didáctica en el sentido de que los alumnos leen porque quieren contrastar las ideas que fueron produciendo en el marco de la secuencia, con lo que la ciencia dice al respecto y no para *satisfacer el deseo del maestro*; la lectura tiene un sentido para ellos. Otra característica de esta otra situación de lectura que la vincula con las situaciones a

didácticas es que la interacción con el texto los alumnos pueden por sí mismos validar o desestimar lo que están concibiendo acerca de la teoría

Con respecto al pedido de producción de representaciones modélicas, en el informe final del año 2001 las investigadoras escriben:

La propuesta de construir representaciones modélicas abre un espacio interesante de problemas por cuanto los mismos no suelen ser espontáneamente resueltos con el conocimiento disponible, favorecen la búsqueda de nuevos modos de pensar y comunicar, y la necesidad de profundizar en la interpretación de los textos; pareciera que la intervención docente (tendiente a demandar explicitaciones y fundamentaciones, a contrastar interpretaciones, a cuestionar afirmaciones del texto), la discusión colectiva y la relectura constituyen condiciones que promueven la puesta en juego y explicitación de las interpretaciones de los alumnos en función de sus marcos referenciales y el desarrollo de interpretaciones más ajustadas de los textos que las que alcanzan en sus primeras interpretaciones globales. (...) (Aisenberg, 2001, p. 5).

El equipo le otorga al pedido de construcción de representaciones “modélicas” un lugar prestigioso porque la exigencia de realizar una representación sobre el papel, con la inclusión de figuras no realistas, genera un problema para los alumnos que colabora con la profundización de las ideas en juego. En el momento de la secuencia en la que se propone esta situación los alumnos habían comenzado a concebir que la materia podría estar constituida por unidades, pero al ser confrontados con la necesidad de atribuir propiedades al sistema de partículas, esa demanda de precisión constituyó un desafío intelectual inquietante que a su vez colaboró con la instalación del propósito lector ya mencionado.

Las investigadoras consideran que las formas gráficas construidas por los alumnos son representaciones externas fértiles para iniciar o hacerlos transitar por razonamientos que sostienen una manera particular de pensar y hablar sobre el mundo, que permiten acercarse a la construcción del concepto de modelo, lo cual mejora a su vez las posibilidades de interpretar este tipo de representaciones, tan frecuentes en los textos de ciencias. Se valora que el trabajo con las

representaciones esté concebido como parte constitutiva de la propuesta, en contraposición a proponer un discurso acerca de la modelización científica como recurso yuxtapuesto, agregado a una propuesta.

Con respecto a la lectura del texto expositivo -que los alumnos realizan luego de varias clases en las que se realizó un experimento, se discutió acerca de su interpretación, se produjeron representaciones modélicas- en el primer informe final se afirma:

el análisis, alcanzado hasta el momento, de los registros de clases confirma el rol de la lectura como medio prestigioso de comunicar el conocimiento oficialmente aceptado o considerado válido; dicho medio tiene un estatus diferente al de la exposición del docente (que constituiría su alternativa), en tanto ofrece la oportunidad de revisar y constatar lo que se dice toda vez que se muestre necesario. La lectura de textos y la exposición del docente son las únicas formas de acceder al conocimiento de carácter más abstracto. En contrapartida, cuando se propone una experiencia, es posible que la recolección de datos y la interacción con los fenómenos permita reflexionar, imaginar interpretaciones y alcanzar a través de la interacción con los pares y las intervenciones del docente, alguna representación para explicarlo. Por ejemplo, el fenómeno de la disolución de azúcar en agua puede volver “creíble” la idea de que la materia está constituida por diminutas partículas, pero no dice necesariamente nada acerca de la constitución de dichas partículas. Para acceder a este tipo de conocimiento la lectura se torna imprescindible. Dado el desarrollo evolutivo y el conocimiento que sobre la discontinuidad de la materia un alumno de séptimo grado frecuentemente posee, interpretar un texto sobre esta temática representa un desafío intelectual fuerte. Hay mucho que no se dice explícitamente en el texto, que probablemente no se pueda decir, y que hace que lo que habitualmente queda librado a la interpretación personal del lector adquiera dimensiones singularmente importantes. Hay algo extraño en un discurso sobre comportamientos de la materia que contradicen mucho de lo que nuestros sentidos parecen informar. (Aisenberg, 2001)

Otra cuestión relevada reside en que, al proponer situaciones anteriores a la lectura que promueven interpretaciones personales y preguntas genuinas, los alumnos abordan el texto con la intención de encontrar respuestas que pueden no estar contempladas, ya que las mismas no tienen cabida dentro del campo del conocimiento que se comunica. Así, la condición de vivo o no vivo de las partículas o la posibilidad de modificaciones en la forma y tamaño de las mismas, no se incluyen como tales en los textos. Esto genera un problema didáctico ya que el alumno debe aceptar la distinción entre las interpretaciones personales y aquellas de naturaleza científica, que son las aportadas por el texto, mientras que en el inicio del trabajo el niño es alentado a expresar libremente sus interpretaciones, evitándose censurar las ideas que circulan. Desde la perspectiva del docente la situación es clara y obedece a distintos momentos de la propuesta didáctica, pero para el alumno esto no es tan así. (Aisenberg, 2001, p. 6)

Estas palabras tomadas del informe se vinculan con la situación que se dio en la secuencia cuando los alumnos, luego de buscar en el texto una respuesta a si las partículas eran o no eran seres vivos no la encontraron. La docente preguntó a la clase por qué creían que el texto no hacía referencia a si las partículas eran seres vivos o no. Hubo alumnos que respondieron que en el texto no aparecía esa información porque era obvio que sí lo eran y otros se manifestaron por la opinión opuesta, que era obvio que no lo fueran. La docente saldó la discusión diciendo que las partículas no son seres vivos y que el texto no puede decir todo aquello que “no es”, porque eso sería imposible. El equipo consideró a este momento como sumamente interesante para reflexionar acerca de qué es enseñar a leer en ciencias naturales; la discusión propiciada en el grupo de alumnos dio lugar a preguntas genuinas y a una ida al texto con un claro propósito lector: contrastar las ideas que se habían ido produciendo en las clases previas a la de la lectura, con las que la ciencia propone. Pero una de las preguntas no tenía respuesta en el texto; fue necesario que el docente la respondiese aportando el conocimiento consensuado – las partículas no son seres vivos- y comunicando a los alumnos que cuando el conocimiento tiene tal grado de consenso no se considera que sea necesario explicitarlo. Evidentemente esta oportunidad de explicitar este tipo de cuestiones

no se hubiese dado si los alumnos no hubiesen tenido la oportunidad de participar en diferentes situaciones en las que se los habilitó a comunicar sus ideas acerca del tema que se estaba tratando, a que las discutieran con sus pares y con la docente; en definitiva a que se hicieran cargo de ir construyendo la respuesta a la pregunta que orientó la secuencia que si bien no estaban en condiciones de responder por sí mismos sí pudieron apropiarse de ella, pensarla para ir en busca de la respuesta que da la ciencia, en un texto, en mejores condiciones de comprensión.

Con respecto a la construcción de los contenidos escolares, pareció confirmarse que cuando un docente tiene más claramente definidos los contenidos de enseñanza, está en mejores condiciones de gestionar la clase, de manera de no desviarse por caminos poco conducentes frente a las preguntas o intervenciones de los alumnos. Los registros de la primera puesta en aula de la secuencia daban cuenta de muchas más situaciones, y fundamentalmente más extensas, en las que la clase se desviaba y perdía el rumbo. Por ejemplo, en el análisis que en esta segunda secuencia se realiza en clase acerca del significado que los alumnos le otorgan al fenómeno de la dilatación de los cables (ver texto de Estrada en el anexo), es claro cómo la docente interviene afirmando que el calor no es una sustancia, no está constituido por partículas, y por lo tanto no puede pensarse en un aumento del peso de los cables debido al supuesto peso de las supuestas partículas de calor. Es interesante además el hecho de que la docente pueda retomar más claramente el trabajo realizado con el experimento, cuestión que aunque se haya insistido varias veces en la necesidad de instalar el procedimiento de vincular la teoría con la experiencia, esto difícilmente era tomado. El hecho de que durante el experimento los alumnos hayan constatado que la parafina sólida y líquida (después de haber sido calentada y de encontrarse a mayor temperatura) pese lo mismo, les da una herramienta importante para argumentar.

Puede considerarse que en la propuesta de enseñanza desarrollada los alumnos fueron al texto con preguntas propias, encuentran sentido a la lectura al darse cuenta de que sus conocimientos no les alcanzan para fundamentar cuál de los modelos elaborados por los distintos grupos de la clase es el que permite explicar cómo está constituida la materia. Esto se vincula fuertemente con que, en esta secuencia, el propósito lector se instaló a partir de la problematización de los contenidos específicos designados para la enseñanza y que dicha problematización ha sido

productiva en la medida en que se vinculó con los nudos conceptuales que se abordan en la lectura.

La selección del registro de clase que se presenta pretende ilustrar cómo llegan los chicos a leer el texto expositivo, después de haber pasado por la observación y experimentación, la producción de representaciones acerca de cómo creían que estaba formada la materia en su interior, la presentación y discusión de sus modelos y de que la docente los presentara a toda la clase como punto de partida para la lectura. Podría decirse que es impostergable que lean porque los alumnos ya tienen preguntas propias para ir al texto.

Docente: –Bien. De las ideas con respecto a cómo está formada la materia que yo saco de lo que ustedes escribieron la otra vez, hay cuatro posiciones diferentes.

Hay unos chicos que dicen que cuando la materia pasa de sólido a líquido lo que está sucediendo es que las partículas se separan. Hay otros chicos que están diciendo que cuando se pasa de sólido a líquido, las partículas se derriten.

Melanie: –Para mí, se derriten.

Docente: –Esperá un poquito... Hay unos chicos que dicen que se separan, hay otros chicos que dicen que las partículas se derriten, hay otros chicos que dicen una mezcla de las dos. Dicen que las partículas se separan, se derriten y hay un caso que dice que las partículas se separan, se derriten y se mueren. Entonces, tenemos cuatro ideas diferentes con respecto a este tema de qué les pasará a las partículas en estos cambios de estado, ¿sí? Ahora lo que yo les propongo es recurrir a un texto...

Alan: – [Interrumpiéndola] ¡Vamos todavía!

La interpretación de lo que ha sucedido con diversos grupos de alumnos al desarrollarse esta secuencia de enseñanza habilita a pensar que para la comprensión de un texto expositivo, además de los conocimientos que cada lector aporta para la construcción de sentido, la instalación de un propósito lector genera en cada alumno una pregunta propia que guía y sesga la lectura: leerán con distinta profundidad los diferentes apartados, releerán aquellas partes que les proporcionan indicios para dar respuesta a su problema, saltarán otras, etc. El fragmento de clase que se presenta a continuación ilustra, en parte, esta idea.

Docente: – ¿Contestamos ya alguna de las preguntas que teníamos?

Varios alumnos: –Sí.

Damián: –Que se mueven.

Jonathan: –Sí, con el cambio de estado las partículas se movían.

Miguel: –Las partículas se mueven.

Docente: ¿Esa era la duda que teníamos de la otra clase? ¿Cuál era...?

Natalí: –Si con el cambio de estado las partículas...

Docente: – ¿Qué queríamos saber de las partículas el otro día... que ahora los científicos nos dicen “esto es así”? A ver Maia, que el movimiento de las partículas ¿qué?

Maia: –Los movimientos de las partículas.

Docente: –A ver, cómo podemos plantear mejor esa pregunta, a ver.

Maia: –Queríamos saber si las partículas se movían.

Docente: –Exactamente, queríamos saber: ¿se mueven o no se mueven?

Miguel: – ¡Se mueven!

Docente: –Y aparte de decirnos que se mueven...

Jonathan: –Dice que el calor produce cambios.

Docente: –Eso también. Pero...

Damián: –Cambios de estado.

Maia: – ¡Eso también lo podemos comprobar!

Las investigadoras destacan que es preciso comentar que los registros muestran sólo una parte de lo que sucede en una clase: lo que se dice. Pero no reflejan el clima, la disposición de los alumnos a participar, el entusiasmo, la superposición de las voces, “la pelea” por hacerse oír. En ese sentido son acotados y es necesario considerar que el análisis de dichos registros se complementa con la reconstrucción de las observaciones realizadas por ellas en situación de clase. El clima observado en la clase es lo que contribuye también a referir a que las preguntas con las que los

alumnos llegan al texto son propias. Ellas los han visto pensarlas, formularlas, discutir las y comunicarlas al grupo.

Parecería que posicionar a los alumnos en el lugar del lector con derecho a decidir cómo leer, además de ser en sí misma una experiencia democratizadora de las prácticas de enseñanza y de las de aprendizaje –ya que el docente no es el único que tiene el poder de decidirlo–, los invita a una experiencia lectora muy cercana a la que tenemos los lectores “expertos” cuando leemos para aprender lo que dicen los que saben sobre un determinado tema. Dado que el modo en que se lee fuera de la escuela es una referencia necesaria para pensar las prácticas de lectura en el aula, creemos que en esta práctica escolar se pueden ver y reconocer aspectos de la primera: los alumnos van al texto porque saben que allí pueden encontrar respuestas a sus preguntas.

Capítulo 6. Discusión y conclusiones

En el primer capítulo se presentaron los objetivos de este trabajo que son:

Identificar las potencialidades de la Ingeniería didáctica para la comprensión de la enseñanza de la lectura en el área de las Ciencias Naturales a través del análisis del proyecto de investigación UBACyT *La lectura en naturales objeto de enseñanza herramienta de aprendizaje*;

Analizar la viabilidad de la ingeniería didáctica como metodología de investigación en didáctica de las Ciencias Naturales, especialmente en el tema del caso que se estudia, la enseñanza de la lectura en Ciencias Naturales a través del análisis del caso que se estudia;

Comprender si las decisiones metodológicas que se expresan en la formulación del proyecto mencionado y los ajustes que se realizan durante el transcurso de la investigación, contribuyen a profundizar la comprensión de la situación de enseñanza que se estudia.

Puede considerarse que el caso de estudio -el Proyecto UBACyT- se vincula estrechamente con la metodología de investigación didáctica llamada ingeniería didáctica por varias cuestiones. Una de ellas es que el análisis del material que el equipo de investigación del caso que se estudia ha producido, habilita a considerar el interés de las investigadoras por diferenciarse de la enseñanza habitual de los contenidos del área de Ciencias Naturales en la escuela. En esta área, no es común que se lea en clase porque se supone que la situación experimental y la discusión entre los alumnos, conducida por el docente con preguntas orientadoras, propician por sí mismas la apropiación del conocimiento. Muchas propuestas de enseñanza se basan en situaciones en las que el docente aparece como portador del conocimiento, que a su vez lo comunica después de que los alumnos han visto lo que sucede en alguna experiencia que lo avalaría. Parecería así que el conocimiento científico es directamente observable y que sólo haría falta elegir una buena situación experimental para que esté al alcance de todos. Otra diferencia que se advierte que el equipo persigue instalar se vincula con la concepción de conocimiento científico como una construcción social, histórica que pretende

explicar el funcionamiento del mundo, y no reflejarlo lo más fielmente posible, y que no se accede a él con observar experimentos y escuchar al docente solamente.

Además, desde estas concepciones de enseñanza, de conocimiento y de lectura, podría decirse que las propuestas que se incluyen en la secuencia de enseñanza diseñada por el equipo UBACyT están al servicio de poder estudiar en qué condiciones la lectura en el área puede contribuir al aprendizaje de los contenidos que son objeto de enseñanza y, a su vez, favorecer la lectura de otros textos de estas disciplinas. La hipótesis de trabajo del equipo de investigadoras es que, si los alumnos llegan a la lectura de los textos que comunican el conocimiento acerca de la constitución de la materia con interrogantes propios, resignificados en el devenir de la secuencia, la interacción con los textos es más rica, más profunda y propicia el aprendizaje. Quedaría así desnaturalizada la lectura como práctica que todos realizamos *de la misma manera* independientemente de *para qué* y *qué* leamos.

Las situaciones didácticas que el equipo citado diseñaron en la fase de los estudios a priori, a partir de los estudios realizados en la fase de los análisis preliminares, fueron pensadas entonces con esta preocupación por la problematización del contenido, por generar un ambiente en la clase en la que el grupo pueda ir construyendo colectivamente preguntas sobre el tema. La problematización del contenido es tema central en la teoría de las situaciones en tanto desde esta perspectiva constructivista se trata de generar una situación en la que el alumno pueda producir conocimientos reformulando y luchando contra conocimientos anteriores en respuesta, en primer lugar, al problema y no a la intención de la enseñanza.

El diseño del equipo UBACyT contribuiría a que los alumnos puedan apropiarse del conocimiento del área de las Ciencias Naturales –la constitución de la materia en este caso- gracias a haber atravesado por una secuencia de enseñanza en la que se los posicionó como sujetos capaces de involucrarse en una problemática del área, de discutir con sus pares, con el docente, con los textos, a partir de los que ellos piensan sobre el tema, sobre lo que entienden cuando leen y de lo que dice el docente, y no de aceptarlo acríticamente.

La propuesta que se despliega en el caso de estudio pone en el centro, como unidad de análisis mínima, a las situaciones de enseñanza en las que se ponen en juego las relaciones entre maestro, alumno y saber y se enmarca en una perspectiva constructivista según la cual el aprendizaje es concebido como la adaptación a un

medio que resulta problemático, entendida la adaptación como una transformación del propio saber, una dialéctica entre asimilación y acomodación. Las situaciones didácticas diseñadas para la secuencia de enseñanza sobre la constitución de la materia ofrecen a los alumnos la posibilidad de construir el conocimiento, ellos no tienen un saber disponible que les permita responder a la pregunta si *existe un fin a eso*, por ejemplo, y el docente no interviene desde el inicio de la secuencia de enseñanza en lo relativo al saber que se está enseñando propiamente dicho, sino que sus intervenciones apuntan a sostener la problematización del conocimiento, a poner a disposición de los estudiantes recursos que colaboren en su construcción; se trata de que la resolución de los problemas recaiga sobre ellos y que a su vez puedan decidir si lo han logrado o no.

Se retoma aquí un fragmento del marco teórico sobre la ingeniería didáctica presentado en el capítulo 2 para reflexionar sobre cómo indagar acerca de cuáles son las mejores situaciones que propician aprendizaje de un contenido específico si no es a través de la investigación que se realiza en aula, con diseño y análisis de situaciones didácticas que permitan atrapar la complejidad de las relaciones entre el docente, el alumno y el saber: En el marco de la escuela francesa, el aprendizaje implica construcción de significado y apropiación del conocimiento; aprender es involucrarse en una actividad intelectual cuya consecuencia final es la disponibilidad de un conocimiento con su doble status de objeto y de herramienta (la autora hace referencia específicamente a aprender matemáticas)⁸Y enseñar es crear condiciones que producirán la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes. Para que haya enseñanza y aprendizaje es necesario que el conocimiento sea una manifestación importante de los juegos de la escuela, que sea esencial en la interacción entre docente y alumno. (Douady, 1995)

⁸ Saber matemáticas implica dos aspectos: 1. poseer herramientas (teoremas y nociones). Las herramientas están inscriptas en un contexto. Las situaciones o los problemas en los que evolucionan las nociones generan significado para esas nociones. Se trata de un punto de vista semántico. 2. Identificar las nociones y los teoremas como elementos de un corpus reconocido social y científicamente. Es también formular definiciones, enunciar los teoremas de ese corpus y demostrarlos. Los teoremas y las nociones tienen carácter de objeto, están descontextualizados, despersonalizados. El trabajo de descontextualización y despersonalización participa del proceso de apropiación del conocimiento. El trabajo de recontextualización permite expandirlo (al significado) Este trabajo de recontextualización puede hacerse tanto sobre las herramientas como sobre los objetos, pero se necesita respetar un conjunto de reglas internas de las matemáticas y diferentes modos de expresión. Es una componente sintáctica del significado

Podría agregarse que el tipo de investigación realizado, que sigue los lineamientos de la ingeniería didáctica, ha contribuido fuertemente al estudio de lo que sucede en el aula cuando se enseña el contenido aludido, no con el fin de prescribir cómo enseñarlo, sino para comprender el funcionamiento de las situaciones diseñadas, para entender cuál es el proceso al que dan lugar, y poder interpretar cognitivamente los comportamientos de los alumnos que participan de ellas

Por otro lado, cabe mencionar que uno de los problemas que atraviesa la ingeniería didáctica es que las secuencias diseñadas suelen ser interpretadas como prescripción, como guiones a seguir en el aula y no como modelizaciones teóricas. Podría interpretarse que la distancia entre las concepciones sobre el aprendizaje de quienes reciben los resultados de las ingenierías y las que subyacen a la teoría de las situaciones, sobre la que la ingeniería didáctica se basa, obstaculiza la comprensión de que las secuencias diseñadas en el marco de las investigaciones no son replicables ni diseñadas con ese propósito. Como ya se ha comentado, la preocupación desde este enfoque es la comprensión de los procesos a los que dan lugar las situaciones que se generan y no la prescripción, aunque es esperable que dicha comprensión contribuya a la producción de conocimiento didáctico. Y es eso lo que se puede observar en el caso que se estudia en tanto ha habido producción de conocimiento didáctico no en un sentido prescriptivo, de producción de una secuencia a replicar, sino en cuanto análisis de condiciones que propician una interpretación más ajustada de los textos que los alumnos leen y, en ese sentido, se destaca la idea de *propósito lector*, que los alumnos lean buscando respuestas a preguntas que ellos mismos han ido generando en el devenir de la secuencia de enseñanza.

La relevancia y la factibilidad de este tipo de investigaciones es un tema para la agenda de la investigación didáctica y de la formación docente en tanto su mayor incidencia redundaría en mayor conocimiento didáctico y también avances en la formación docente.

La ingeniería didáctica es una metodología de investigación comprometida con una concepción de enseñanza y de aprendizaje, que involucra el profundo estudio del objeto de enseñanza, su epistemología, el conocimiento de la enseñanza habitual y de las concepciones del alumno acerca del tema. Dicha ingeniería se desarrolla en el aula a partir del diseño de situaciones didácticas que funcionan como hipótesis

de trabajo. En el análisis que se realiza de lo acontecido en clase, para comprender con profundidad cómo los alumnos interactúan con el conocimiento, intervienen las reflexiones que se produjeron en las fases de los análisis preliminares y a priori. No parece que haya otra metodología que permita estudiar la enseñanza de la lectura en el área de esta manera

No obstante lo expuesto en este trabajo, que resalta la fecundidad de la ingeniería didáctica, puede decirse también que quedan abiertos problemas. A partir del convencimiento de la necesidad de la problematización del conocimiento escolar que propone Brousseau, de que dicha problematización no suele ser un objetivo del docente, de que las secuencias que se planifican en los equipos de investigación suelen ser tomadas como guiones a seguir por los docentes (carácter prescriptivo) y no como modelizaciones teóricas; de que los docentes no siempre se apropian de las situaciones para llevarlas al aula aunque sí las estudian y valoran, de que es necesario conocer el sistema didáctico y sus restricciones (Chevallard), actualmente se está dando, en grupos que investigan en Didáctica diseñando y desarrollando propuestas en el aula, la discusión acerca de cómo incluir la mirada del docente en el diseño y análisis de las situaciones (Sadovsky, 2015). Se entiende que ellos aportan las restricciones del sistema y que propiciar un espacio en el que los docentes también se posicionen como productores de conocimiento puede resultar una muy buena condición para que a su vez ellos generen un lugar para que también los alumnos lo sean. Para que esto último suceda es necesario que el docente haya problematizado el conocimiento y eso es factible de propiciar en el trabajo colaborativo entre investigadores y docentes. Si bien la investigación que se realiza con trabajo en aula como la que se ha analizado permite un acercamiento al docente que otras propuestas dejan afuera, el trabajo colaborativo permitiría conocer más en profundidad qué le pasa al docente cuando enseña, lo que llevaría a revisar las propuestas y su comunicación.

Con este propósito es que el equipo UBACyT ha delineado y puesto en práctica en estos últimos años 2014/2015 un trabajo colaborativo con docentes para estudiar un contenido específico (fuerza y movimiento en este caso), diseñar una secuencia de enseñanza, desarrollarla en el aula y analizarla para comprender su funcionamiento. La potencialidad de este tipo de investigación –llevada a cabo entre docentes e investigadoras en este caso- se vuelve a confirmar con este nuevo

trabajo, en el que se puede hacer referencia con más pertinencia al impacto en el sistema de enseñanza, objetivo último de la ingeniería didáctica.

Bibliografía

- Aisenberg, B. (2000). Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica Programación Científica 1998-2000. Proyecto anual AF48. La lectura “en sociales” y “en naturales”: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje.
- Aisenberg, B. (2001) Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica. Programación Científica 1998-2000. Proyecto anual AF48. La lectura “en sociales” y “en naturales”: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje. Informe final. Abril de 2001
- Aisenberg, B. y Lerner, D. (2003) Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Ciencia y Técnica. Proyectos anuales 2003 Proyecto: La lectura en Ciencias Sociales y en Ciencias Naturales: objeto de enseñanza y herramienta de aprendizaje. Informe final abril de 2003
- Alberts, B. y otros (1996) *Biología Molecular de la Célula*. Barcelona: Editorial Omega
- Artigue, M., (1990). *Epistémologie et didactique*. En *Reserches en didactique des mathématiques*. Vol. 10. N° 23. Traducción de María Fernanda Espitia Olaya
- Artigue, M., Douady, R. y Moreno, L., (1995). *Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas* México: Editor: Pedro Gómez Una empresa docente & Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V.
- Artigue, M., (2002). *Ingénierie didactique: que rôle dans la recherche didactique aujourd'hui?* En *Les dossiers des Sciences de l'Education. Didactique des disciplines scientifiques et technologiques: concepts et méthodes. Revue Internationale des Sciences de l'Education*. Presses Universitaires du Mirail. N° 8, 2002. Traducción: Valeria Machiunas y María Emilia Quaranta, para ser usado como documento de circulación interna en el equipo de matemática de la Escuela de Capacitación Cepa.
- Artigue, M., (2003). *¿Qué se puede aprender de la Investigación Educativa en el Nivel Universitario?* En *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana*. Vol. X, No. 2
- Artigue, M., (2011). *L'ingénierie didactique comme thème d'étude* En *Amont et en aval des ingénieries didactiques 15° École d'été de diactique des mathématiques*. Fancia. La pensée sauvage, éditions.

- Astolfi, J.P., Ginsguyer-Vogel, Y. (1987): Sur la lecture des manuels de biologie. En *Aster 4, recherches en didactique des sciences expérimentales*. París: INRP.
- Astolfi, J.P., Peterfalvi, B., Verin, A. (1991) *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales. Didactique des disciplines*. París: INRP.
- Bachelard, G. (1948) *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires: Siglo veintiuno editores 2003
- Bessot, A. (2009). *L'ingénierie didactique au coeur de la théorie des situations*. En: *En amont et en aval des ingénieries didactiques* 15 École d'été de didactique des mathématiques. Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) – du 16 au 23 août 2009. Volume I thème 1: l'ingénierie didactique dans la perspective de la théorie des situations (pp. 29-56)
- Brousseau G., (1980). *Problèmes de l'enseignement des décimaux. Recherches en didactique des Mathématiques*, 2 (1), 11-57
- Brousseau G., (1981). *Problèmes de didactique des décimaux. Recherches en didactique des Mathématiques*, 1 (1), 37-127
- Brousseau G., (1986). Fundamentos y métodos de la Didáctica de la Matemática, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Serie B, Trabajos de Matemática, No. 19 (versión castellana 1993).
- Brousseau G., (2005). *Situations fondamentales et processus génétiques de la statique*. In A. Mercier & C. Margolinas (Eds.) *Balises en didactique des Mathématiques* (pp. 165-194). Grenoble: La Pensée Sauvage
- Candela, A. (1996). *La construcción de la ciencia en la interacción discursiva del aula*. Méjico, Documento DIE 42, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Castedo, M. y Molinari, M. (1999) *Enseñar y Aprender a leer. Jardín de Infantes y Primer ciclo de la Educación Básica*. Buenos Aires: Ediciones Novedades Educativas.
- Castorina, J. A. (2000). Tres cuestiones para las teorías del cambio conceptual en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En AA. VV. *Congreso Internacional de Educación "Educación, crisis y utopías"*, Buenos Aires: Aique, volumen II: La propuesta de la Didáctica y la Psicología.
- Castorina, J. A (2003) *La psicología genética frente a los saberes disciplinares* Psyké
- Castorina, J. (2012) *Psicología y Epistemología genéticas* Buenos Aires: Lugar

- Chevallard, Y., (1982). *Sur l'ingénierie didactique*. Texte préparé pour la deuxième Ecole d'Été de didactique des Mathématiques. Orléans, Juillet 1982
- Chevallard, Y., (1985). *La transposition didactique* Grenoble: La Pensée Sauvage
- Ciapuscio (2003) "Metáforas y Ciencia" en *Ciencia Hoy* Volumen 13 N°76 Agosto/Septiembre de 2003
- Douady, R., (1995). *La ingeniería didáctica y la evolución de su relación con el conocimiento*. En Pedro Gómez (editor) *Ingeniería didáctica en educación matemática Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas* México: Editor: Pedro Gómez Una empresa docente & Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V.
- Driver, R. (1986) Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. Revista *Enseñanza de las Ciencias*. Volumen 4 N° 1
- Driver, R. (1989) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid: Editorial Morata
- Dubois, M. Eugenia. (1994) *El proceso de lectura. De la teoría a la práctica*. Buenos Aires: Aique
- Espinoza, A. Casamajor, A. y Pitton, E., (2009) *Enseñar a leer textos de ciencias*. Buenos Aires: Paidós
- Espinoza, A. (2010): *Ciencias na escola. Novas perspectivas para a formação dos alunos* São Paulo. Editora Ática
- Ferreiro, E. y Teberosky, A. (1979) *Los Sistemas de Escritura en el Desarrollo del Niño* México: Siglo XXI
- García, R. (2000) *El conocimiento en construcción*. Barcelona: Gedisa
- Giordan, A. y de Vecchi, G., (1988): *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*, Sevilla: Ed Díada.
- Goodman, K. (1982) "El Proceso de Lectura". En Ferreiro y E., Gómez Palacio, M., (comp.) *Nuevas perspectivas sobre los procesos de lectura y escritura* México: Siglo XXI
- Jacobi (1987): *Textes et images de la vulgarisation scientifique (à paraître, Berne, P. Lang)*
- Johsua, S. y Dupin, J. (1993) *Introducción a la Didáctica de las ciencias y la Matemática*. Buenos Aires: Ediciones Colihue. 2005
- Legrand, M. (1993). *Le concept de situation fondamentale. Richesses et limites de ce concept*. In R. Noirfalise (ED.), *Actes de la VII° École d'été de didactique des*

- mathématiques (pp 121-130)*. Clermont-Ferrand : IREM de Clermont-Ferrand
- Legrand, M. (1996). *La problématique des situations fondamentales. Confrontation du paradigme des situations à d'autres approches didactiques. Recherches en Didactique des Mathématiques*, 16 (2), 221-280
- Lemke, J. (1997) *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Lerner, D. (2001) *Leer y escribir en la escuela: lo real, lo posible y lo necesario* México: Fondo de Cultura Económica 2003
- Lombardi, Olivia (1998) "La noción de modelo en ciencias" En Revista *Educación en ciencias*. Vol. II N°4
- Margolinas, C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux dans la classe de mathématique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Olson, D. (1998) *El mundo sobre el papel*. Barcelona: Gedisa.
- Panizza, M., (2004). *Conceptos básicos de la teoría de situaciones didácticas*. Buenos Aires: Paidós
- Perrenoud, Ph. (1996) *La construcción del éxito y el fracaso escolar*. Madrid: Morata
- Perrin-Glorian, M., (2009). *L'ingénierie didactique à l'interface de la recherche avec l'enseignement. Développement de ressources et formation des enseignants* En: *En amont et en aval des ingénieries didactiques 15 École d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) – du 16 au 23 août 2009. Volume I thème 1: l'ingénierie didactique dans la perspective de la théorie des situations (pp. 57-78)
- Prat, Á. (2000) *Hablar y escribir para aprender*. Madrid: Síntesis
- Prats y col. (1998) Funció del text escrit en la construcció del coneixment i en el desenvolupament d'habilitats. En Jorba i Bisbal, J; Gómez i Alemany, I; Prat y Pla, Á. (eds.) *Parlar i escriure per aprendere. Us de la llengua en situació d'ensenyament-aprenentatge des de les àrees curriculars*. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad Autónoma de Barcelona
- Reigosa (2003) La metáfora y la comparación como instrumentos de aprendizaje en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciencia hoy* Volumen 13 N°77 Octubre/Noviembre 2013
- Robert, A. (1987): La mise en scene du savoir scientifique dans les documentaires. En *Aster N°4, Recherches en didactique des sciences expérimentales*. París: INRP

Robert, A. y Robinet, (1989). *Représentations des enseignants de mathématiques sur les mathématiques et leur enseignement*. Institut de recherche pour l'enseignement des mathématiques, Université ParisVII

Robert, A., (1992). *Problèmes méthodologiques en didactique des mathématiques* En - Revue RDM Volume 12

Rodríguez, M. (1988) Los textos en el entorno escolar En Revista *Lectura y Vida*. Año 9, Nº 2.

Rodríguez, M. Kaufman, A. (1988) *La Escuela y los Textos*. Buenos Aires: Santillana

Sadovsky, P. Coloquio 30 años de educación educativa. Mesa didácticas específicas investigacioneducativacoloquio.wordpress.com

Samaja, J. (1993) *Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba 2008

Shepardson, D. P. (1996). Learning science in a first grade science activity: a vigotskian perspective. *Science education*, 83.

Smith, F. (1983) *Comprensión de la lectura* México: Trillas

Stake, R. (1998) *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata 1999

Sutton, C. (1997) Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. En *Revista Alambique* 12. GRAÓ

Viennot, L. (1983). *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University Ithaca, pp. 239, 244

Vigotsky, L. (1991) *Obras escogidas*. Madrid. Visor

Ynoub, R (2014) *Cuestión de método. Aportes para una metodología crítica*. México: Cengage Learning

ⁱⁱLa investigación está reconocida como proyecto Ubacyt y funciona con dos subequipos: uno en Ciencias Sociales y otro en Ciencias Naturales. El grupo que trabaja en el área de Ciencias Naturales está integrado en la actualidad por: Cecilia Acevedo, Adriana Casamajor, Patricia Lupi, Silvina Muzzantti, Egle Pitton, y coordinado por Ana Espinoza. Comenzó en el año 2000 y actualmente continúa. Para esta tesis sólo se han tenido en cuenta las producciones del subequipo de Ciencias Naturales

ⁱⁱⁱ El texto seleccionado lleva por título "La naturaleza que no vemos" y pertenece al Libro de la Naturaleza y la tecnología 8, de Editorial Estrada Buenos Aires

^{iv} La experiencia seleccionada para trabajar en esta segunda entrevista consiste en entregarle calor a una bolita de naftalina.

^v La segunda entrevista fue realizada con dos alumnos del Colegio Numen, ubicado en la Ciudad de Buenos Aires, el día 22/5/2000

Anexo. Texto de Estrada

La naturaleza que no vemos

En la versión inglesa de Los cuentos nunca escritos (Unwritten Stories), Jorge Luis Borges menciona a un viejo y cruel emperador, quien, a punto de morir, entregó a su hijo un cofre completamente cerrado, sin tapas, bisagras ni cerraduras. "Lo que aquí se encierra tiene un valor incalculable", le dijo. "Si adivinas de qué se trata y no dañas el cofre, lo poseerás. De lo contrario, perderás todos tus privilegios."

El joven príncipe aceptó el desafío y, para resolver el enigma, sometió el cofre a innumerables y complicadas pruebas. Se pasó tardes enteras pesándolo, sacudiéndolo, tratando de escuchar sonidos de su interior, oliéndolo... Cuantas más pruebas hiciera y más cuidado pusiese en analizar sus efectos, tanto más seguro podría estar de averiguar el contenido. De todos modos, basta que el cofre no fuese abierto, no sabría con certeza qué se guardaba en su interior.

En muchas ocasiones, nos encontramos, frente a la naturaleza, con un dilema muy parecido al del joven príncipe. A partir de ciertas pruebas, podemos producir efectos tales como electrizar un peine o una regla, transformar un sólido en un líquido o fabricar un imán con electricidad. Los seres vivos crecen y se reproducen de acuerdo con determinadas reglas y leyes. Han sufrido muchos cambios a lo largo de cientos de millones de años desde que habitan el planeta. Pero, ¿por qué ocurre todo esto?

En las Ciencias Naturales se supone que la causa de las leyes y de los cambios que observamos en la naturaleza se encuentra en el mundo microscópico del interior de la materia. Lamentablemente, el interior de la materia es aún más inaccesible que el cofre del príncipe. No hay otra salida que usar la imaginación y proponer ideas acerca de lo que allí se esconde. Claro que estas ideas deben servir para ofrecernos buenas explicaciones de lo que ocurre en la naturaleza. Este tipo de propuesta que elaboran los científicos para explicar los resultados de las experiencias y, a veces, para anticipar sus resultados, recibe el nombre de hipótesis científica. Cuando una de estas hipótesis, a través de muchas pruebas, se consolida, pasa a llamarse teoría científica o, simplemente, teoría. Una de las teorías más importantes de las Ciencias Naturales consiste en suponer que toda la materia está formada por pequeñas partículas, tan pequeñas que resultarían invisibles, aun mirando a través del más poderoso microscopio. Si bien los antiguos griegos tuvieron esta idea hace ya unos dos mil quinientos años, hace "solo" unos doscientos años que se convirtió en una verdadera teoría científica. Es decir, comenzó a ser usada para explicar lo que ocurre en las experiencias que se realizan en los laboratorios y lo que se observa en la naturaleza. Desde esa fecha, y hasta hoy en día, esta teoría continúa cambiando y perfeccionándose.

Ahora bien, ¿por qué los científicos creen que es posible explicar lo que observamos en la naturaleza a partir de suponer la existencia de diminutas e invisibles partículas? Para comenzar, les proponemos que intenten buscar una respuesta. Para eso, analicen las siguientes situaciones y traten de explicar por qué ocurren.

- Poco después de baldear un patio, el agua que mojó el piso "desaparece" y el piso se seca.
- Al dejar mucho tiempo guardado un frasco de perfume, su contenido disminuye aunque esté cerrado. Si el frasco se encuentra dentro de una caja, notamos que su interior tiene "olor a perfume".
- Al echar una cucharada de azúcar en un vaso con agua y revolver, el sabor dulce se "reparte" por todo el líquido.

Discutan las posibles respuestas y traten de vincularlas con la teoría de que la materia está formada por pequeñas partículas.

La teoría de las partículas en movimiento

La materia se puede dividir, "grosso modo", en tres clases: los gases, los líquidos y los sólidos. Los gases se caracterizan por no tener una superficie límite bien definida y por ocupar todo el espacio que tengan disponible. Los líquidos, en cambio, presentan una superficie límite, pero no poseen forma definida. Adoptan la forma del recipiente que los contiene. Los sólidos, finalmente, poseen forma definida y permanente. Además, los sólidos, los líquidos y los gases se pueden transformar unos en otros si se los calienta o se los enfría. ¿Cómo puede explicarse todo esto que los hombres han venido observando desde hace siglos?

Los antiguos habían desarrollado una teoría, conocida como la *teoría de los cuatro elementos*, según la cual los gases, los líquidos y los sólidos no eran más que formas que adoptaban los "elementos" aire, agua y tierra.

El cuarto elemento era el fuego, que se encargaba de producir los cambios y las transformaciones en los otros elementos. Esta teoría tuvo una vigencia de casi dos mil años. Solo hace unos "pocos" cientos de años se comprobó que cuatro elementos no eran suficientes para explicar la inmensa variedad de fenómenos que ocurren en la naturaleza.

Más recientemente, a mediados del siglo XVIII, se desarrolló una teoría conocida con el nombre de *teoría cinético-molecular de la materia*. Nosotros la llamaremos, simplemente, *teoría de las partículas en movimiento*: consiste en suponer que, en la naturaleza, todos los materiales están formados por pequeñísimos e invisibles granitos de materia, las partículas.

Así, habría partículas de oxígeno, de agua, de sal... Se suponía que estas partículas podrían atraerse entre sí como si fuesen "pequeños imanes", que eran de diferente tamaño y peso según el tipo de sustancia que formarían y que se encontraban en constante movimiento.

El objetivo de la teoría fue explicar cuáles eran las principales características de los gases, los líquidos y los sólidos, y cómo se transformaban unos en otros. La teoría también intentaba explicar qué es el calor, qué es la temperatura y cuál es la diferencia entre ambos.

Pero, ¿será posible explicar tantas cosas a partir de suponer que la materia está formada por partículas?

Los sólidos

Según la teoría de las partículas en movimiento, los materiales sólidos están hechos a partir de partículas que se atraen entre sí con mucha fuerza. Es por ese motivo que los cuerpos, tales como las piedras o los metales, mantienen su forma. Para cambiarla o separar sus partes, es necesario realizar una fuerza que sea capaz de separar las partículas que los forman.

Además, se supone que las partículas que forman un sólido "tiemblan" u "oscilan" permanentemente en sus lugares como si fuesen pasajeros sentados en un ómnibus que transita una calle empedrada.

Así se vería un trozo microscópico de un material en estado sólido. Sus partículas vibran en una posición determinada. Por eso, el sólido no pierde la forma. A pesar de lo fuertemente unidas que se encuentran, en la superficie puede producirse una fuga de partículas.

Los líquidos

Las partículas que forman un líquido no están unidas entre sí, como ocurre con las de un sólido. Están casi tan sueltas como los granos de arena de una playa. Pero, a diferencia de ellos, las partículas de un líquido, igual que si fuesen bolas de billar, están agitando y moviéndose constantemente de un lugar a otro del recipiente y rebotando unas contra otras con gran velocidad. Precisamente debido a que rebotan con tanta intensidad, es que, a pesar de atraerse, las partículas no alcanzan a unirse como ocurre en los sólidos.

El movimiento de las partículas

No crean que es fácil observar el movimiento de las partículas que forman un líquido. Ocurre que son demasiado pequeñas como para apreciar fácilmente la velocidad a la que se mueven. Son tan pequeñas que para formar una sola gota de agua hacen falta 1.000.000.000.000.000.000.000 (mil trillones) de partículas.

Sin embargo, existe una manera de comprobar su movimiento. Para saber cuál es, realicen la siguiente actividad.

Echen una gota de tinta de cartucho azul o negra dentro de un recipiente lleno de agua. Sin revolver ni sacudir el agua, observen qué ocurre con la gota cada cinco minutos hasta completar, en total, veinte minutos. Vuelvan a mirar después de una hora.

- Si el agua está quieta y nadie la revolvió, ¿cómo pueden explicar lo que observaron?
- Repitan el procedimiento anterior, pero ahora con agua tibia. ¿Qué diferencia encuentran con respecto a lo observado con el agua fría?

La temperatura

Para mezclar tinta y agua se puede revolver con una cuchara o, simplemente, dejar pasar el tiempo. Ocurre que, aunque no revolvamos, las partículas que forman el agua se encuentran en constante movimiento. Este movimiento es el causante de que la tinta se disperse. El hecho de que la tinta se mezcle con mayor rapidez cuanto más alta sea la temperatura muestra que, al subir la temperatura del líquido, también aumenta la agitación de sus partículas. La temperatura que marca el termómetro indica, precisamente, con qué velocidad se mueven las partículas: a mayor temperatura, mayor velocidad.

¿Y en un sólido? En un sólido, la temperatura también permite deducir a qué velocidad se mueven las partículas, pero el movimiento, en este caso, es de *oscilación* o, como también se lo llama, de *vibración*.

A mayor vibración de las partículas, mayor temperatura.

Los gases

Un gas, al igual que un líquido, está formado por un conjunto de partículas que continuamente rebotan unas contra otras y contra las paredes del recipiente que las contiene. Pero en un gas, la intensidad de los rebotes es tal que impide que, a pesar de atraerse, se "peguen" y que las partículas que se acumulen en el fondo del recipiente salten por todos lados. Cuanto mayor sea la velocidad con la que se muevan, tanto mayor será la temperatura del gas.

Las partículas de los distintos gases que forman el aire encerrado en un globo se mueven a gran velocidad y chocan entre sí y con las paredes del globo.

Cuando se hace una abertura en la pared del globo o se le abre el pico, todas las partículas que se dirigen hacia ese lugar, al no poder rebotar, escapan. Por eso, el globo pierde aire y se desinfla.

En la primera página del capítulo, les pedíamos que explicaran por qué, al echar una cuchara de azúcar en un vaso con agua y revolver, el sabor dulce se "reparte" por todo el líquido. ¿Qué creen que ocurriría si no revolvieran? ¿Y si además entibiaran el agua? Explíquenlo a partir de lo que aprendieron hasta ahora y, al terminar, hagan la prueba.

Usando la teoría de las partículas en movimiento, escriban un breve resumen de no más de diez líneas explicando las principales diferencias entre los sólidos, los líquidos y los gases.

Los cambios de estado y la temperatura

Si las partículas que forman un sólido vibran con demasiada intensidad, es decir, si la temperatura es muy alta, puede ocurrir que las fuerzas que las unen ya no puedan retenerlas en sus lugares y que las partículas caigan debido a su peso. Cuando todas las partículas hayan caído, habrá ocurrido un fenómeno que se llama *cambio de estado*: el sólido se convierte en líquido. La temperatura a la que esto ocurre se llama *temperatura de fusión*. Debido a que las partículas que forman los distintos sólidos son distintas entre sí y a que se unen también con distinta fuerza, cada tipo de sólido tiene su propia temperatura de fusión. Para el agua es de 0°C . En cambio, para que las partículas que forman el plomo se agiten tanto como para que este se convierta en líquido, hacen falta 327°C . El material con el que se fabrican los filamentos de las lamparitas funde a los 3.410°C . En las figuras hemos representado el proceso de transformación de sólido en líquido para el caso de un cubito de hielo.

Las partículas de agua no se pueden mantener en sus lugares. El conjunto de estas partículas de agua que caen y forman gotas de agua —en estado líquido— se deposita en el fondo del recipiente.

Un líquido es un conjunto de muchísimas partículas que se mueven a una velocidad tal que las fuerzas de atracción que hay entre ellas no alcanzan para mantenerlas unidas. Cuanto mayor sea la temperatura del líquido, mayor será la velocidad a la que circulan las partículas.

Entonces, si la temperatura de un líquido continúa aumentando, el movimiento de las partículas, que antes solo podía notarse a partir de procedimientos indirectos (como el de la gota de tinta), ahora se hace más evidente: el líquido "hierve". Sus partículas comienzan a chocar entre sí y contra las paredes del recipiente, cada vez con mayor energía. Si la temperatura aumenta aún más, las partículas ya no podrán quedar retenidas en el fondo de ningún recipiente y saltarán por todos lados.

En ese momento, ocurre otro cambio de estado: el líquido se convierte en gas. La temperatura a la que esto sucede es también característica de cada material. Se la llama *temperatura de ebullición*. La temperatura de ebullición del agua es 100°C . La del alcohol es de 78°C .

Las partículas del líquido ya no se pueden mantener en sus lugares y se mueven velozmente por el interior del recipiente. También ocurre que muchas de las partículas de la superficie del agua se desprenden del conjunto. El líquido se evapora.

Para comprobar lo que aprendieron acerca de la teoría de las partículas en movimiento, les proponemos que respondan las siguientes preguntas:

- Si las partículas se atraen entre sí con mucha fuerza, ¿por qué no quedan unidas cuando forman parte de un líquido?
- Debido a su peso, las partículas que forman un líquido se acumulan en el fondo del recipiente. ¿Por qué no ocurre lo mismo en un gas?
- Expliquen, a partir de la teoría de las partículas en movimiento, por qué, al bajar la temperatura, un gas puede transformarse en un líquido, y un líquido, en un sólido.

La energía de las partículas: el calor y la temperatura

Al calentar un material cualquiera, sus partículas se agitan con mayor intensidad. Entregar calor es equivalente a agitar más las partículas de un material. Es decir, equivale a entregarles mayor energía de movimiento. A la inversa, enfriar equivale a quitar energía de movimiento al conjunto de todas sus partículas. De este modo, la teoría de las partículas en movimiento permite interpretar el calor como un tipo de energía: la cantidad de calor que tiene un material es, precisamente, la energía total de movimiento que tienen las partículas que lo forman.

En la figura se representan dos cubos del mismo material. Si sus partículas vibran con igual intensidad, entonces, tienen la misma temperatura. Pero el cubo grande tiene más energía de movimiento y, en consecuencia, mayor cantidad de calor.

Otras explicaciones de la teoría de las partículas

Todos los efectos que representamos en las siguientes ilustraciones, pueden explicarse partiendo del hecho de que la materia está formada por partículas en movimiento. Mírenlas con atención...

El calor del Sol al mediodía dilata el material con el que se construyen los cables; de este modo, quedan más flojos que al amanecer. La mayoría de los materiales, cuando absorben calor, aumentan de tamaño. Esto se debe a que sus partículas se agitan más y, en consecuencia, ocupan un espacio mayor.

Cuando dos materiales se rozan, se produce, generalmente, un aumento de temperatura. Esto se explica porque, debido al roce, las partículas comienzan a agitarse con mayor velocidad. Y, al tener mayor velocidad, su temperatura aumenta.

Las partículas que forman el líquido caliente se mueven con mucha rapidez y chocan entre sí y también con las paredes del recipiente que las contiene y con la parte sumergida de la cuchara. Debido a estos choques, las partículas de la superficie de la cuchara, en contacto con el líquido, también comenzarán a agitarse con mayor rapidez. La vibración se transmitirá luego a las restantes partículas del metal. El resultado es que el movimiento de vibración se transmitirá poco a poco, desde el extremo sumergido hasta el mango. Es decir, la temperatura irá aumentando desde un extremo de la cuchara hasta el otro.

Para tener en cuenta...

Cuando un líquido hierve, sus partículas chocan entre sí a tal velocidad que no pueden ser contenidas en ningún recipiente. Salvo, por supuesto, que se las "aprisione" desde arriba. En ese caso, por más que se agiten, seguirán dentro. Y, ¿cómo se las puede aprisionar? Mediante la presión atmosférica, por ejemplo, ya que esta ejerce fuerza sobre la superficie de todos los líquidos. A su vez, esa fuerza contribuye a que las partículas que los forman queden retenidas en sus recipientes. Si la presión atmosférica disminuye, bastará menor temperatura para que las partículas se agiten lo suficiente como para escapar formando gas. Por ese motivo, en regiones donde, debido a la altura, la presión atmosférica es baja, el agua hierve a menos de 100 °C. Por ejemplo, en la ciudad boliviana de La Paz; allí el agua hierve a 90 °C.

Respondan las siguientes preguntas:

- Se sabe que en la superficie de la Luna no existen líquidos. ¿Pueden explicar esto usando la teoría de las partículas en movimiento y teniendo en cuenta que en la Luna no hay presión atmosférica?
- ¿Qué diferencia hay entre una partícula de agua líquida, una de hielo y una de vapor?
- Usando lo que aprendieron hasta ahora, expliquen por qué la llama del gas puede calentar una cacerola. Les damos una ayuda: las llamas están formadas por gases muy calientes.

La evaporación y la volatilización

El agua que moja la ropa recién lavada se evapora aunque su temperatura sea muy inferior a los 100 °C, que es la temperatura a la que hierve. El agua que se arroja con un balde sobre las baldosas de un patio, al cabo de un tiempo, se seca. Las bolitas de naftalina que durante el verano se dejan en el ropero, están mucho más pequeñas el invierno siguiente. Algunas, directamente, ya no están. Pero, ¿es que la materia puede desaparecer? Lo que ocurre es que las partículas que forman los líquidos y los sólidos se mueven. Y, cada tanto, de la superficie del líquido o del sólido, se desprenden algunas de ellas. Cuanto mayor sea la temperatura, tanto mayor será la fuga de partículas.

El resultado es que, de tanto perder partículas, el agua se seca y las bolitas de naftalina se achican. A esta fuga de partículas en los líquidos se la llama evaporación. En los sólidos se llama volatilización. Todos los líquidos se evaporan, pero algunos lo hacen en mayor proporción que otros: el alcohol y la nafta se evaporan más fácilmente que el agua.

La volatilización es casi imperceptible en la mayoría de los sólidos, salvo, por supuesto, en la naftalina. Nuestro sentido del olfato puede, a veces, percibir estas partículas que fugan de los materiales y producen la sensación de "olor".