EDUCAR MENTES PARA PENSAR

DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN EL AULA

• Carlos Uribe Gartner - María Claudia Solarte •

Universidad del Valle

Programa Editorial

EDUCAR MENTES PARA PENSAR

DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN EL AULA

• Carlos Uribe Gartner - María Claudia Solarte •

Universidad del Valle

Programa Editorial

EDUCAR MENTES PARA PENSAR

DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN EL AULA

Colección Libros de Investigación

Uribe Gartner, Carlos

Educar mentes para pensar: desarrollo del pensamiento científico en el aula / Carlos Uribe Gartner, María Claudia Solarte.-- Cali: Programa Editorial Universidad del Valle, 2017.

208 páginas ; 24 cm.-- (Colección libro de investigación)

Incluye bibliografía.

1. Aprendizaje 2. Teoría del conocimiento 3. Pensamiento científico 4. Métodos de enseñanza 5. Investigación científica

I. Solarte, María Claudia, autora II. Tít. III. Serie.

153.4 cd21 ed.

A1564129

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle

Programa Editorial

Título: Educar mentes para pensar. Desarrollo del pensamiento científico en el aula

Autores: Carlos Uribe Gartner - María Claudia Solarte

ISBN: 978-958-765-331-1

ISBN PDF: 978-958-765-332-8

ISBN EPUB: 978-628-7683-94-5 (2023)

Colección: Libros de Investigación

Primera edición: marzo de 2017

Primera reimpresión

© Universidad del Valle

© Carlos Uribe Gartner - María Claudia Solarte

Diseño de carátula: Anna Echavarria

Diagramación y corrección de estilo: G&G Editores - Cali

Libro publicado con recursos del proyecto de inversión 36205517.

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del (de los) autor(es) y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. Cada autor es el único responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación (textos, fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), Razón por la cual la Universidad del Valle no asume responsabilidad alguna en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, diciembre de 2017.

Diseño epub:

Hipertexto – Netizen Digital Solutions

EDUCAR MENTES PARA PENSAR

DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN EL AULA

• Carlos Uribe Gartner - María Claudia Solarte •

Colección Libros de Investigación

La primera tarea de la educación

consiste en formar la razón

(JEAN PIAGET, 1974)

AGRADECIMIENTOS

A Colciencias y a la Universidad del Valle, por la financiación de los proyectos de investigación: Aceleración cognoscitiva mediante la educación en ciencias en el contexto local (Código: 1106-11-14587, Contrato: 256-2003) e Implementación en municipios no certificados del Valle del Cauca del programa de desarrollo de competencias Pensar con la Ciencia (Código: 1106-11-17695; Contrato 240-2005), gracias a los cuales fue posible el trabajo sobre el que se basa este libro.

Al Departamento de Física de la Universidad del Valle, por el tiempo concedido al primer autor como investigador principal en ambos proyectos.

Al profesor Philip Adey y a su equipo de investigadores, por su hospitalidad en la estadía realizada por el primer autor en el King's College, de Londres, en enero de 2003; por su autorización para utilizar los materiales Thinking Science como base de trabajo; por la asesoría prestada en el primer proyecto mencionado, y por su permiso para incluir en esta obra la Figura 5.2.

A los profesores, directivos y estudiantes de las instituciones educativas Colegio María Auxiliadora, Colegio San José (Champagnat), Colegio Juanambú, Institución Educativa Jorge Isaacs (municipio de El Cerrito), Institución Educativa Sagrado Corazón (municipio de El Cerrito), Institución Educativa Absalón Torres Camacho (municipio de Florida), Institución Educativa Regional Simón Bolívar (municipio de Florida), Institución Educativa Francisco Antonio Zea (municipio de Pradera), Institución Educativa Ateneo (municipio de Pradera) e Institución Educativa Heraclio Uribe Uribe (municipio de Sevilla), por haber participado formalmente en el desarrollo y evaluación de las unidades del programa Pensar con la Ciencia y en el proyecto de investigación-acción para su implementación posterior en instituciones educativas del sector oficial en municipios no certificados. En particular agradecemos, por su valioso tiempo y su abnegado esfuerzo, a los profesores que participaron en alguno o en ambos proyectos: Abel María Torres, Víctor Narváez, Miller Marín, Astrid Hurtado, Blanca Ruby Orozco, Carola Ramírez, Carmen Eliana García, Cecilia María Vivas, Esperanza Villegas, Félix Micolta Moreno, Freddy Escobar, Gabriel Ricardo Pérez, Luz Cenaida Cardona Puerta, María del Socorro Sanclemente,

María Silvia Álvarez, Martha Castillo, Nancy Pérez Aramburo, Nelly Patricia Tascón Aya, Nolberto Ignacio Rivera, Omar Muriel, Orlando Pabón, Óscar Mauricio Esguerra y Patricia del Pilar Velásquez.

A los profesores Alfonso Claret Zambrano, director del grupo de investigación interinstitucional Ciencia, acciones y creencias UPN-UV, el cual avaló los proyectos ante Colciencias, y a Álvaro Perea, por su trabajo como coinvestigadores en los proyectos mencionados.

A Zoritza Marina Lugo, por su dedicación incondicional como asistente de investigación desde el comienzo del trabajo en el año 2003 hasta el presente. Igualmente, por su trabajo de grado en la licenciatura en Biología y Química titulado “Adaptación de actividades sobre la naturaleza corpuscular de la materia para la aceleración cognitiva mediante la educación en ciencias naturales enfocadas en el patrón de razonamiento de modelos formales”.

A Sandra Orozco, estudiante del programa de licenciatura en Matemáticas y Física, por el trabajo de grado “Diseño de actividades para la aceleración cognitiva mediante la educación en ciencias focalizadas en el esquema de proporcionalidad”. A los estudiantes del mismo programa Alexander Bonilla y Gerardo González, por su trabajo de grado “Diseño de actividades para la aceleración cognitiva mediante la educación en ciencias focalizadas en el esquema de probabilidad”.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Advertencia al lector

Contenido de la obra

CAPÍTULO 1

¡LO QUE IMPORTA ES PENSAR!

1.1 ¿Qué varía?

1.2 La propuesta en acción

CAPÍTULO 2

¿POR QUÉ LOS ESTUDIANTES APRENDEN POCA CIENCIA EN SECUNDARIA?

2.1 Eficacia educacional

2.2 Motivación, atención, memoria y desarrollo intelectual

2.2.1 Procesos de aprendizaje

2.2.2 Una aproximación al desarrollo cognitivo

2.3 El conocimiento científico y el conocimiento común

2.4 Implicaciones pedagógicas y didácticas

Bibliografía comentada

APÉNDICE: Bosquejo de algunos aspectos centrales de la teoría de Piaget sobre el desarrollo intelectual

Bibliografía comentada

CAPÍTULO 3

EL DESARROLLO EN EL AULA DE LA APTITUD PARA PENSAR CIENTÍFICAMENTE

3.1 Enriquecimiento de los procesos didácticos

3.2 Formación de habilidades metacognitivas

3.3 Intervención en el desarrollo cognitivo

Bibliografía comentada

APÉNDICE: Concepto de Zona del Desarrollo Próximo de Vygotsky

Bibliografía comentada

CAPÍTULO 4

PENSAR CON LA CIENCIA

4.1 Competencias científicas

4.1.1 Razonamiento proporcional

4.1.1.1 Razonando cuantitativamente sobre algunas situaciones comunes

4.1.1.2 ¿Qué tienen en común los razonamientos efectuados en las situaciones propuestas?

4.1.2 Noción general de “esquema operatorio formal” y de competencia científica

4.1.3 Otras competencias científicas

4.1.3.1 Generación sistemática de combinaciones

4.1.3.2 Comprobación sistemática de hipótesis (control de variables)

4.2 Pilares del modelo didáctico para las actividades de intervención en el desarrollo cognitivo

4.3 Estructura de una clase Pensar con la Ciencia

APÉNDICE: Competencias científicas que se trabajan en el programa Pensar con la Ciencia

CAPÍTULO 5

CLASIFICAR Y EXPLICAR: DOS PALANCAS PARA ELEVAR EL NIVEL INTELECTUAL DE LOS ADOLESCENTES

5.1 Semejanzas y diferencias

5.1.1 ¿Qué es clasificar, desde el punto de vista psicológico?

5.1.2 Clasificar animales

5.1.3 Inventar criterios de clasificación

5.2 Explicar las transformaciones de la materia

5.2.1 ¿Qué es explicar?

5.2.2 Observando y describiendo la transformación de la materia

5.2.2.1 Calentamiento de sustancias

5.2.2.2 ¿Qué le sucede al volumen del agua cuando se le esparce sal?

5.2.3 ¿Cómo EXPLICAR las transformaciones de la materia?

5.2.3.1 Explicando los cambios de estado

5.2.3.2 Explicando la disolución

5.3 Análisis didáctico de las actividades

APÉNDICE 1: Hoja de trabajo para la Unidad 23

APÉNDICE 2: Hoja de trabajo para la Unidad 24

CAPÍTULO 6

COMPETENCIAS DIDÁCTICAS PARA UN CURRÍCULO COGNITIVO

6.1 Creencias y conocimientos pedagógicos y psicológicos

6.2 Competencias del docente para la práctica del currículo cognitivo

6.3 Conocimientos y habilidades especiales como mediador del desarrollo cognitivo

Bibliografía comentada

CAPÍTULO 7

¿Y CÓMO HACER REALIDAD UN CURRÍCULO COGNITIVO EN NUESTRAS AULAS?

7.1 Diseño de actividades de intervención sobre el desarrollo cognitivo adaptadas al contexto colombiano

7.2 Formación para la intervención en el desarrollo cognitivo en el medio colombiano

7.3 Dificultades para la generalización del currículo cognitivo y estrategias para superarlas

7.4 Algunas reflexiones conclusivas

APÉNDICE: Condiciones y procesos del cambio escolar

Bibliografía

Notas al pie

Los autores

INTRODUCCIÓN

Lo que se escucha en las reuniones de maestros

es eso [palabras]; pero ellos quieren algo

más práctico y más vivencial[1]

Este libro se inició a propósito de la inquietud de algunos docentes de ciencias naturales deseosos de estar más a la altura de lo que se espera de nosotros en este cambio de época: ser formadores del pensamiento científico de los futuros ciudadanos, preparándolos para los desafíos presentes y futuros. Esta preocupación desembocó poco a poco en una experiencia educativa innovadora en las asignaturas de ciencias naturales, que pretendía fortalecer las competencias científicas en adolescentes, una edad especialmente propicia para ello. Estamos convencidos de que esta experiencia puede inspirar a muchos de nuestros colegas que también desean tomarse en serio este reto. En este esfuerzo aprendimos muchísimas lecciones, y nos gustaría compartirlas con tantos y tantos colegas que buscan despertar en sus alumnos el espíritu científico y el entusiasmo por el conocimiento.

En esta apasionante aventura hemos tenido que superar muchos retos. El principal de todos ellos tal vez sea que “enseñar a pensar científicamente” requiere que los docentes mismos hayamos desarrollado no solo las competencias que queremos en nuestros jóvenes, sino también nuevas estrategias prácticas para organizar y conducir nuestro trabajo en el aula y nuestro diálogo formativo con cada uno de quienes nos han sido confiados. Es decir, necesitamos competencias docentes más afinadas y potentes. Pero en el fondo no se trata tanto de aprender nuevas técnicas didácticas, como de un cambio de actitud hacia nuestro quehacer profesional. Pues estimular a nuestros estudiantes a pensar por su cuenta y riesgo nos exige mucho más que plantearles problemas interesantes y adecuadamente retadores, aunque desde luego sean un ingrediente fundamental. Nos exige sobre todo saber ponernos a un lado, de modo que sean ellos los protagonistas de su formación, no meros receptores de información. Pero eso no significa que estemos de más. Nuestras intervenciones pedagógicas

son y seguirán siendo indispensables por muchas razones, aunque algunas de sus modalidades se han de transformar para acomodarse a los nuevos papeles docentes exigidos por el cambio de época que estamos viviendo al entrar al siglo XXI.

En efecto, nuestro papel fundamental como formadores de competencias científicas no es el de dispensadores de información ni proveedores de respuestas directas a las preguntas de los estudiantes, ni mucho menos controladores de su pensamiento mediante la calificación. Se nos invita a asumir en cambio el papel de gestores y motivadores de una comunidad de pensadores en interacción sociocognitiva, que razonan con autonomía, que "hablan ciencia" por cuenta propia. Estos nuevos papeles suponen un cambio de actitudes y la adquisición de nuevas habilidades, como la de analizar el desempeño de los estudiantes e intervenir con tino, sin inhibir sus procesos cognitivos, para ajustar el nivel de desafío cognitivo reformulando las preguntas o cuestionando las respuestas de los alumnos sin dar pistas no verbales acerca de lo que tiene en mente como mejor respuesta a los desafíos cognitivos.

Lo que acabamos de decir con respecto al protagonismo de los estudiantes en su formación vale también para los docentes. Somos aprendices del arte de formar personas, y la responsabilidad de formarnos como tales recae sobre nosotros mismos: somos nosotros quienes hemos de protagonizar, a lo largo de toda nuestra carrera docente, nuestro "desarrollo profesional", como se tiende a llamar ahora a la actualización de los profesionales y su educación continua. Pero nosotros, como "docentes en formación permanente", al igual que los estudiantes necesitan del ejemplo y apoyo de su maestro, también necesitamos el ejemplo y apoyo de nuestros colegas, en especial el de aquellos con mayor experiencia. Sin embargo, para mejorar nuestra competencia profesional tal vez no basta alimentarnos de la reflexión sobre nuestras prácticas pedagógicas. Quizás también necesitamos enriquecernos con algunos resultados sólidos establecidos por la reciente investigación en psicología y neurociencia sobre el desarrollo y el funcionamiento de nuestra mente y de nuestro cerebro. Estamos en una época crucial para la educación. Las tecnologías médicas de vanguardia como la resonancia magnética funcional y otras técnicas de estudio del cerebro en acción permiten "ver" cómo su estructura física se hace más compleja cuando aprendemos algo. Tenemos cada vez más elementos para dar respuesta a la gran pregunta a la que Piaget y tantos otros estudiosos del pensamiento y la educación dedicaron sus trabajos: ¿Cómo pasamos las personas, desde un estado de menor competencia, hasta un estado de mayor competencia?

Desconocer la necesidad de fundamentar nuestro quehacer docente en el conocimiento científico relevante pondría en entredicho nuestra profesionalidad: ¿quién se confiaría a un médico del todo empirista, que solo se vale del ensayo-y-error para decidir entre diferentes opciones de diagnóstico y tratamiento? Si tuviéramos en cuenta los elementos de respuesta a esa gran pregunta sobre el despliegue de las capacidades humanas que se han allegado, seríamos más eficaces en nuestro papel de formadores de competencias científicas. Así, pues, reconociendo que sin un cierto bagaje teórico acerca de la naturaleza del conocimiento humano, y acerca de los procesos de crecimiento de nuestras facultades cognoscitivas no se puede ir muy lejos en el fortalecimiento efectivo del pensamiento científico, los autores emprendimos un estudio del tema tan profundamente como nos fuera posible. No partíamos de cero. El primer autor, docente de Física en la Facultad de Ciencias de la Universidad del Valle, había realizado sus estudios doctorales en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas en la Universidad Autónoma de Barcelona. En su trabajo de tesis estudió el papel de las prácticas de laboratorio en el desarrollo de las competencias científicas, tomando entre otros referentes las investigaciones de los "psicólogos evolutivos" —es decir, los dedicados al estudio del desarrollo cognitivo—, como Piaget y Vygotsky.

Pero, ¿cómo "transformar" las ideas teóricas de estos y otros investigadores en unidades didácticas modelo para fortalecer competencias científicas, que puedan ser la base para que los docentes sin una especial preparación psicológica diseñen sus propias unidades con esa finalidad? La respuesta a este interrogante está lejos de ser trivial. Para no detenernos en discusiones que no vienen al caso, nos limitaremos a enunciar nuestra respuesta, por supuesto tentativa. Creemos que la relación entre la práctica pedagógica y las teorías científicas es compleja y bidireccional, pero consideramos que la primera tiene prioridad sobre la segunda. La razón es el contraste entre la complejidad de las realidades cotidianas del aula con la simplicidad de los mundos teóricos construidos por los científicos sociales. A este respecto viene a propósito la siguiente cita:

La razón por la cual el proceso de enseñanza y aprendizaje —incluso la enseñanza deficiente transmisiva— no podrá ser nunca reemplazado por una máquina de enseñar, un computador, un video interactivo o un hipertexto multimedia, es que ninguna máquina puede aproximarse en lo más mínimo a manejar los billones de interacciones sutiles que se producen entre apenas 30

estudiantes y su profesor[2].

Pues los problemas concretos y vitales que los docentes enfrentamos en nuestro trabajo diario están por fuerza alejados de los “problemas de investigación”, objeto de indagación en las ciencias sociales: mientras los primeros tratan situaciones confusas e inciertas, los segundos se han de delimitar y formular en términos precisos. Estas diferencias se reflejan en el contraste entre las teorías científicas sobre la educación, y las realidades concretas complejas del trajín pedagógico. Las primeras se refieren al “mundo de las ideas” abstractas, en el que habitan los iniciados; en cambio, las segundas se sitúan en el “mundo de la vida”, que todos compartimos, científicos y no científicos (Ministerio de Educación Nacional - MEN, 1998).

Así, pues, la inevitable distancia entre teoría y práctica, y otras razones cuya discusión no es necesaria en este contexto, nos imponen la obligación de tomar nuestras cotidianas decisiones laborales afincados en nuestra “intuición pedagógica educada”. La expresión entre comillas describe el llamado conocimiento profesional, esa especie de sexto sentido que madura progresivamente en todo profesional al aprender reflexionando sobre su propia experiencia, que es peculiar y específico de su profesión. Este mismo “criterio docente” nos sirve también para orientarnos en los debates entre los teóricos de la educación. Los autores de esta obra estamos convencidos de que los docentes con experiencia, y que han reflexionado ponderadamente sobre sus errores y aciertos, tienen un olfato especial para discernir —entre el mar de propuestas de innovación pedagógica que provienen de los investigadores educativos, tantas veces contradictorias— cuáles son las más beneficiosas para sus estudiantes. Podría decirse que ese sexto sentido les permite intuir la solidez de las teorías que fundamentan las orientaciones para mejorar su enseñanza; en consecuencia, buscan profundizar en esa fundamentación para no limitarse a aplicar a ciegas las orientaciones que reciben, menoscabando su profesionalidad.

En resumen, nuestro interés en el desarrollo de las capacidades científicas en el aula nos llevó a establecer tres criterios esenciales para evaluar las experiencias, propuestas prácticas y programas con esta orientación, que se han reportado en la literatura, de modo que nos sirvieran de base para nuestra propia propuesta[3], a saber:

•Disponer de un fuerte sustento teórico; esto significa, entre otras características, ser consistente con los avances actuales en las ciencias de la mente.

•Disponer de evidencias empíricas sólidas acerca de su eficacia práctica en escuelas ordinarias con estudiantes normales, sin que se requieran profesores excepcionales ni una interacción personal cercana con los investigadores.

•Respetar la profesionalidad del docente y la prioridad de sus conocimientos prácticos; por ejemplo, ofreciéndoles un modelo para el diseño de sus propias actividades de formación del pensamiento científico adaptadas a sus circunstancias particulares.

La conjunción de estos tres criterios resultó ser bastante restrictiva. Encontramos muchísimas propuestas de "enseñar a pensar" que incorporan en su diseño una convincente armazón teórica; sin embargo, pocas son las que logran afianzarse a largo plazo y en una amplia diversidad de contextos educativos, de modo que las instituciones y docentes que desean adaptarlos puedan hacerlo sin supervisión de sus diseñadores, utilizando tan solo los materiales escritos producidos. Entre estas últimas se cuenta la propuesta realizada en Inglaterra a mediados de los ochenta, denominada Aceleración cognitiva mediante la educación en ciencias (designada mediante la sigla CASE, acrónimo de Cognitive Acceleration through Science Education), que consiste en una secuencia modélica de actividades educativas científicas que complementan las actividades didácticas destinadas a la enseñanza y aprendizaje de conceptos y habilidades científicas, secuencia designada Thinking Science[4].

Cuando hablamos de actividades educativas científicas queremos significar actividades que ponen en juego las pautas de razonamiento e inferencia que los científicos realizan en sus investigaciones, pero en situaciones adaptadas y simplificadas para hacer viable su realización en las condiciones normales del aula. Los estudiantes deben interactuar entre sí y con materiales reales, o al menos con datos ficticios pero que se refieran a situaciones que pueden imaginar

con facilidad pues les son familiares. Pero los problemas que enfrentan trabajando en equipo, y cuya “resolución” requeriría manipular los materiales o los datos dados, tienen una estructura lógica semejante a los problemas que enfrentan los científicos en su actividad cognitiva. Es importante advertir que no se espera que los alumnos lleguen a “la solución” del problema, sino que trabajen mancomunadamente para lograrla, sin importar hasta dónde lleguen. La razón es doble. Por una parte, se trata de problemas abiertos, que no tienen una única solución. Por otra parte, son problemas cuyo abordaje no requiere el dominio de conceptos y principios teóricos disciplinares. En una palabra, son problemas que constituyen ante todo oportunidades para ejercitar maneras de razonar sofisticadas y así acercarse al afianzamiento de la lógica científica.

A partir de la propuesta que encontramos en la literatura, y en especial del proyecto CASE, hemos empezado a construir nuestro propio camino, reflexionando sobre lo que lográbamos y las dificultades que aparecían e invitando a otros docentes innovadores a unirse al proceso de rediseñar sus prácticas docentes. Al probar en las aulas algunas de las actividades educativas científicas CASE (por supuesto, con el permiso de sus diseñadores), encontramos que una buena parte de ellas eran apropiadas para nuestras condiciones educativas, con las convenientes adaptaciones. En otros casos diseñamos nuestras propias actividades, tratando siempre que la complejidad de los equipos de laboratorio u otros recursos requeridos fuera la mínima posible. Buscamos así disminuir costos y evitar dificultades manipulativas innecesarias, puesto que el objetivo no es adquirir destrezas manuales. Pero ello no significa que estas actividades sean fáciles de realizar, por una razón comprensible: ¡si lo fueran no servirían para lo que se pretende: la formación de competencias científicas! Nuestra experiencia nos ha confirmado una y otra vez que la satisfacción que brindan al docente y a sus estudiantes compensa de sobra este mayor esfuerzo.

James Tobin, Premio Nobel de Economía de 1981, decía que cualquier país que se precie debe garantizar como mínimo que todos los niños “jueguen en un campo nivelado”. Con esta gráfica expresión quería decir que no han de existir diferencias en las oportunidades para adquirir las capacidades necesarias para una vida satisfactoria, rica y productiva, brindadas a los niños de distinta clase social, región, etnia, etc. En nuestro continente todavía nos falta muchísimo para lograr ese gran propósito, de que no haya niños que empiecen el partido de la vida teniendo que “jugar en subida”. Esta pequeña obra aspira a aportar un grano de arena a este respecto, sugiriendo ideas prácticas y utilizables por cualquier

docente para asumir su papel de formador del pensamiento científico en sus estudiantes, esperando a la vez que los lectores nos acompañen en nuestra búsqueda y nos ayuden a mejorar lo que hemos logrado hasta el momento.

ADVERTENCIA AL LECTOR

Este libro ha sido concebido y escrito como un ensayo dirigido en primer lugar a los docentes de básica media y secundaria (aunque los diseñadores de políticas educativas podrían leerlo con mucho provecho), no tanto como una publicación para especialistas e investigadores en educación científica. Para facilitar a nuestra principal audiencia la lectura del libro, y para hacer la exposición tan fluida como sea posible, hemos considerado conveniente reducir al mínimo imprescindible las referencias formales a la literatura especializada. Sin embargo, siendo preceptivo en cualquier trabajo académico el reconocimiento de las deudas contraídas con los autores tomados como referentes o que nos han nutrido con sus trabajos a lo largo de nuestra formación docente, hemos añadido un buen número de notas al pie de página, cuya lectura puede ser omitida sin perder el hilo de la argumentación. Usamos el sistema académico de referencias bibliográficas cuando es estrictamente necesario, en el que se señala en el cuerpo del libro el autor o autores y el año de publicación; la referencia completa se encuentra en el listado de fuentes al final del libro. También presentamos una bibliografía comentada, al final de algunos capítulos, para aquellos lectores que deseen profundizar en los temas tratados.

CONTENIDO DE LA OBRA

Para orientarlo en la lectura presentaremos una panorámica de la obra. En el capítulo 1 se ofrece una mirada a un “aula para pensar”[5], en la cual se realiza la primera de las actividades educativas científicas que hemos preparado, titulada ¿Qué varía? Esta actividad introduce toda la secuencia, que hemos denominado Pensar con la Ciencia. De esta manera queremos dar un enfoque práctico desde el comienzo, pero sin perder de vista la necesidad de fundamentar nuestra experiencia en el conocimiento científico acerca del desarrollo humano. Es por ello que en los dos siguientes capítulos se hace un breve recuento de las ideas teóricas que sustentan la propuesta. El segundo estudia, desde el análisis de las causas del bajo rendimiento escolar en las asignaturas de ciencias, porqué es conveniente no desentenderse de las diferencias entre los estudiantes respecto a sus disposiciones hacia el pensamiento[6]. Debido a nuestro interés específico en el diseño de actividades para fortalecer las competencias científicas, entre las muchas causas de este preocupante fenómeno identificadas en la literatura educativa nos hemos fijado en especial en las relacionadas con las diferencias en el ritmo de desarrollo cognitivo de los alumnos. Por ello, hemos añadido un breve apéndice al capítulo, en el que resumimos al máximo posible lo que hemos tomado del pensamiento de Piaget al respecto, como base para la concepción de las actividades Pensar con la Ciencia. Desde luego, se trata apenas de unos apuntes para refrescar la memoria del lector que en sus estudios pedagógicos recibió algunas clases teóricas sobre el tema, pero apenas conserva un vago recuerdo de ellas. Acompañamos estos apuntes de una bibliografía comentada y ampliada, para el lector interesado.

En el capítulo tercero proseguimos el estudio del desarrollo en el aula de la aptitud para pensar científicamente, discutiendo los tres grandes componentes de lo que llamaremos, para abreviar, un “currículo cognitivo”. Es decir, un currículo que integra aquel propósito pedagógico con la formación en contenidos disciplinares. El rasgo esencial de un currículo de este tipo es que propone actividades de aprendizaje de los contenidos disciplinares intelectualmente estimulantes y retadoras. Otro elemento básico de un currículo cognitivo es el trabajo sobre las habilidades metacognitivas de los estudiantes; por último se sostiene, como tesis principal del libro, que a los componentes anteriores deberían añadirse actividades focalizadas y dirigidas en particular a “mediar” en

el desarrollo cognitivo de los estudiantes, especialmente en beneficio de los de menor rendimiento en ciencias. El verbo que hemos puesto entre comillas y en negrilla tiene un significado especial, y por ello nos detendremos en el concepto clave de “mediación en el desarrollo intelectual”. Su procedencia vygotskiana nos animó a incluir, como apéndice del capítulo, unos breves apuntes sobre los aportes de la psicología de Vygotsky al pensamiento educativo.

En el capítulo cuarto entramos propiamente en materia. El propósito es exponer nuestra propuesta para el tercer elemento de un currículo cognitivo. Presentamos el modelo de mediación en el desarrollo cognitivo utilizado en la experiencia. Esta propuesta se plasmó en las actividades Pensar con la Ciencia, las cuales se conciben, no como un programa prediseñado para ser implementado por el docente de manera mecánica, sino como una guía para facilitar el mejoramiento de su competencia como diseñador de sus propias actividades de mediación. En síntesis, en este capítulo presentamos qué “enseñan” estas actividades y cómo lo “enseñan”. Lo primero, lo que podría llamarse el objetivo de las actividades, se refiere a las pautas de razonamiento características de la actividad científica, que constituyen nuestro elenco de “competencias científicas”. Hemos puesto entre comillas la palabra ‘enseñan’, pues el papel del docente como mediador del desarrollo supone, como dijimos al comienzo de la introducción, hacerse a un lado, para que el primer plano lo ocupe el pensamiento de los estudiantes.

Queda entonces así listo el escenario para el capítulo quinto, de carácter mucho más práctico. Su objetivo es complementar la descripción de la experiencia en acción iniciada en el primer capítulo. Estudiamos en profundidad las actividades Pensar con la Ciencia enfocadas sobre las competencias científicas clasificar y explicar, partiendo de una breve reflexión sobre ellas desde las perspectivas psicológica y epistemológica. Mostramos luego la manera en que las actividades intentan fortalecer estas dos competencias. Para este efecto presentamos y analizamos algunas de las respuestas de los estudiantes obtenidas durante el estudio piloto (el cual se describe en el último capítulo).

Tras la lectura de los primeros cinco capítulos de la obra el lector tendrá claro que el papel del docente en las actividades dirigidas a mediar de modo específico en el desarrollo cognitivo es en ciertos aspectos diferente a su papel en las clases habituales, aquellas directamente enfocadas en la construcción de los contenidos disciplinares. Aunque ya en los capítulos anteriores se delinean algunos conceptos al respecto, consideramos importante explicitar con mayor detalle las competencias docentes requeridas para diseñar y aplicar actividades de

formación de competencias científicas.

Concluimos el trabajo en el capítulo 7 abordando la pregunta: ¿Y cómo hacer realidad un currículo cognitivo en nuestras aulas? Para ello hacemos un recuento analítico del progreso histórico de la experiencia que queremos compartir mediante este libro con los docentes de ciencias de nuestra región, de nuestro país, y de otros países cuyos contextos culturales y educativos sean semejantes al nuestro. Es decir, narramos lo esencial del proceso que nos llevó progresivamente a concebir, probar y revisar las actividades Pensar con la Ciencia, a la vez que reflexionamos sobre la viabilidad de transformar las prácticas pedagógicas en Colombia en la dirección del currículo cognitivo, a la luz de lo que aprendimos en ese proceso. Es importante aclarar que, dado el público amplio al que nos dirigimos, no ofrecemos un reporte sistemático de su metodología, desarrollo y resultados; en su lugar, nos hemos restringido al mínimo posible de datos que permitan al lector formarse una idea sobre el cómo, dónde y cuándo se realizó la experiencia, y sobre los obstáculos que encontramos, de modo que tenga elementos de juicio para evaluar nuestra propuesta.

No obstante, sintetizaremos aquí el trabajo realizado, para que el lector se acabe de formar una primera idea global de la experiencia, que podrá refinar a medida que avanza en la lectura. La aplicación, pilotaje y revisión de las actividades Pensar con la Ciencia se realizó durante los años 2003 a 2005 en tres instituciones educativas privadas de la ciudad de Cali. Aunque el objetivo era la evaluación formativa de las actividades, se determinaron los niveles de desarrollo cognitivo (pretest - postest) del grupo de intervención y otro de comparación. Posteriormente, invitamos a seis instituciones de municipios vecinos a Cali, a saber: Florida, Pradera y El Cerrito, a vincularse a la experiencia, mediante la participación en un proyecto de investigación-acción (2006-2007). Este proyecto fue concebido como acompañamiento al desarrollo profesional de sus docentes de ciencias naturales, dirigido en última instancia a facilitar la transformación de las prácticas educativas en esas instituciones en la dirección planteada en nuestra obra.

CAPÍTULO 1

¡LO QUE IMPORTA ES PENSAR!

Un niño no es un recipiente para llenar,

sino una luz para encender.

(Atribuido a RABELAIS, 1494-1553)

Imagínese que en su tercer o cuarto día de clase con alumnos de básica secundaria, en el área de Ciencias Naturales, usted, amigo maestro o maestra, comienza escribiendo en el tablero la frase que titula este capítulo, mientras explica que además de las clases normales como las que se tuvieron en los primeros días habrá unas clases especiales; luego escribe debajo:

REGLAS PARA LAS CLASES DE

ENTRENAMIENTO DEL CEREBRO:

Lo importante no es obtener la “respuesta correcta” sino pensar por cuenta propia.

No hay calificación.

Van a trabajar en grupos de tres o cuatro estudiantes en los que todos deben participar.

¿Le parece descabellada la idea? Esperamos que tras la lectura del libro encuentre sentido a esta manera atípica de enseñar. Y no solo eso, sino que esté dispuesto a aprender nuevas competencias docentes, para aventurarse a adaptar e incluir en su práctica pedagógica por lo menos algunas de las ideas expuestas.

En este capítulo se ilustra el tipo de retos cognoscitivos que planteamos a nuestros alumnos en la experiencia de formación de competencias científicas descrita en el libro. Está organizado en dos secciones. La primera propone dichos retos, mientras repasa los conceptos de variable, valores y relaciones entre variables, en torno a los cuales aquellos han sido construidos. En la segunda veremos cómo funciona una clase real en la que los alumnos son enfrentados a este tipo de desafíos, y cómo responden a ellos.

1.1 ¿QUÉ VARÍA?

Observe con atención la Figura 1.1 y respóndase la siguiente pregunta: ¿Qué características o propiedades de las figuras u objetos individuales representados son diferentes en algunos de ellos e iguales en otros? En términos precisos, la pregunta indaga acerca de las distintas variables que se pueden definir en los objetos representados en la ilustración y sus respectivos valores. Se observan triángulos y cuadrados (forma), figuras negras y grises (color), grandes, medianas y pequeñas (tamaño). Este lenguaje puede sonarle algo extraño al principio, pero en el pensamiento científico el concepto de variable abarca, además de las variables numéricas (cuyos valores son números), variables no numéricas como la forma y el color, en nuestro caso. Este concepto es central en el abordaje científico de la naturaleza, pues nos permite plantear interrogantes susceptibles de ser investigados teórica o experimentalmente, a saber, los que se refieren a posibles relaciones entre variables. Por ejemplo, ¿cuán gruesos deben ser los pilares de un puente para poder sostener su peso y el del tráfico?, ¿cuánto oxígeno consume por minuto una persona dormida, según su edad, su peso, su sexo, etc.?

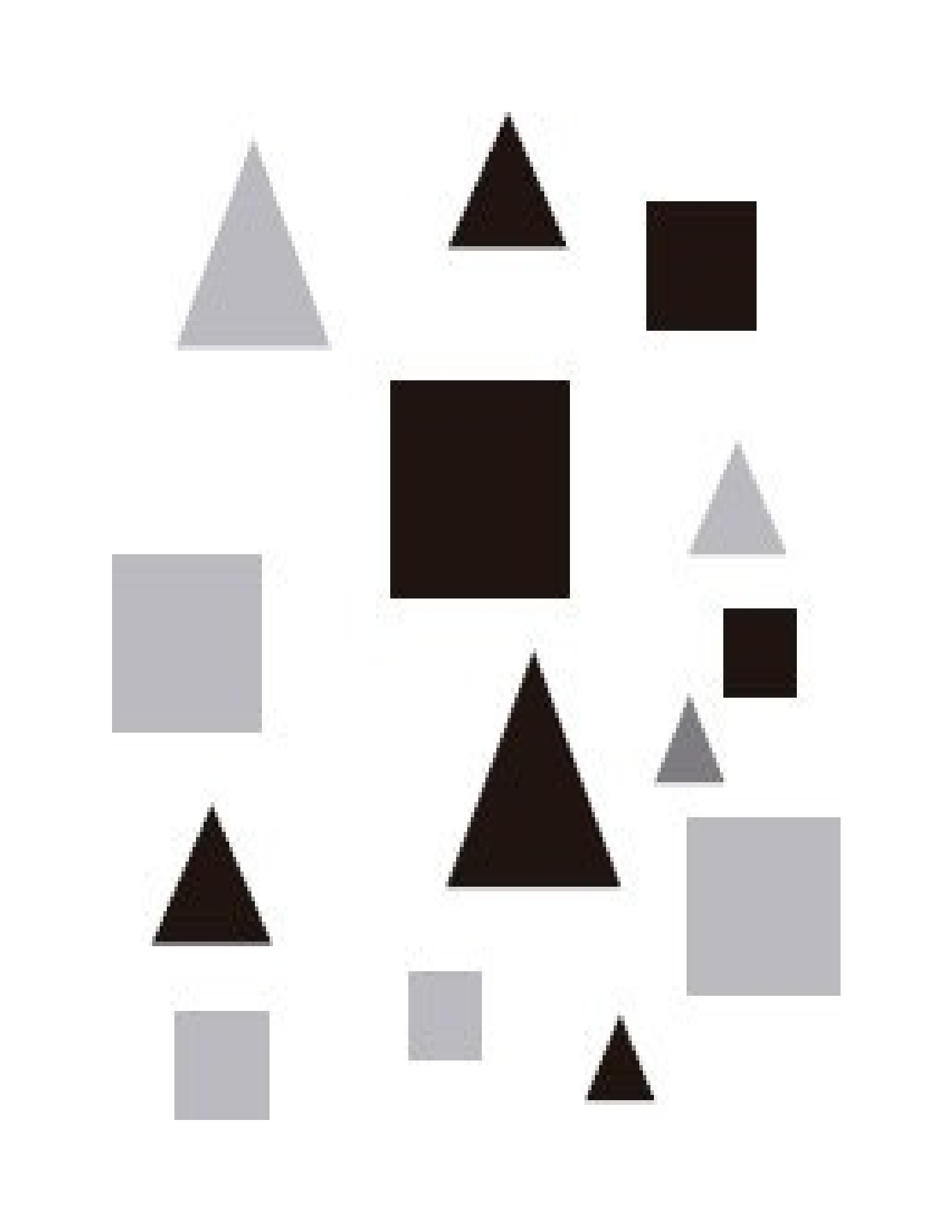


Figura 1.1

Para ilustrar el concepto de relación entre variables, lo invitamos a observar la Figura 1.2, que muestra un subconjunto particular de los objetos representados en la Figura 1.1. ¿Existe alguna relación entre las variables color y forma (para los objetos representados en la ilustración)? Antes de continuar la lectura, trate de formular su respuesta, ojalá por escrito, a la pregunta planteada y compárela con la respuesta que le proponemos en el siguiente párrafo.

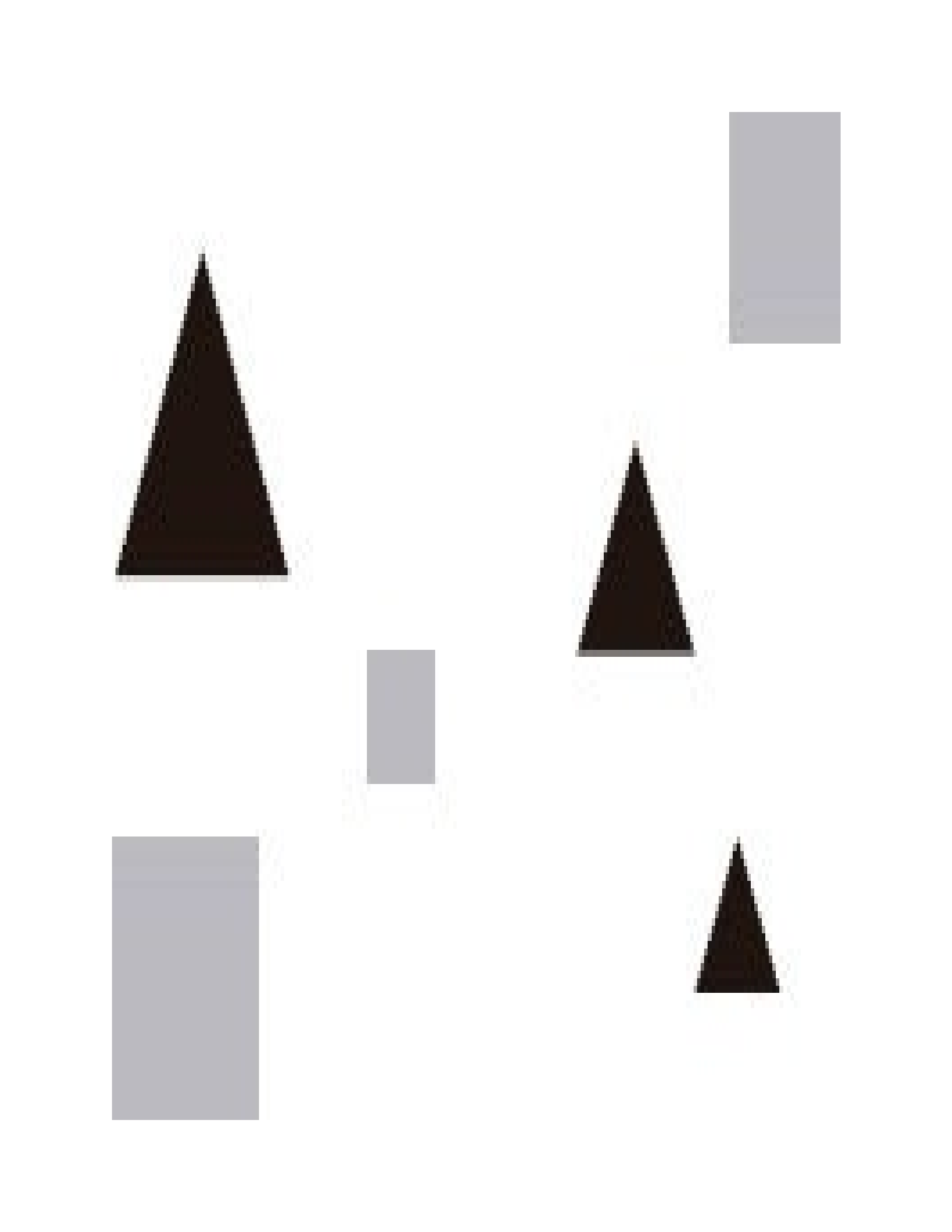


Figura 1.2

Puesto que todos los cuadrados que vemos en esta figura son grises y todos los triángulos son negros, existe relación entre las variables forma y color: conociendo el valor que toma una de ellas podemos predecir el valor que toma la otra. Reflexione ahora acerca del proceso de análisis y razonamiento que ha realizado para captar esta relación, y acerca del tiempo que tardó en llegar a una conclusión sobre la que se sintiera razonablemente seguro. ¿Piensa que este razonamiento está al alcance de alumnos de 6o. o 7o. grado?, ¿cuáles serían las posibles respuestas que darían a este interrogante?

Para redondear el ejercicio responda las siguientes preguntas: ¿Sigue habiendo relación entre color y forma en la colección de objetos que aparece en la Figura 1.3?, ¿existe alguna relación entre otras dos variables cualesquiera?

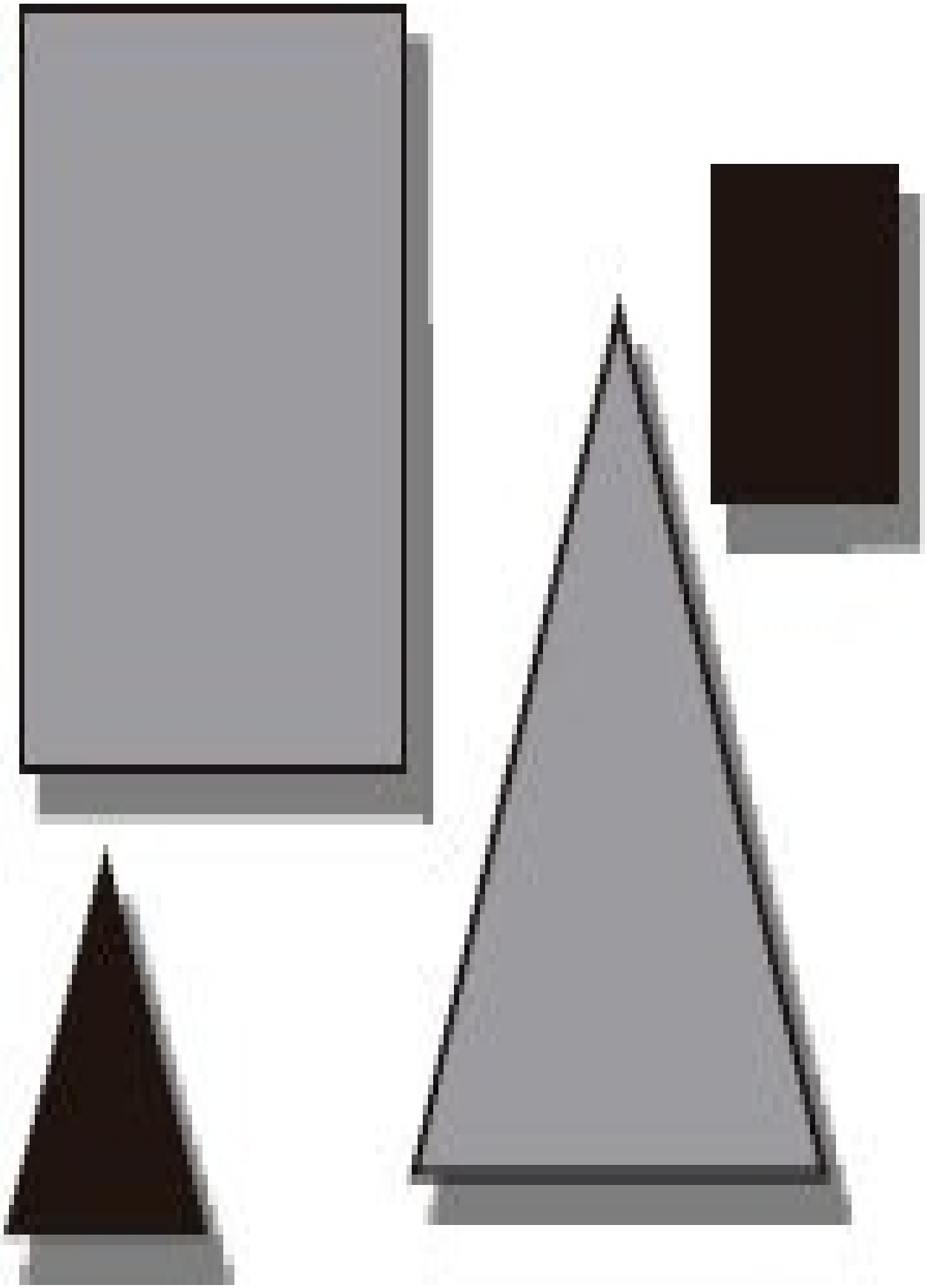


Figura 1.3

En las presentaciones orales que hemos hecho de esta actividad ante grupos de docentes, siempre encontramos que estas preguntas les resultan bastante más difíciles que el interrogante referente a la Figura 1.2. Pero tras un cierto tiempo de reflexión, logran identificar una nueva relación, esta vez entre el color y el tamaño: los objetos grandes son grises, y los pequeños son negros.

Lo invitamos ahora a reflexionar acerca del diseño de una actividad educativa científica para sus alumnos basada en el material presentado; es decir, una pequeña unidad didáctica sobre el tema de variables, cuyo propósito esencial sea contribuir a desarrollar en ellos el pensamiento científico, y en la que los estudiantes trabajen en grupo de acuerdo con las normas que indicamos al principio del capítulo. Con ello esperamos que comprenda aún mejor la importancia de este empeño que queremos compartir, y pueda seguir con más provecho la descripción de la actividad que realizamos y la respuesta de los estudiantes ante la misma, que haremos en la sección 1.2.

Pero antes de contarle nuestra experiencia veamos cómo responden los docentes con quienes hemos trabajado a la propuesta de reflexionar sobre el diseño de una actividad educativa científica con el material discutido. La primera reacción común es de desconcierto y perplejidad, pues a pesar de encontrar muy interesante el material y de vislumbrar su gran potencial didáctico, no logran encontrar respuestas claras a preguntas como: ¿Esto serviría para enseñar qué?, ¿a cuál de los contenidos temáticos señalados en el currículo pertenecería? En efecto, no parece fácil definir los contenidos conceptuales de las asignaturas de ciencias naturales donde se ubicaría la unidad. La discusión al respecto conduce poco a poco a que algunos participantes se den cuenta de que el afán por situar la unidad en el currículo es consecuencia de una creencia inconsciente e implícita en la población docente, según la cual la enseñanza debe centrarse en los contenidos disciplinares específicos, tanto conceptuales (célula, disolución, peso), como procedimentales (observación, construcción de tablas de datos, titulación de soluciones, etc.). Pero se desconoce la necesidad de trabajar en el aula ideas fundamentales y modos de interpretar la realidad o de razonar, que subyacen en todo el trabajo científico, como son las que hemos recordado en este

apartado. Estas ideas y pautas de pensamiento, a diferencia de los conceptos específicos de las ciencias, no son explicables de manera directa por referencia a fenómenos tangibles o perceptibles por nuestros sentidos; tampoco son, a diferencia de los procedimientos científicos, definibles mediante procesos manipulativos concretos. En contraste, los procesos de conceptualizar variables relevantes y de identificar relaciones entre ellas son de naturaleza más bien lógica y metodológica, que estructuran y orientan el abordaje científico a la naturaleza, pero que no suelen ser evidentes en los "productos" de la ciencia; a saber, los conceptos y teorías científicas.

Así, pues, hemos encontrado que la participación en la experiencia permite a los docentes comprender la necesidad de incluir en su programa este nuevo tipo de contenidos curriculares, que suele brillar por su ausencia. Pero no es fácil llegar a esta conclusión, pues ello requiere reconocer su centralidad en el quehacer científico o, lo que es igual, una cierta experiencia con el trabajo científico; por ejemplo, la mayoría de los docentes con quienes hemos colaborado consideraban que el tema de variables es un contenido específico de matemáticas, que no tiene nada que ver con su materia. Es probable que este arraigado preconcepto refleje un vacío en la formación docente inicial, en la que se ofrecen pocas oportunidades de practicar el pensamiento científico o de abordar problemas con el enfoque propio de la ciencia, en el que es esencial la búsqueda de relaciones entre variables —previa identificación de las variables mismas, que son una construcción mental, no algo dado en la misma naturaleza—. Sea como sea, pensamos que con actividades como a la que pasaremos revista en la siguiente sección, podemos subsanar este vacío, primero en nosotros mismos como docentes de ciencias, y luego en nuestros estudiantes.

1.2 LA PROPUESTA EN ACCIÓN

Hemos grabado en video nuestras clases, en las que probamos la actividad y la mejoramos progresivamente, de acuerdo con los resultados obtenidos y las dificultades observadas (en el capítulo séptimo haremos un recuento histórico de la construcción de las unidades y de todo el conjunto de la experiencia). Cuando nos consideramos satisfechos con el diseño, lo compartimos con otros docentes, quienes a su vez lo ensayaron en sus instituciones. En esta sección comentaremos el transcurso de la clase como se observa en los respectivos videos.

El docente inició la clase explicando las reglas de juego descritas al comienzo del capítulo, haciendo énfasis en la consigna que titula este capítulo y en las reglas que hemos anotado: “No nos vamos a preocupar por calificaciones en este taller; no necesitamos llegar a una respuesta perfecta, pues lo que queremos es poner a funcionar el cerebro”. El maestro entró en materia, escribiendo en el tablero: Variables, valores y relaciones. Para ambientar el trabajo preguntó a toda la clase acerca de lo que hacen los científicos, llevando el diálogo más allá de las respuestas dadas (investigar, descubrir cosas nuevas) hasta concluir que estas palabras significan buscar conexiones o relaciones entre diferentes objetos y sucesos. Para que esta idea tan abstracta tome cuerpo se acude a cosas y a acontecimientos cotidianos: ¿Qué conexión hay entre la nubosidad y el clima (lluvioso o seco)? ¿Dónde se puede esperar que haya más gusanos: en una guayaba verde o en una madura? Estos ejemplos permiten introducir de manera muy natural los significados del vocabulario técnico (‘variable’, ‘valor’ y ‘relación’), alrededor del cual giran las clases iniciales para entrenamiento del cerebro. Para el efecto el profesor reformuló y resumió la información acerca de los dos ejemplos en la Tabla 1.1, con la ayuda de los estudiantes. Las flechas conectan los respectivos valores relacionados de las correspondientes variables, representando así gráficamente las relaciones discutidas, que se pueden expresar también en enunciados como mientras más oscuras sean las nubes, más lluvioso será el día.

Tabla 1.1

Variables	Valores
Color de las nubes	Oscuro / claro
Clima del día	Lluvioso / soleado
Cantidad de gusanos	Pocos / muchos
Estado de la guayaba	Verde / madura

La explicitación del significado de esta red de conceptos y la práctica de las habilidades de abstraer y designar las variables relevantes para un problema, culminó con el siguiente diálogo, que trascribimos en su literalidad:

Maestro: ¿Ahora sí me pueden decir qué es una variable y qué es un valor? [Algunos (pocos) estudiantes levantan la mano. El maestro selecciona a uno en particular, que ha participado muy activamente en la discusión].

Alumno: Una variable ahí [con énfasis] es cada una de las cosas que pueden cambiar. Y los valores son las propiedades de cada uno de esos cambios que tiene la variable.

Maestro: Bueno. Sigamos adelante.

La pasividad de la mayoría de los estudiantes indicaba que no habían acabado de captar el tema, como era previsible, tratándose de ideas tan abstractas. Así que la siguiente fase de la actividad les ofreció una oportunidad de reforzar la introducción del concepto, de manera todavía más concreta. El docente mostró una pila de libros que había sacado de la biblioteca y leyó algunos títulos. Resulta que, de manera no casual, había traído libros de texto que suelen ser grandes, y libros de aventuras de formato mucho más reducido. En situación tan familiar, y enfrentados a objetos tangibles, los estudiantes identificaron de inmediato las variables relevantes al siguiente problema: ¿Cómo se relaciona el tamaño de los libros con su contenido? Respondieron la pregunta casi a coro, utilizando con confianza las nuevas palabras aprendidas en la clase, cuyos significados parecen, ahora sí, haber sido comprendidos por todos.

Después se pasó a la siguiente fase, el trabajo en equipos pequeños. Esta fase comienza con la organización en equipos de trabajo heterogéneos, definidos con anterioridad por el docente. La heterogeneidad de los equipos significa que están conformados por estudiantes con diferentes niveles de capacidad; ello obedece a razones pedagógicas fundamentales, que estudiaremos en la sección 3.3. Luego el docente fijó en el tablero, a la vista de todo el grupo, unos recortes de cartulina en forma de triángulos y cuadrados de dos colores y tres tamaños, como en la

Figura 1.2. Repartió luego a cada equipo de alumnos la hoja de trabajo reproducida en el Recuadro 1.1, indicando que por el momento se va a trabajar en la actividad 1. Mientras los estudiantes trabajaban, el maestro se desplazó por el aula, en especial para asegurarse de que todos los integrantes de cada equipo estaban participando. Cuando le preguntaban se abstenía de responderles directamente; en lugar de ello los estimulaba a pensar por sí mismos y a discutir entre ellos, como en efecto sucedía. Habiendo constatado que casi todos los equipos habían llenado la correspondiente tabla y escrito su respuesta a la pregunta planteada, se hizo una puesta en común. Los alumnos respondieron según lo esperado, sin haber encontrado especiales dificultades. Por ejemplo, un equipo escribió: “Según el color es la forma”. Otros muchos simplemente respondieron: “Los cuadrados son claros y los triángulos son oscuros”.

Recuadro 1.1

Actividad 1. Figuras coloreadas

• ¿Cuáles son las variables y sus valores en las figuras puestas en el tablero? (Completen la tabla). • ¿Cuál

Actividad 2. Otras figuras coloreadas

Miren el nuevo conjunto de figuras. ¿Cuáles son las variables y sus valores? (Completen la Tabla) • ¿Sigue

Luego el docente cambió las figuras puestas en el tablero, según la Figura 1.3; los estudiantes procedieron de nuevo a trabajar en equipo, prosiguiendo con la actividad 2. El docente pasó de equipo en equipo como antes. En uno de ellos en particular tuvo lugar el diálogo del Recuadro 1.2[7], en el que se puede de alguna manera evidenciar el momento feliz en que la interacción comunicativa entre el docente y el grupo de estudiantes generó una comprensión en estos, sin decirles la respuesta correcta. Leyendo con cuidado e imaginando lo que pasa entre las líneas 5 a 7, la transcripción permite vislumbrar lo que es evidente en el video: el maestro utilizó claves no verbales para sugerir a los estudiantes que repensaran su primera tentativa de respuesta, apuntando sutilmente a la raíz de la dificultad.

Recuadro 1.2

[1] M: Ahora les pregunto: ¿sigue habiendo relación entre el color y la forma?

[2] A1: Sí [asintiendo con la cabeza; otro alumno confirma en voz baja]

[3] M: ¿Sigue?

[4] A1: Sí

[5] M: Miren a ver

[6] A1: Porque hay dos triángulos y dos cuadrados

[7] M: ¿Entre el color [pausa, con énfasis] y la forma?

[8] A1: [pausa larga] Ah, no

[9] A2: Ya se cambiaron

[10] A1: No... [alzando la voz]

[11] A2: Porque antes había todos los triángulos blancos y los cuadrados oscuros [un tercer alumno escribe entonces, con evidente satisfacción, la respuesta en la hoja de trabajo, “la relación es ahora entre tamaño y forma”]

El diálogo transcrito en el Recuadro 1.2, y en general lo que se observa en los videos que hemos recogido, evidencia que la unidad en conjunto, incluyendo las actividades que se realizaron más adelante, constituyó algo más que una clase en la que se proporcionó a los alumnos información acerca de un vocabulario nuevo para ellos (e inclusive para los mismos docentes) y abundantes oportunidades de practicar su uso en contextos apropiados. Se trató, y los docentes participantes estuvieron de acuerdo con ello, de una genuina y auténtica oportunidad de “poner a funcionar la mente a full” (usando la frase dicha por uno de nuestros docentes colaboradores). En efecto, es indudable la dificultad cognitiva que tuvieron que superar los integrantes del equipo observado, como de hecho ha sucedido con los demás equipos en multitud de clases donde se ha realizado esta unidad. Pero incluso en los casos en que los estudiantes no llegaron a captar la nueva relación, las experiencias educativas en las que nos hemos inspirado para

avanzar en la nuestra sugieren que el esfuerzo de plantearse preguntas desafiantes en situaciones educativas de este tipo, e intentar resolverlas con los propios recursos mentales y en interacción entre los miembros del equipo de trabajo, a la larga tiene un impacto sustancial en el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Es justamente el efecto de estimulación de este proceso psicosocial lo que se persigue con la actividad y lo que constituye su razón de ser, pues es lo que le confiere su valor formativo peculiar[8].

Esperamos que nuestra narrativa le habrá ayudado, amigo lector o lectora, a vislumbrar la posibilidad de organizar actividades educativas científicas innovadoras, apropiadas para estudiantes de básica secundaria, cuyo objetivo de fondo sea contribuir a estructurar la mente de sus estudiantes, a formar su capacidad de pensamiento lógico y científico. Actividades que constituyan auténticos retos mentales, intrínsecamente motivadores. Es decir, sin que sea necesaria la amenaza de una evaluación punitiva para interesar y comprometer a los estudiantes en el abordaje de esos desafíos cognitivos —si no se cumple la última condición el impacto de la actividad sobre el desarrollo intelectual se haría muy tenue—. Se trata de un papel mucho más desafiante para el docente que solo el de dispensador de contenidos específicos, por lo que no es extraño que usted se pregunte: ¿Vale la pena el esfuerzo?

A fin de explicar la necesidad de asumir ese papel en algunas clases, lo invitamos a profundizar en algunos temas relacionados con el desarrollo intelectual general, antes de continuar en el capítulo 5 la presentación de otros ejemplos prácticos de actividades para la formación del pensamiento científico. Con esa finalidad, en los capítulos 2 a 4 haremos una incursión breve por algunos terrenos psicopedagógicos, a fin de proporcionarle algunas herramientas teóricas para comprender por qué y cómo fomentar el desarrollo cognitivo del estudiante. Por otra parte, en el capítulo 6 describiremos las competencias docentes que le permiten desempeñar el rol de “mediador en el desarrollo cognitivo de los estudiantes”. Hemos escogido, como punto de partida para estas reflexiones, la acuciante pregunta: ¿Cómo explicar que, a pesar de los esfuerzos del docente y de los estudiantes, los aprendizajes que se evidencian en las aulas de ciencias naturales no estén tantas veces a la altura de esos esfuerzos?

CAPÍTULO 2

¿POR QUÉ LOS ESTUDIANTES APRENDEN POCA CIENCIA EN SECUNDARIA?

En las reflexiones de los docentes es común escuchar que no consiguen que sus estudiantes aprendan (Camargo, Calvo, Franco, Vergara & Londoño, 2007, p. 23). Así también lo indican muchos resultados obtenidos en las evaluaciones de los aprendizajes mediante pruebas estandarizadas, nacionales e internacionales, aplicadas a toda la población o a grandes muestras de estudiantes. A pesar de los cuestionamientos a su equidad e incluso a su validez (véase, por ejemplo, Acevedo, 2005), sería en verdad demasiado aventurado desechar por completo estos resultados. En particular, cada tres años en nuestro país, desde el 2007, se teje un revuelo mediático cuando se publican nuestros pobres resultados en las pruebas PISA. Otro tanto sucedió tras las pruebas TIMSS[9] de los años 1995 y 2007, en las que también participamos.

Sin embargo, las evidencias más inequívocas acerca de los insatisfactorios aprendizajes científicos provienen de los numerosísimos estudios sobre las creencias e intuiciones de los estudiantes sobre los fenómenos naturales, antes y después de sus cursos de ciencias. Estos estudios constituyen una porción elevada de la investigación sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias, sistematizada en manuales académicos de gran envergadura para especialistas: Abell y Lederman (2007); Fraser, Tobin y McRobbie (2012); Fraser y Tobin (1998); Gabel (1994); y, en nuestra lengua, Perales y Cañal (2000). Pfundt y Duit (2009) listaron y clasificaron unas 8.400 publicaciones en este campo en inglés (y unas cuantas en alemán y francés), pero en el medio hispanoamericano también se han producido en gran número, como aparece en la revista Enseñanza de las ciencias y otras publicaciones similares más recientes. Sin lugar a dudas estas investigaciones muestran palmariamente el choque entre dos formas de ver el mundo natural: el pensamiento espontáneo de los estudiantes con el que llegan al aula, y el pensamiento científico formal. También muestran con contundencia la persistencia del primero, a pesar de la educación científica recibida. Pozo y Gómez Crespo (2001) analizan un buen número de este tipo de trabajos de

investigación que exploran el aprendizaje efectivo de la biología, la química, la física y las ciencias de la tierra, logrado como resultado de los cursos de ciencias en la educación secundaria, encontrando que no se corresponde con los esfuerzos invertidos. Es clara entonces la “crisis de la educación en ciencias”, como estos autores y otros muchos denominan la situación descrita, considerando tanto los objetivos educativos relacionados con los conocimientos científicos, como los relacionados con las habilidades de razonamiento y las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje.

También abundan las explicaciones del escaso aprendizaje significativo de las ciencias. En este capítulo daremos un breve vistazo a algunas de ellas, que provienen de diversas perspectivas disciplinares: epistemológicas, sociológicas y psicológicas. Estas explicaciones coinciden en lo esencial con las que los docentes intuyen cuando reflexionan sobre el tema, aunque vale la pena profundizar al respecto si se quiere mejorar la situación. Sería conveniente que usted, amigo lector o lectora, hiciera una pausa antes de proseguir, para reflexionar sobre la pregunta que formula el título del capítulo; de esta manera podrá interactuar con provecho con las ideas que discutimos en las siguientes páginas.

Hemos estructurado el capítulo en tres secciones, según la perspectiva desde la cual se analiza el problema del fracaso en el aprendizaje de las ciencias. La primera abarca las explicaciones en los niveles sociológicos más allá del individuo, relacionadas con los factores del medio en el que funciona la institución escolar. La sección siguiente aborda el problema desde la perspectiva del individuo, y por último, la tercera, indaga en el conocimiento científico mismo, considerado como objeto de enseñanza y aprendizaje. Hemos seleccionado estas tres miradas para no caer en explicaciones simplistas, que reducen la enorme complejidad del problema.

2.1 EFICACIA EDUCACIONAL

La educación es un proceso enormemente complejo y multifacético. En este libro nos referimos a la educación formal, aunque esta no puede aislarse de la educación en la familia y la comunidad. Los valores, conocimientos, habilidades, etc., que cada educando logra en particular tras un determinado período de escolaridad, constituyen un resultado de la acción entrelazada de todos los agentes educadores y la propia de la persona. ¿Es posible valorar o estimar, desde luego de manera aproximada y global, la influencia relativa de las diferencias entre las escuelas sobre la variación en el logro académico entre estudiantes? ¿Hasta qué punto estar en una escuela o en otra marca una diferencia? En otras palabras, ¿cuál es la 'eficacia escolar' de una institución, también llamado el 'efecto colegio'? Y todo ello con vistas a responder la gran pregunta: ¿Qué hacen diferente las instituciones eficaces? Estas cuestiones han sido planteadas principalmente por los responsables de las políticas educativas de los distintos países y de los organismos internacionales, con miras a evaluar los impactos globales sobre el aprendizaje escolar de las decisiones estatales referentes al sistema educativo. Los estudios en esta dirección han comparado en especial los logros académicos en primaria, utilizando diversas medidas estandarizadas en lectura y aritmética. Por supuesto, los sofisticados modelos metodológicos empleados en estos estudios tienen en cuenta las diferencias de contexto familiar y las condiciones socioeconómicas y culturales del estudiante que explican la mayor parte de la variación del logro académico (Stoll, 2004, p. 22). Pero a pesar de ello, algunas escuelas sobresalen, descontadas o controladas mediante técnicas estadísticas las variaciones en las condiciones de entrada de los estudiantes.

Los resultados obtenidos por los investigadores en este campo nos brindan algunos elementos para reflexionar sobre el interrogante que titula el capítulo. A pesar de sus inherentes limitaciones metodológicas[10], las conclusiones obtenidas tienen gran importancia para el docente. Entre las características institucionales distintivas que más pesan en el rendimiento y la continuidad de los estudiantes en las escuelas excepcionalmente eficaces se han identificado algunas como las siguientes: un clima escolar positivo y amistoso; una visión compartida centrada en el aprendizaje de los estudiantes, a través de la definición de metas institucionales claras y la evaluación continua de sus procesos; el liderazgo

administrativo y educativo del director y del equipo directivo; el trabajo pedagógico en equipo de los docentes; las altas expectativas en cuanto a los logros de todos los alumnos, con el seguimiento frecuente de su progreso académico gracias a la responsabilidad y compromiso de los docentes, y la ayuda adicional oportuna para los estudiantes con dificultades de aprendizaje; el tiempo efectivamente dedicado al aprendizaje durante las clases, que comienzan con puntualidad; las actividades frecuentes y apropiadas de desarrollo profesional docente; la implicación de las familias; instalaciones agradables y bien cuidadas. Pero estas características no actúan de modo aislado, sino en una interacción recíproca sistémica, imposible de desenmarañar. Es decir, la presencia de unas refuerza y amplifica el efecto de las otras. A la inversa, la falta de alguna de ellas hace que las demás tengan un efecto mucho menor[11].

Es sorprendente la convergencia entre los estudios de eficacia escolar hechos en países de muy diferente desarrollo económico y cultural, todos los cuales coinciden en la identificación de los factores de eficacia escolar señalados, salvo pequeñas diferencias de énfasis. El volumen editado por Piñeros (2004) ofrece una revisión de los estudios realizados en los países desarrollados, por parte de algunos de los investigadores más reconocidos internacionalmente en este campo. En el contexto iberoamericano se destaca la “Investigación Iberoamericana de Eficacia Escolar” (IIEE), que se reporta por extenso en Murillo et al. (2007)[12]. Este estudio confirmó y precisó un resultado ya conocido: a diferencia de las investigaciones realizadas en los países avanzados, en las que las variaciones de eficacia entre las escuelas son relativamente pequeñas, en los países emergentes estas diferencias son mucho más significativas. Estos resultados cuantitativos sofisticados se pueden explicar con mucha facilidad: mientras en los países económicamente avanzados la calidad del sistema educativo es bastante homogénea, en los países tercermundistas son patentes las enormes variaciones de calidad y recursos en las instituciones educativas.

La investigación en eficacia escolar se ha extendido a otros niveles más allá de la institución educativa, como el contexto nacional, dando lugar a lo que algunos autores llaman ‘eficacia educacional’ (Creemers, 2004). Las comparaciones entre las políticas educativas de los diferentes países y sus resultados en las pruebas internacionales ofrecen resultados concordantes con los que se obtienen en las comparaciones hechas entre instituciones en cada país. Vale la pena referirnos a un estudio en particular, realizado por la firma de consultoría McKinsey (2007). En este estudio se analizaron las políticas nacionales educativas de los países que han obtenido sistemáticamente los mejores

resultados en las pruebas TIMSS y PISA (Finlandia, Singapur, Corea del Sur, Canadá, Japón), y se compararon con las políticas educativas de los demás países de la OECD que han estado a la zaga. La conclusión es que el éxito educativo de los primeros no se ha conseguido a costa de un mayor gasto público en educación, sino haciendo cosas obvias que los segundos no han asumido consistentemente: atraer a la profesión docente a los universitarios más talentosos, en gran parte gracias al elevado estatus social del educador y a los altos estándares de selección de los candidatos a las instituciones de formación de educadores; proporcionarles un desarrollo profesional de la más alta calidad; autonomía escolar; atención oportuna y diferenciada a los estudiantes con dificultades de aprendizaje o en riesgo de fracaso escolar.

Ningún maestro puede perder de vista que ni su aula ni su institución son entidades aisladas. Sus preocupaciones inmediatas se centran en sus estudiantes, considerados como personas individuales; pero debe tener siempre en cuenta la influencia del entorno familiar y social de cada uno, el principal factor del éxito académico, según los estudios mencionados. Los docentes colombianos son conscientes de esta realidad, y han asumido la responsabilidad de contribuir a la transformación de las condiciones sociales en el ámbito local, regional y nacional, siendo conscientes de su protagonismo en la transformación de nuestro sistema educativo. Pero el núcleo de este son las instituciones educativas, que constituyen la “unidad fundamental de acción e intervención educativa”, “el objetivo, propósito y motor del mejoramiento educativo y el espacio de desarrollo personal y social” (Camargo et al., 2007; Elizondo, 2001). No obstante, los investigadores han encontrado que los efectos debidos a los procesos sociales, cognitivos y afectivos que tienen lugar en el interior del aula son todavía más influyentes en el rendimiento escolar que los procesos a nivel de la institución como un todo (Stoll, 2004). En consecuencia, el nivel del aula ha sido objeto de un estudio intensísimo, con vistas a identificar lo que distingue a los docentes excepcionales, aquellos que obtienen, año tras año, mejores resultados de sus estudiantes, por supuesto en igualdad de condiciones de entrada. A este respecto podemos mencionar, a título de ejemplo, el retrato que hace Shulman (2001) de la profesora de literatura Nancy, en un pormenorizado análisis cualitativo del docente sobresaliente. Shulman asimila su actuación durante una buena clase a la del director de orquesta, destacando su continua atención y flexible respuesta a las circunstancias siempre cambiantes del aula y al continuo flujo de acontecimientos que allí ocurren, el manejo diestro de las ideas en juego y la organización del trabajo de los alumnos. Las competencias prácticas de los docentes sobresalientes incluyen la capacidad para gestionar

óptimamente estas interacciones y para contribuir a la construcción de un clima de aula favorable al aprendizaje, además de un profundo conocimiento de los contenidos tanto desde el punto de vista disciplinar como didáctico. Desde luego, nadie desconoce la importancia decisiva de las características psicológicas individuales de cada alumno, que repasaremos en la siguiente sección, pero también es cierto que una variable fundamental para el aprendizaje es el llamado "clima de aula" que emana de las interacciones maestro-alumnos y entre los condiscípulos.

No tiene sentido establecer un orden de prelación entre los cinco niveles del contexto social del aprendizaje escolar, a saber: la sociedad como un todo, el sistema educativo, el contexto institucional escolar, el contexto del aula y el contexto familiar y comunitario. Se distinguen de una manera arbitraria, como parte del análisis de esa única realidad muy compleja que enmarca la vida académica, sin que existan límites tangibles entre ellos (Brigido, 2006, p. 125). Sin embargo el nivel escolar y el de aula son objeto directo de la actuación cotidiana del colectivo docente de la institución. No sucede así con los demás, aunque la comunidad de docentes del país, en conjunción con muchos otros actores sociales, debe influir decisivamente en el tejido de sus condiciones culturales, sociales, políticas y económicas, y en especial en su sistema educativo.

Luego de estas pinceladas de los resultados de la investigación cuantitativa y cualitativa sobre la eficacia educacional en los diversos niveles en que ha sido estudiada, debemos afrontar la pregunta central de este capítulo desde la perspectiva del estudiante individual. Al plantearla desde este punto de vista, la podemos reformular de la siguiente manera: ¿Por qué hay un gran número de estudiantes en las mejores condiciones de nivel socioeconómico y cultural, con profesores excelentes, en instituciones excelentes, y en sistemas educativos con políticas óptimas, cuyo aprendizaje significativo de la ciencia es deficiente?

2.2 MOTIVACIÓN, ATENCIÓN, MEMORIA Y DESARROLLO INTELECTUAL

Somos memorias perceptivas: percibimos desde lo que sabemos

(MARINA, 1993, p. 271).

Quizás la respuesta más obvia a la pregunta que titula este capítulo es que una parte considerable de estudiantes de secundaria no aprenden la ciencia que se les enseña simplemente porque su interés por la ciencia es insuficiente para suscitar y sostener el esfuerzo que demanda aprenderla. Sin embargo, esta explicación, que atribuye el fracaso en el aprendizaje al desinterés o desmotivación del estudiante, es engañosamente simple. En la sección 2.1 hemos visto algunos aspectos del complejo de causas interactuantes en el bajo rendimiento escolar; a saber, aquellas causas sociales sobre las cuales el docente poco puede hacer. En esta sección estudiaremos, también de forma muy condensada, algunas causas sobre las que el docente tiene cierto control, pues afectan los procesos de aprendizaje en la mente y el cerebro del estudiante individual, el que está frente a nosotros en el aula.

2.2.1 Procesos de aprendizaje

El epígrafe señala una de las condiciones fundamentales de la percepción y la comunicación: comprendemos lo que vemos, oímos, leemos, etc., relacionándolo con las ideas que tenemos (ver también Ausubel, 1982 —entre otras muchas referencias a propósito—). El significado que un alumno construye —si es que construye un significado— cuando le explicamos, cuando estudia un libro o cuando realiza una práctica de laboratorio, está condicionado por sus esquemas mentales previos. En consecuencia, una causa fundamental de los aprendizajes deficientes es la inconsistencia entre ciertos esquemas previos y los conceptos científicos correspondientes. Pero antes de abordar los "obstáculos epistemológicos" para la comprensión y aprendizaje de la ciencia escolar —lo que haremos en la sección 2.3—, discutiremos en esta subsección un obstáculo más prosaico: la falta de atención y esfuerzo en clase y durante el estudio personal.

Mientras no estamos resolviendo ningún problema ni enfrascados en una tarea exigente, nuestro cerebro está en un cómodo estado pasivo de mínimo esfuerzo: Cuando nuestra mente no hace nada en particular, consumimos energía mental en pensamientos aleatorios y en observar lo que sucede a nuestro alrededor, pero en esto casi no hay tensión (Kahneman, 2012, p. 58). Inconscientemente y sin esfuerzo voluntario, el cerebro está en esos momentos de relajación dedicado a procesar la información que le llega a través de los sentidos, sin otro propósito que el de comprobar que todo sigue dentro de lo normal. Solo pasa a un estado de actividad esforzada, empleándose a fondo con todos sus recursos, cuando nos implicamos en un problema que nos interesa auténticamente. En ese estado nuestra inteligencia se pone a trabajar de modo consciente y exigente, enfocándose y concentrándose en la resolución del problema —o, como se suele decir, prestando la debida atención—.

Ahora bien, la atención se fija en la tarea según sea el estado de motivación hacia ella: rechazamos las distracciones y ponemos mayor o menor esfuerzo según el interés que nos despierta y el deseo de sacarla adelante. La motivación puede ser intrínseca o extrínseca. En la primera estamos bien dispuestos hacia la tarea por la tarea misma, porque disfrutamos el esfuerzo que demanda su realización. En la segunda, la tarea es un medio para la obtención de otra cosa,

no algo que queremos por sí misma. Una persona con motivación intrínseca pone todo su esfuerzo y atención a la tarea pero ese esfuerzo no es molesto ni pesado. La persona con motivación extrínseca debe hacer un esfuerzo adicional al necesario para ejecutar la tarea: el fatigoso empeño de mantenerse enfocado, sin dejarse arrastrar por distracciones u ocupaciones más agradables.

No es difícil percibir las implicaciones didácticas de lo expuesto. Permite comprender lo que sucede cuando un estudiante está pasivo, sentado en su pupitre durante una clase expositiva sobre un tema que no le interesa, en la que su tarea es contemplar el monólogo del docente. En tal situación es difícil que su mente se ponga en el estado de trabajo mental esforzado, sin el cual es imposible que se produzca la remodelación microestructural del tejido neuronal que en último término es la base física del aprendizaje[13]. Es más probable que permanezca en ese estado mental de mínimo esfuerzo, al que de manera normal tendemos todos a menos que estemos entusiasmados con la tarea —en otras palabras, a menos que la tarea nos motive intrínsecamente—. En el mejor de los casos, el estudiante intentará salir de su pasividad escuchando al docente —lo que supone mucho más que oír lo que dice—, y quizás tomando alguna nota; pero rápidamente se cansará del fatigoso esfuerzo que demanda atender a un discurso que a duras penas comprende, tarea hacia la cual su motivación es extrínseca. Pero es mucho más probable que el estudiante asuma una actitud pasiva, haciendo inevitable que se distraiga y pierda el hilo del discurso.

Sin embargo, existen otras causas psicológicas de la poca eficacia de la clase expositiva, entre las que destacan la extremada limitación de la capacidad de nuestra “memoria operativa”, llamada a veces “memoria de corto plazo”, y la rapidez con que se desvanece la información que la ocupa[14]. La memoria operativa es el ‘espacio mental’ (hablando figurativamente), en el que se almacena de forma temporal la información sobre la cual nuestra mente consciente está trabajando en el presente, la que podemos manejar en un solo acto atencional. Lo que nos llega del exterior a través de los sentidos y es atendido a consciencia, o los recuerdos provenientes de la “memoria a largo plazo”, que no es más que todo nuestro bagaje de conocimientos, se mantiene activo en nuestro pensamiento durante unos veinte o treinta segundos como máximo (ver, por ejemplo, Carretero, 2004, p. 138; Leahey & Harris, 2000, p. 133)[15]. Pasado ese tiempo, la información, o bien se pierde (si provenía del exterior), o bien pasa de nuevo a un estado latente (si provenía de la memoria a largo plazo). Pero esta pérdida o desactivación de información en la memoria operativa también sucede cuando atendemos a nueva información, que

‘desplaza’ la anterior. Decimos entonces que la capacidad de la memoria operativa, el contenido que puede almacenar, es muy limitada: alrededor de siete ítems o unidades de información (el famoso número mágico 7±2). Si alguien nos va diciendo, no demasiado rápido, una secuencia de letras arbitrarias para que la repitamos casi de inmediato, no tendremos mayor dificultad si la longitud de la secuencia es menor de cinco. Si es mayor de nueve, es muy improbable que podamos recordarla (esta imposibilidad se explica, en el lenguaje de la psicología, como un ‘desbordamiento de la memoria operativa’, el desplazamiento de la información anterior por la nueva). Es por esta limitación en la capacidad de la memoria operativa que los números telefónicos suelen tener siete dígitos.

En consecuencia, incluso el estudiante interesado a fondo por el tema de una clase magistral por lo general retendrá poco, a pesar de su plena atención al discurso del docente; con suerte, tomará unas cuantas notas que apenas podrá descifrar luego con dificultad, pues habrá tenido su atención dividida entre la interpretación del discurso y la redacción de las notas.

Nos hemos detenido en estas consideraciones psicológicas pues un aspecto de la respuesta a la pregunta que titula el capítulo es la siguiente: Los estudiantes de secundaria aprenden poca ciencia en las clases expositivas porque no tienen la motivación suficiente, o si la tienen su memoria operativa se desborda continuamente durante la clase.

Vemos entonces la necesidad de utilizar modelos didácticos más sofisticados y motivadores que la clase expositiva, modelos que movilicen la actividad mental deliberada y esforzada de los estudiantes y los transformen en protagonistas de su formación científica: el aprendizaje efectivo es una consecuencia de pensar (Perkins, 1995, p. 8). En efecto, para alcanzar una comprensión profunda y arraigada de un ámbito de fenómenos naturales, desde los marcos teóricos de las ciencias, es preciso relacionar los nuevos conocimientos con lo que ya se sabe, como nos recuerda Marina en el epígrafe de este apartado. Esta conexión entre los saberes previos y lo que estamos enseñando requiere que el estudiante se plantee preguntas e intente resolverlas por su cuenta, aborde problemas que permitan aplicar e integrar diversos conceptos, contraste explicaciones alternativas, etc. De esta manera puede descubrir vacíos en su comprensión y emprender acciones apropiadas, como por ejemplo releer el texto, preguntar al profesor, reflexionar acerca de las incoherencias identificadas en su comprensión, autoexaminarse, etc. Por otra parte, las ciencias interpretan la

realidad mediante un sistema de conceptos abstractos, que no corresponden a objetos sensorialmente perceptibles. Palabras como aceleración, masa, potencial eléctrico, átomo, especie, genoma, forman el vocabulario de un lenguaje tan extraño para el alumno como una lengua extranjera. Así, pues, aprender ciencia es, en cierto sentido, como aprender a hablar otra lengua. Sin embargo, es mucho más difícil que eso, por cuanto los significados que se quieren expresar en esa nueva lengua no pueden expresarse en la materna. El sistema de conceptos científicos debe ser construido por el mismo alumno mediante su actividad mental, pues no puede ser transferido o transvasado de nuestra mente a la suya como si fuera un líquido.

Podemos anticipar en este punto una objeción del lector: Los modelos didácticos innovadores que enfatizan el pensamiento independiente de los estudiantes podrían quizás ser viables con los estudiantes sobresalientes, pero no con la mayoría. Zohar (2004) reporta que, en un programa de desarrollo profesional de docentes de ciencias realizado en Israel para implementar un modelo didáctico con tal finalidad, los participantes se mostraron muy escépticos, precisamente por considerar que el modelo dejaría atrás a los estudiantes menos capaces. Y es que cualquier docente sabe por su experiencia cotidiana lo que la psicología ha establecido, sobre los múltiples aspectos en que las personas nos diferenciamos: capacidad de regular la atención y dominar las emociones que interfieren con los procesos cognitivos; rapidez para procesar la información; tipo de información para la que estamos mejor dotados (visual o auditiva); experiencias y conocimientos previos; habilidades para razonar lógicamente con nuestros conocimientos y la información que recibimos; habilidades y estrategias de aprendizaje como las señaladas en el párrafo anterior —denominadas ‘habilidades metacognitivas’, a las que dedicamos la sección 3.2—; rasgos de temperamento y personalidad... Como consecuencia de estas “diferencias individuales” los significados que cada alumno construye a partir de las experiencias vividas en el aula y en su estudio personal pueden ser muy distintos. Igual sucede con los aprendizajes logrados. De esta manera entendemos la crucial influencia de los antecedentes culturales, familiares y personales en el rendimiento escolar, que originan una buena parte de estas diferencias.

Pero estos antecedentes externos no explican por completo las diferencias de rendimiento: la investigación sobre eficacia escolar ha mostrado que, una vez descontados estadísticamente, siguen subsistiendo diferencias profundas en el rendimiento escolar entre los estudiantes de una misma aula. El origen de estas

diferencias internas al estudiante es un problema abierto, y quizás insoluble: es indudable que, tanto los genes como la crianza —incluyendo en esta última la nutrición durante la gestación y la primera infancia— desempeñan papeles claves. Pero las investigaciones médicas y de los psicólogos evolutivos han mostrado que hay diferencias sustanciales en el ritmo de maduración corporal y de crecimiento mental entre los individuos. En la siguiente subsección haremos un breve repaso al tema, que es fundamental para la respuesta que en este libro ofrecemos a la fundada objeción del lector subrayada al comienzo del párrafo, y a la que volveremos una y otra vez.

Por lo pronto, señalemos una importantísima consecuencia práctica de las consideraciones anteriores: la preocupación de los docentes de ciencias por cubrir el programa no debería dejar en un segundo plano su responsabilidad por los procesos de pensamiento autónomo de los alumnos acerca del mundo físico y biológico, por sus "competencias científicas". Es, insistimos, mediante el ejercicio de estas competencias como pueden lograr la comprensión real de las relaciones significativas entre los conceptos, condición para su retención y uso posterior. Esta implicación práctica parece obvia, pero es conveniente reflexionar sobre cuáles son específicamente esas competencias y qué podemos hacer para contribuir a su desarrollo en nuestros jóvenes; el principal objetivo de este libro es facilitar al docente esta reflexión y proporcionarle herramientas prácticas para actuar al respecto.

En conclusión, no son suficientes las actitudes positivas de los estudiantes hacia la ciencia y hacia su aprendizaje escolar, ni los esfuerzos del docente para motivarlos. El aprendizaje de las ciencias presupone unas competencias intelectuales, una "aptitud para pensar científicamente". Sin embargo, también es claro que estas competencias presuponen unos determinados conocimientos bien arraigados y funcionales, no un mero conocimiento inerte o memorístico. Pues sencillamente no es cierta la crítica que a veces se hace al concepto de competencia, según la cual esta sería un mero 'saber hacer' desvinculado del conocer. Nos encontramos así ante una paradoja, ante un círculo vicioso: aprender ciencia es el ejercicio del pensar como científico, pero no podemos lograrlo sin un mínimo de conocimientos científicos; ¿cómo puede entonces el maestro de ciencias contribuir a potenciar en el estudiante la capacidad de pensar a fondo sobre los contenidos por aprender, al mismo tiempo que los aprende? Nuestra respuesta breve a esta paradoja y a la supuesta incapacidad de algunos estudiantes para superar los desafíos que les plantean los modelos didácticos no expositivos, es que es conveniente realizar dos tipos de actividades educativas

científicas:

Actividades enfocadas a favorecer el avance en la aptitud para pensar de modos científicos, como la contribución esencial del área de ciencias naturales y educación ambiental a la formación de ciudadanos capaces de vivir en una sociedad moldeada por las ciencias y la tecnología, y también como base para el aprendizaje de los contenidos científicos curriculares;

Actividades enfocadas a la enseñanza y aprendizaje de los contenidos específicos del currículo escolar en las asignaturas de ciencias.

Una de las tesis fundamentales del libro es que es inconveniente intentar ‘matar dos pájaros con la misma piedra’, o focalizar a la vez ambas finalidades. Para fundamentar esta tesis es preciso conceptualizar, con mayor precisión que la usual, el desarrollo cognitivo, a lo que se dedica el siguiente apartado.

2.2.2 Una aproximación al desarrollo cognitivo

Si en el apartado anterior hemos sido atrevidos al empacar en tan pocas páginas una enorme cantidad de teoría psicológica, contábamos con la ventaja de que los psicólogos están de acuerdo en lo esencial. En el tema que ahora nos ocupa no ocurre así. El desarrollo cognitivo, la emergencia en cada persona de su inteligencia —en un complejísimo proceso que comienza desde su misma concepción—, ha planteado desde los inicios de la psicología científica controversias interminables que no dan signos de menguar. Y es que su estudio científico está entrelazado con la reflexión filosófica sobre la naturaleza de lo humano, sobre lo que nos asemeja y nos diferencia de los animales. En esta breve sección pretendemos solo indicar nuestra posición en aquellos aspectos del debate en la psicología del desarrollo cognitivo directamente pertinentes para nuestro tema, en especial la distinción establecida por Piaget entre pensamiento concreto y pensamiento formal. También mencionamos la variabilidad en los ritmos de desarrollo y la posibilidad de "acelerarlo" mediante actividades educativas especiales del tipo 1, recién señaladas.

No es difícil reconocer intuitivamente algunas diferencias cualitativas entre el modo de pensar infantil, el adolescente, y el adulto. Por mencionar un único ejemplo, solo hacia los cinco años los niños comienzan a comprender las "restricciones cuantitativas y lógicas de los objetos y sus relaciones" (Carretero, 2006, pp. 7-9). En palabras cotidianas, los niños más pequeños son incapaces de entender que hay acciones verdaderamente imposibles, incluso para Papá Noel —llevar los regalos a todos los niños del mundo—. La caracterización psicológica de esas diferencias ha resultado un problema mucho más arduo de lo que pensaron los primeros psicólogos infantiles, entre los que se suele incluir a Piaget. En las últimas décadas se ha cuestionado a fondo su complicada teoría del desarrollo mental, y también se han discutido algunos de sus resultados empíricos. Se ha encontrado por ejemplo que los niños pequeños parecen capaces de efectuar ciertos raciocinios que Piaget consideraba fuera de su alcance (Carretero, 2004, pp. 209-215). Pero hay una distinción básica en su descripción del desarrollo cognitivo, en lo que respecta al pensamiento lógico-matemático y científico, que cuenta a su haber con una impresionante masa de evidencia que ha resistido la crítica[16]. Nos referimos a la distinción entre pensamiento concreto y pensamiento formal. Piaget y su equipo diseñaron una

amplia serie de problemas prácticos de diferente nivel de dificultad lógica: convertir una bola de plastilina en una salchicha y juzgar acerca de la cantidad de plastilina antes y después; ordenar de menor a mayor un conjunto de palitos de diferente longitud, clasificar fichas de diferente tamaño, color y forma; generar todas las posibles agrupaciones distintas con un conjunto de monedas; equilibrar una balanza con distintos pesos a distintas distancias; dada una serie de objetos predecir cuáles flotan y cuáles se hunden y luego de poner a prueba las predicciones tratar de explicar lo observado, y un enorme etcétera. Estas "tareas piagetianas", como se les sigue llamando, se pueden clasificar netamente en dos grandes tipos, las tareas concretas (como los tres primeros ejemplos), y las tareas formales (los tres últimos ejemplos). Mientras las primeras tienen en común que se limitan a la organización de datos inmediatos de la realidad perceptible, las segundas se caracterizan por ir más allá de lo perceptible, extendiéndose hacia lo abstracto, lo posible y lo hipotético. El pensamiento concreto y el formal son entonces las capacidades mentales que permiten resolver tareas piagetianas de tipo concreto y de tipo formal, asumidas como problemas representativos de los problemas que requieren, respectivamente, un dominio elemental y avanzado de la lógica (Piaget analiza con mucho detalle y complejidad lo que en este contexto significa con precisión 'elemental' y 'avanzado'). Estas dos capacidades forman una jerarquía, pues en el ejercicio del pensamiento formal subyace también el pensamiento concreto, pero no al revés; por esa razón, el desarrollo cognitivo procede siempre desde el concreto al formal. Un análisis detallado de los patrones de razonamiento que se integran en el pensamiento formal, que Piaget denomina 'esquemas operatorios formales', muestra que este nivel del desarrollo intelectual es esencial para tener éxito en las asignaturas de ciencias, pues se requiere para comprender los conceptos científicos, como relación entre variables (ver capítulo 1)[17]. En el apéndice de este capítulo discutimos de manera más amplia la distinción entre ambos niveles de pensamiento, y en los capítulos 4 y 5 detallamos algunos esquemas operatorios formales.

Una de las características más importantes del trabajo de Piaget fue la peculiar metodología que utilizó para identificar lo que llamó 'esquemas operatorios' (tanto concretos como formales), y en general para estudiar la génesis del conocimiento. A fin de trazar el cuadro de la estructuración progresiva de la inteligencia, él y sus colaboradores dedicaron miles de horas a conversar individualmente con niños y adolescentes mientras manipulaban un sistema experimental sencillo con el objetivo de resolver un problema concreto o formal, como los ejemplificados de manera muy sucinta en el anterior párrafo. El objeto

de la conversación, pese a su tono de informalidad, era permitir al investigador entender la lógica de las acciones espontáneas del participante al manipular el sistema experimental; para ello se requería un sutil juego de intervenciones no directivas adaptadas al curso del experimento, similar a la conversación entre un paciente y su terapeuta, por lo que se denominan “entrevistas clínicas”. Si bien esta metodología permite “observar” de forma alguna el pensamiento-en-acción del participante, la imposibilidad por principio de estandarizar una entrevista de este tipo hace imposible su aplicación a muestras representativas de la población de diferentes edades. De allí que la teoría piagetiana no contenga, como sería de esperar teniendo en cuenta su enorme complejidad, una estimación de la distribución de la población en cada nivel de pensamiento en función de la edad. Piaget se limitaba a aseverar que “desde los 11-12 años y durante toda la adolescencia se elabora, en fin, el pensamiento formal” (Piaget, 1969, p. 133), mientras las operaciones concretas se organizan de 7-8 a 11-12 años (loc. cit.). Más tarde, Piaget (como se citó en Gutiérrez, 1987, p. 136) modificó su punto de vista, admitiendo que “todos los sujetos normales llegan, si no entre los 11/12 y 14/15 sí en todos los casos entre los 15/20 años a las operaciones y a las estructuras formales” (negrillas nuestras).

Sin embargo, las investigaciones realizadas con grandes muestras para comprobar las mencionadas afirmaciones de Piaget sugieren que en la población en general “solo la tercera parte de los sujetos escolarizados comprendidos entre los 11 y 16 años han alcanzado la etapa formal” (Gutiérrez, 1987, p. 136; cursivas en el original). Lawson (1989) en Estados Unidos, y Shayer y Adey (1981, 1986) en el Reino Unido, han construido sendas baterías de instrumentos psicotécnicos estandarizados a partir de algunas tareas piagetianas. Cada conjunto de instrumentos permite valorar con una buena confiabilidad el grado de consolidación e integración de las competencias lógicas, desde el nivel I o preoperacional (cuando el niño no puede resolver las tareas concretas), luego el nivel II o del pensamiento concreto, hasta culminar en el nivel III, del pensamiento formal. Cada nivel presenta dos etapas, A o B, según el grado de estabilidad de las correspondientes operaciones. Pues bien, estos instrumentos, aplicados a muestras representativas, han invalidado las conclusiones de Piaget sobre las edades de transición entre los sucesivos niveles de desarrollo cognitivo, mostrando que existe muchísima más variabilidad en los ritmos de desarrollo cognitivo que la sugerida por Piaget[18]. No obstante, Lawson (1989, pp. 16-18), Shayer y Adey (1981, pp. 49-59) y otros autores han mostrado el valor predictivo del concepto de pensamiento formal, en cuanto las diferencias en el nivel de desarrollo cognitivo entre estudiantes de una misma edad están

estadísticamente relacionadas con las diferencias en la facilidad para asimilar y comprender los conceptos científicos; en otros términos, la posición de un estudiante en esta escala predice su aptitud para el pensamiento científico. Por lo demás, también se ha encontrado que estas escalas correlacionan bien con los test de inteligencia (Shayer & Adey, 1981, pp. 42-44) y con el rendimiento académico en general. Estas correlaciones empíricas sugieren que, en efecto, el pensamiento formal es condición necesaria para la comprensión de los conceptos científicos, aunque así lo muestra un somero análisis de los "esquemas operatorios formales", o de razonamiento formal, como llama Piaget a los diferentes tipos o pautas de inferencia lógica avanzada, como detallamos en el capítulo 4.

Por otra parte, Shayer y Adey (1981, 1986) determinaron los niveles de pensamiento formal requeridos para la comprensión de los diferentes temas de ciencias naturales que se enseñan en cada uno de los grados de escolaridad en Inglaterra (que no difieren mucho de los enseñados en el resto del mundo). Al contrastar estos niveles con el nivel piagetiano de desarrollo cognitivo promedio correspondiente a la edad de los estudiantes en cada grado, encontraron un desajuste considerable entre el nivel cognitivo requerido por el currículo de secundaria y el alcanzado por el estudiante típico en los respectivos grados. En palabras más sencillas, lo que esto significa es que la mayoría de los conceptos científicos del currículo de secundaria se enseñan a un nivel de conceptualización tan abstracto, que solo están al alcance de un porcentaje bastante pequeño de alumnos, los más adelantados en el desarrollo cognitivo. Por ejemplo, los datos de Shayer y Adey (1981, p. 120) señalan que tan solo 11% de los estudiantes de 12 años de edad, que cursan el primer grado de enseñanza secundaria en Inglaterra, muestran indicios de razonar en el nivel piagetiano IIIA (pensamiento formal inicial). Sin embargo, la demanda cognitiva del currículo para tal grado excede con mucho ese nivel. Los hallazgos de estos investigadores ofrecen una hipótesis psicológica bastante plausible de la enorme dificultad que las asignaturas de ciencias presentan para la mayoría de estudiantes de secundaria. Pozo y Gómez Crespo (2001, pp. 75-83) discuten esta hipótesis y concluyen que, en efecto, explica gran parte de los escollos que encuentran los adolescentes para tener éxito en sus estudios escolares de ciencias. Sin embargo, advierten que el desarrollo del pensamiento formal, o en otras palabras el dominio del pensamiento científico, no asegura la comprensión de los conceptos científicos, aunque es una condición necesaria para la misma. Pues, como veremos en 2.3, también se interponen las nociones espontáneas e intuitivas sobre el mundo físico que adquirimos en nuestra infancia. Así, pues,

he aquí otro elemento de la respuesta a la pregunta que titula el capítulo, cuya importancia difícilmente se le escapará al lector.

Ahora bien, ¿puede la escuela incidir en el ritmo de desarrollo cognitivo de los estudiantes en quienes apenas empieza a despuntar el nivel formal? Esta pregunta es crucial para los propósitos del libro, y por ello nos detendremos un poco en ella. Piaget era escéptico al respecto, pero la investigación de las últimas dos décadas en neurociencias sugiere muy fuertemente que sí es posible, confirmando lo que muchos estudios psicológicos y educativos han mostrado, como veremos en el siguiente capítulo. Sin entrar en detalles técnicos, se ha encontrado que la plena maduración cerebral tarda mucho más tiempo del que se pensaba hasta hace pocos años, extendiéndose hasta mediados de la tercera década de la vida (Mora, 2013, p. 39). Es verdad que el primer lustro de vida es una fase crítica de maduración cerebral, en la que se instalan primero los sistemas primarios sensorio-motrices y después los sistemas asociativos secundarios (la madurez de los primeros hace posible y desencadena la de los segundos, emergiendo las capacidades de representación simbólica y lenguaje)[19]. Pero el razonamiento lógico y reflexivo, la resolución de problemas, y las demás funciones cognitivas superiores, que dependen de la maduración de la corteza prefrontal y de su eficiente conectividad con todas las demás estructuras cerebrales, requieren que el cerebro pase, durante la adolescencia, por una nueva fase de eliminación sináptica selectiva dependiente de la experiencia. Como resultado, el volumen total del cerebro muestra una variación con la edad en forma de U invertida, alcanzando un máximo hacia los 10,5 años en las niñas y hacia los 14,5 años en los niños (Giedd, 2008, p. 336); las mediciones de actividad eléctrica cerebral y otras variables neurológicas estructurales y funcionales varían con la edad en esa forma (Giedd, 2008, p. 340). La instalación de las funciones mentales superiores, alcanzada tras esta nueva y postrera ventana de oportunidad del desarrollo cerebral que es la adolescencia, depende desde luego del ejercicio de las mismas funciones en construcción, de igual manera que la instalación de las funciones neurológicas básicas durante la primera infancia depende de su mismo ejercicio[20].

Ahora bien: ¿cómo es posible ejercitar una función que todavía se encuentra en construcción? El cerebro aprende a desempeñar una tarea a través del ensayo y error, en ciclos de aprendizaje repetidos. Prueba combinaciones de neuronas una tras otra, y cada vez compara el resultado con lo pretendido hasta que tiene éxito en la tarea entre manos, en cuyo caso estabiliza el circuito neuronal activado en última instancia. La práctica repetida permite ajustar, refinar y fortalecer estos

circuitos, consolidando la nueva función. En todo este proceso es indispensable el ‘feedback’, que completa el ciclo de aprendizaje. Sin información acerca de su rendimiento, el cerebro no sabría cuáles sinapsis fortalecer y cuáles eliminar (Feinstein, 2014, p. 76). En la estructuración de las funciones sensorio-motrices durante la primera infancia, el niño recibe ese feedback de su interacción con los objetos concretos del mundo físico. Pero en la estructuración de las funciones superiores durante la adolescencia, como el pensamiento abstracto y el razonamiento formal, el feedback debe recibirlo primordialmente de la interacción social, en especial con adultos, que actúen como mediadores de la interacción del adolescente con los objetos intelectuales de los mundos de ideas construidos por la cultura. En el siguiente capítulo hacemos una propuesta didáctica para facilitar esa mediación por parte del profesor de ciencias. Antes de ello redondearemos nuestra indagación acerca del crucial interrogante de este capítulo, en lo referente a las particularidades específicas del conocimiento científico y sus relaciones con el conocimiento común.

2.3 EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EL CONOCIMIENTO COMÚN

Hemos explicado las dificultades que los estudiantes de secundaria encuentran en las ciencias desde el desajuste entre su desarrollo cognitivo y el carácter abstracto de los conceptos científicos. En esta sección se complementa esta explicación abordando el problema desde la perspectiva epistemológica. Las teorías científicas constituyen sistemas coherentes de conceptos teóricos, construcciones artificiales de la razón humana, en lugar de ser producto de la experiencia empírica —como se suele pensar, a la ligera— (Chalmers, 1992, 1994; Giere, 1992; Kuhn, 1975; Toulmin, 1972). Para ilustrar la idea desde la física, los significados de las palabras aceleración, fuerza y masa que aparecen en la segunda ley de Newton no provienen de las percepciones sensoriales de objetos en movimiento. Estas últimas han formado parte de la experiencia de la humanidad desde tiempos inmemoriales, pero los conceptos indicados se inventaron o construyeron durante la "revolución científica" del siglo XVII, y fueron reconstruidos por Einstein a comienzos del XX. Pero lo más importante, y ello tiene muchas implicaciones didácticas para los docentes en física, no es posible aislar el significado de esas palabras y definirlas como en un diccionario. Pues lo que tiene significado es todo el entero sistema conceptual de la mecánica newtoniana, no los términos aislados en que se expresan sus conceptos claves. Uno de los principales desafíos para el aprendizaje significativo de las ciencias es que el significado de las teorías reside en el todo que constituyen. Como ya dijimos, aprender el lenguaje de las ciencias exige aprehender un nuevo mundo de significados interrelacionados, no reduciéndose a aprender un nuevo código lingüístico o unos nuevos significantes para denotar significados ya conocidos.

Por supuesto, las teorías científicas no son construcciones mentales arbitrarias. Es decir, no son una especie de ficción literaria. Pues tienen un propósito cognoscitivo. Son intentos más o menos afortunados de resolver problemas explicativos y predictivos relativos a los fenómenos naturales. Siguen unas normas de rigor, estando sometidas a una crítica implacable por parte de la comunidad de investigadores, siempre a la caza de inconsistencias lógicas o empíricas. Las propuestas teóricas se juzgan por su coherencia lógica y la coherencia entre las predicciones deducidas de ellas y los datos experimentales, que también son construcción humana, pues se obtienen en situaciones

artificiales y usando instrumentos “cargados de teoría”.

Es evidente entonces el contraste entre los sistemas teóricos construidos formal e intencionalmente por los científicos y expresados en textos y ecuaciones, con el conocimiento común. Es decir, las intuiciones y creencias espontáneas, informales y en general implícitas sobre el movimiento, los procesos vitales, etc. La adaptación del conocimiento común al “mundo de la vida”, en el que todos nos desenvolvemos a diario, es esencial para nuestra supervivencia (Ministerio de Educación Nacional - MEN, 1998, p. 19). Pero también proporciona a nuestros estudiantes los esquemas mentales mediante los cuales interpretan lo que les enseñamos en clase, como dijimos al comienzo de la sección 2.2.1. Mientras los sistemas teóricos de la ciencia han sido examinados con rigor por una comunidad de especialistas para confirmar su utilidad explicativa, el conocimiento común es privado. Incluye intuiciones con frecuencia incoherentes entre sí, e inconsistentes con muchos fenómenos observables; su capacidad explicativa es mucho más limitada. Se refiere a un determinado objeto o proceso directamente observable con nuestros sentidos, y solo a uno de ellos en particular; las teorías científicas, en cambio, permiten relacionar fenómenos en apariencia desligados entre sí, en términos de estructuras y procesos perceptibles indirectamente, como mucho. Por poner un ejemplo, los estudiantes generan dos explicaciones distintas para dos procesos que en la física se explican de una misma manera: el ascenso y el descenso de una piedra lanzada verticalmente hacia arriba (Uribe, 2010). Los estudiantes tienden a explicar el ascenso en virtud de la “fuerza del lanzamiento”, que sería una especie de causa impulsora que reside dentro de la piedra y que le permite vencer su tendencia a caer, fuerza que se va consumiendo hasta que llega al punto más alto. En cambio, el descenso es explicado de manera simplista, como consecuencia de que “la piedra cae por su propio peso”, recordando la teoría aristotélica del movimiento natural.

Es inevitable entonces que las creencias y razonamientos espontáneos constituyan “obstáculos epistemológicos” formidables para la comprensión de la ciencia, según la famosa expresión de Bachelard[21] (1988). Muchos docentes en ciencias están familiarizados con las investigaciones que han mostrado el carácter transcultural de creencias como la mencionada acerca del movimiento de la piedra lanzada hacia arriba; es decir, su presencia en estudiantes procedentes de otras culturas (Boeha, 1990). Es evidente que la creencia espontánea acerca de la necesidad de una fuerza ascensional para que el cuerpo suba bloquea la comprensión del enfoque newtoniano del fenómeno de caída libre, y todavía más teniendo en cuenta la naturaleza casi siempre inconsciente

de la idea, que impide al alumno saber por qué no entiende la explicación del profesor o del texto. Solo si el profesor procura que el estudiante razone y explique en sus propias palabras el movimiento, por ejemplo pidiéndole que describa las fuerzas que hacen que la piedra suba, esta intuición se hace consciente y explícita.

Así mismo, es bien conocido que los historiadores del pensamiento científico han sacado a la luz obstáculos semejantes en el proceso de construcción de las teorías científicas. Por ejemplo, la distinción intuitiva y la explicación de los movimientos de la piedra de los estudiantes es similar a la aristotélica (movimiento violento que sufre durante el ascenso vs. movimiento natural al caer). Wandersee, Mintzes y Novak (1994), en su extensa síntesis comprehensiva de las investigaciones sobre las "concepciones alternativas en ciencias", destacan muchas otras semejanzas de concepciones estudiantiles, identificadas una y otra vez en diferentes medios y edades con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento. Por mencionar un par de analogías importantes, el famoso "horror al vacío" (horror vacui) parece ser compartido por una gran proporción de personas hoy por hoy (Wandersee et al., 1994, p. 183). Para muchos alumnos la adaptación biológica se basa en que en los organismos se efectúan cambios morfológicos en respuesta a cambios ambientales. En consecuencia, el mecanismo evolutivo se explica por la necesidad, el uso y la falta de uso. Es claro que esta creencia es semejante a la teoría de Lamarck (Wandersee et al., 1994, p. 187).

Analogías histórico-didácticas como las descritas en el anterior párrafo, y el carácter transcultural de las creencias espontáneas identificadas por la investigación didáctica en los años ochenta y noventa, sugieren que tales creencias no son producto del descuido o la ignorancia de los estudiantes. Por el contrario, tienen un sentido, una lógica, un valor cognoscitivo, aunque limitado. Esto es en esencia lo que nos dice Bachelard en el texto citado. En cierto modo es como si el estudiante tuviera que volver a recorrer, con su pensamiento científico en formación, las etapas históricas vividas por la comunidad científica durante el proceso de construcción de la ciencia. Desde esta perspectiva, las creencias implícitas de los alumnos referentes a la naturaleza constituyen una especie de producto de un pensamiento científico intuitivo, que todos aprendemos en nuestra infancia al interactuar con el mundo, y que nos permite manejarnos en la vida cotidiana. De allí surgen dificultades epistemológicas para el aprendizaje del conocimiento científico, adicionales a las dificultades psicológicas descritas en la sección anterior: aprender ciencia requiere oponerse

a una forma menos elaborada de representación y conceptualización de la realidad, que está profundamente arraigada en la estructura mental del alumno. Esta conclusión constituye otro de los elementos nucleares de la respuesta al interrogante planteado en el título del capítulo que la investigación educativa y otras ciencias sociales y humanas nos ofrecen.

2.4 IMPLICACIONES PEDAGÓGICAS Y DIDÁCTICAS

Hemos intentado sintetizar aquellos elementos teóricos de la respuesta al problema del escaso aprendizaje en las asignaturas de ciencias en secundaria que parecen centrales y que son aceptados por la comunidad científica. Como docentes, responsables de diseñar y gestionar ambientes que promuevan el desarrollo integral de todos nuestros estudiantes y el aprendizaje de la ciencia escolar que necesitan aprender, de modo que lleguen a ser ciudadanos de pleno derecho en un mundo modelado por la ciencia y la tecnología, tenemos que pasar al plano práctico: ¿Qué podemos hacer para facilitar que nuestros estudiantes superen los obstáculos descritos y lleguen a pensar de un modo similar a los científicos cuando sea pertinente, incluso en su vida cotidiana?

El planteamiento de esta pregunta supone que existe un acuerdo sobre el currículo de ciencias en la escolaridad obligatoria, los contenidos científicos que integran la "ciencia escolar": los conceptos, modelos, procedimientos, actitudes... que todos los ciudadanos de un país deben adquirir como resultado de su educación básica. Sin embargo, tal acuerdo es muy difícil de lograr a plenitud, pues la cuestión está muy ligada a la finalidad de la educación. Sin embargo, en la literatura educativa internacional y en el discurso político hay cierto consenso en que la finalidad del currículo en ciencias en la educación secundaria es lo que se ha dado en llamar "alfabetización científica" de la población, aunque lo que significa en concreto no está del todo claro (Fourez, 2005; Norris & Phillips, 2003; Roberts, 2007). En síntesis, la imagen ideal de un ciudadano científicamente alfabetizado tal como se presenta en el vasto cuerpo de literatura pertinente, puede decirse que es un ciudadano que: a) ha desarrollado las capacidades de pensamiento lógico e hipotético-deductivo, de interpretar la realidad analíticamente, de suspender el juicio y razonar críticamente, etc., que caracterizan al científico aunque no son exclusivas de ese gremio —en suma, que ha formado lo que hemos llamado, para abreviar, "aptitud para pensar científicamente"—; b) ha adquirido un conocimiento científico básico: comprende los conceptos y principios estructurantes y centrales de las disciplinas científicas (Sanmartí, 2002); c) está habituado a pensar de modo similar a un científico a la hora de resolver problemas de su cotidianeidad, aplicando sus conocimientos científicos básicos pertinentes; d) dispone de un conocimiento mínimo de la naturaleza de las ciencias, suficiente

al menos para distinguirlas de las pseudociencias y de otras formas de conocimiento y de comprensión de la realidad no científicas, pero no por ello menos válidas (la filosófica, la espiritual, la artística), y para pensar de modo crítico sobre las ciencias y las tecnologías; e) conoce las llamadas “cuestiones socio-científicas” (también llamadas ‘asuntos Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente’) y está inteligentemente comprometido en ellas como ciudadano responsable; f) tiene “disposiciones científicas”, como actitudes de aprecio hacia la naturaleza y hacia su estudio desde la perspectiva científica, demuestra curiosidad e interés por la indagación, etc.

Hay que aclarar que estos elementos funcionan como “partes” interactuantes de la alfabetización científica, concebida como una especie de sistema, de un todo indisociable. De esta manera, si falta uno de ellos los demás no pueden funcionar como es debido. Por ejemplo, sin el conocimiento científico básico y sin las disposiciones científicas no es posible ejercitar el pensamiento científico, en especial en la resolución de problemas y el análisis crítico de las cuestiones sociocientíficas como ciudadano participativo.

Debe observarse que los documentos curriculares colombianos no hacen explícito el concepto de alfabetización científica como finalidad central de la educación en ciencias, pero plantean la necesidad de avanzar de una u otra manera hacia todos los elementos descritos. Por ejemplo, en los Lineamientos curriculares para el área de ciencias naturales y educación ambiental (MEN, 1998) leemos:

Si se analizan exhaustivamente los fines de la educación podemos concluir que la educación en ciencias y en tecnología tiene como finalidad central el desarrollo del pensamiento científico, como herramienta clave para desempeñarse con éxito en un mundo fuertemente impregnado por la ciencia y la tecnología. (p. 57. Cursivas en el original)

Así mismo, se habla de la “formación de una mente científica” (p. 87). El Artículo 22 de la Ley General de Educación, literal c, define, entre los objetivos específicos de la educación básica en el ciclo de secundaria, el del desarrollo de las capacidades para el razonamiento lógico; la mayoría de los otros literales, así

como los de los Artículos 21 y 30 (referentes a la educación básica primaria y la educación media) están directa o indirectamente vinculados con diferentes aspectos de lo que hemos llamado ‘elementos de la alfabetización científica’ cuando se explicitan en detalle.

Hasta aquí llega el consenso relativo entre los especialistas en la educación en ciencias. Las ideas tratadas en las secciones 2.1 a 2.3, y la finalidad general del área de ciencias naturales y educación ambiental en términos de la alfabetización científica, están apoyadas en la investigación científica y filosófica, bien sea la básica (por ejemplo, social, psicológica, histórico-epistemológica, etc.), o bien la investigación aplicada al mejoramiento de la educación escolar, en especial la realizada en la disciplina “didáctica de las ciencias experimentales”, a la que nos referimos en la introducción al capítulo. Pero no existe consenso acerca de las consecuencias concretas, para las prácticas docentes en ciencias, del cuerpo de conocimientos teóricos sobre la sociedad, la escuela, el estudiante, las ciencias, etc. (del cual hemos seleccionado apenas una mínima parte, aquella en especial relevante para nuestros propósitos). En nuestra opinión, no tiene sentido aspirar a tal consenso entre los especialistas en educación en ciencias. La razón es que hay una gran distancia entre las prácticas educativas contextualizadas con su complejidad inherente, y la teoría descontextualizada, con sus mundos conceptuales abstractos e idealizados: no existen consecuencias directas y unívocas, para las prácticas docentes, de las teorías científicas sobre los procesos escolares. No se puede perder nunca de vista, como dice Carretero (2004, p. 237), “que la psicología no es la educación”. Esto vale también en cierto modo para la misma didáctica de las ciencias naturales como disciplina teórico-práctica, cuyo fin es ofrecer orientaciones teórica y empíricamente fundadas para la conducción de las prácticas educativas en ciencias (Uribe, 2012). Subrayamos la palabra ‘orientaciones’ pues es importante comprender que esta disciplina no tiene como fin establecer prescripciones que determinen la acción del docente. Incluso quienes comparten la misma filosofía educativa todavía seguirán encontrándose ante múltiples “soluciones” a las problemáticas educativas, cada una con sus pros y contras, pues las situaciones escolares, como todas las situaciones que enfrentan los profesionales en sus prácticas cotidianas, son enormemente complejas, singulares e inciertas, sujetas a conflictos de valores, etc. (Schön, 1998). Por ello, el principal conocimiento que orienta la acción del docente, aquí y ahora, es su conocimiento profesional personal; se trata de un “conocer-en-acción”, un saber inconsciente e intuitivo manifestado y revelado en el desempeño exitoso frente a los nuevos desafíos del momento, un conocimiento encarnado y contextualizado (Uribe, 2012, p. 24).

Donde sí cabe consenso acerca de las implicaciones prácticas de las teorías científicas sobre la educación en ciencias es en torno a lo que no deberían hacer los docentes. Por ejemplo, Carretero (2004, pp. 241-242) sostiene que "los hallazgos (...) en el ámbito de la psicología y la educación, han cambiado [tan] enormemente la imagen que tenemos del alumno y de sus posibilidades de aprendizaje (...) que ya resulta imposible pensar en una defensa de la enseñanza tradicional" (subrayado nuestro). Carretero entiende por tal la que se corresponde con la visión empirista del conocimiento; en la práctica significa, como decía un docente en la anécdota referida por Carretero en la p. 246, que lo único necesario para que los estudiantes aprendan es que les expliquemos las cosas "despacio y clarito". En efecto, en la sección 2.2.1 mostramos que las limitaciones atencionales y de la memoria operativa explican por qué los estudiantes en general difícilmente pueden seguir las clases magistrales, por más despacio y clarito que sea nuestro monólogo. De allí la necesidad de utilizar modelos didácticos más sofisticados y motivadores, que movilicen el pensamiento de los estudiantes y los transformen en protagonistas de su formación científica. Y en la anterior sección reforzamos esta conclusión, pues mostramos que el arraigo psicológico de las concepciones intuitivas hace muy difícil la apropiación de las ideas científicas en virtud de su mera exposición verbal por el docente. Los didactas de las ciencias naturales han propuesto muchas alternativas a la enseñanza expositiva directa de las concepciones científicas. Los lineamientos curriculares del área (MEN, 1998) ofrecen un muy buen resumen de una de ellas, la enseñanza basada en problemas (pp. 101-110). Pero, insistiendo en la idea clave del anterior párrafo, enfatizada también en los lineamientos (ver, por ejemplo, la noción de "libertad pedagógica del maestro", p. 76), esta alternativa no es "la solución" al problema del escaso aprendizaje de las ciencias naturales, válida para todos los temas, contextos educativos, etc. Es el equipo docente de cada institución el responsable del diseño del ambiente de aprendizaje en cada caso, aunque sin perder de vista las teorías pedagógicas (en efecto, limitarse al sentido común, a las opiniones subjetivas, o a la retórica ideológica, sin aplicar el pensamiento científico a la tarea de mejorar sus prácticas, es perpetuar las de los docentes que nos enseñaron).

En la sección 2.2.1 también enfatizamos en la amplísima diversidad de estudiantes, los muchos aspectos en que se diferencian, explicando así la gama tan amplia del rendimiento académico. Esta diversidad no puede ser pasada por alto. Vale la pena el mayor esfuerzo que implica atender las necesidades particulares de los estudiantes a quienes más cuesta comprender los extraños conceptos de las ciencias. Recordemos la objeción típica de muchos docentes,

sobre la dificultad de los modelos didácticos no tradicionales para los estudiantes de menor habilidad (p. 30). Es cierto que estos modelos pueden parecer utópicos, fuera del alcance de muchos estudiantes, quienes prefieren un papel pasivo menos amenazante. Estamos convencidos de que la respuesta a esta objeción no es persistir en el modelo de enseñanza expositiva que tan cortos resultados ofrece, sino ofrecer oportunidades a todos los estudiantes de desarrollar su habilidad intelectual, hasta ponerla en caso necesario a la altura de los desafíos de un modelo didáctico no tradicional; la plasticidad cerebral, como vimos en la sección 2.2.2, abre esa posibilidad. En lo que resta del libro mostraremos una alternativa didáctica para ello, que no representa una carga demasiado onerosa para el docente. De todos modos no se puede perder de vista lo que decía Piaget (2001): De una manera general puede decirse que cuanto más se trata de perfeccionar la escuela más dura es la tarea del maestro, y cuanto mejores son los métodos más difícil es su aplicación (p. 142).

La explicación teórica presentada a lo que podría llamarse “el problema fundamental de la educación en ciencias”: el escaso aprendizaje significativo de los alumnos, no puede reducirse a sus dimensiones sociológicas, psicológicas o epistemológicas y sus complejas interrelaciones, cuya superficie en este capítulo apenas hemos rozado. De la misma manera, las “soluciones prácticas” propuestas para superarlo no pueden limitarse a incidir en unos aspectos del problema dejando los otros por fuera. En esta obra nos limitamos a un aspecto más general de las propuestas de mejoramiento de la educación en ciencias: el desarrollo en el aula de la aptitud para pensar científicamente, en el sentido presentado en la sección 2.2.2. Esta aptitud es una condición general necesaria para abordar con éxito el aprendizaje de los temas específicos más abstractos de las ciencias escolares, aunque por supuesto no es suficiente. En los capítulos restantes discutiremos cómo pueden los docentes realizar experiencias formativas de las capacidades cognitivas básicas de los estudiantes de una manera relativamente hacedera.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

Sección 2.1

•Brigido, A. M. (2006). Sociología de la educación: Temas y perspectivas fundamentales . Córdoba (Argentina): Editorial Brujas.

Manual universitario escrito para las carreras de educación y para docentes en ejercicio. Analiza la educación como fenómeno y como proceso social (en el sentido amplio y en el sentido más común centrado en la institución escolar). Brinda claves teóricas para comprender los problemas actuales de la educación en la perspectiva sociológica en sus diversos niveles y desde las diferentes perspectivas propuestas por los autores clásicos.

•Gómez Buendía, H. (1998) . Educación: La Agenda del Siglo XXI . Bogotá, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.

Informe rendido por una comisión internacional convocada por el PNUD de expertos en Educación latinoamericanos y del Caribe, que sistematiza un amplio número de investigaciones sobre la realidad educativa de la región, y en particular las relaciones entre los sistemas educativos, la cultura, la economía, etc. Incluye también resultados de otros muchos estudios sobre los problemas educativos, la eficacia escolar, etcétera, pertinentes para el diseño de las políticas educativas nacionales e internacionales.

•Piñeros, L. J. (ed.) (2004). La escuela alza vuelo . Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Esta colección de ensayos presenta una revisión comprensiva de las investigaciones internacionales y nacionales relacionadas directamente con la evaluación de la eficacia escolar y sus posibles relaciones causales con ciertos factores de contexto. Aunque algunos de sus contenidos son técnicos, la mayor parte es de interés para los directivos escolares y los colectivos docentes.

•Shulman, L. S. (2001). Conocimiento y enseñanza: Fundamentos de la Nueva Reforma (traducción de Knowledge and Teaching: Foundations for the new Reform, Harvard Educational Review , Vol. 57, No. 1, 1987). Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado, 9, 2 (2005). Recuperado de https://www.ugr.es/~recfpro/rev92ART1.pdf

Presenta un esquema de los saberes, habilidades y valores que distinguen a los docentes expertos, esquema que sintetiza experiencias de docentes, estudios de caso y otras investigaciones empíricas, y reflexiones filosóficas. Enfatiza la importancia del conocimiento didáctico del contenido (pedagogical content knowledge), la capacidad de transformar su comprensión de la disciplina enseñada en actividades eficaces de enseñanza-aprendizaje.

Sección 2.2

(En el apéndice al capítulo se presenta la bibliografía específica sobre la teoría piagetiana del desarrollo cognitivo y sus implicaciones para la educación)

•Ausubel, D. (1982). Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo. México: Trillas.

Este libro es un clásico que no requiere presentación, cuya influencia en el

campo psicopedagógico va mucho más allá de haber acuñado el concepto de aprendizaje significativo y de destacar la importancia del conocimiento previo del alumno. Sin embargo, las insuficiencias de este concepto han sido puestas de manifiesto por muchos autores (por ejemplo, Baron, 2000, p. 29): para comprender no basta relacionar de cualquier manera el nuevo conocimiento con el conocimiento previo, pues es necesario percibir relaciones estructurales o esenciales.

•Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. (eds.) (2000) . How People Learn: Brain, Mind, Experience and School . Washington: National Academy Press.

Reporte de un estudio encargado por el National Research Council a una comisión de académicos de primer rango mundial en ciencias cognitivas, ciencias de la educación y diversas ramas de la psicología, con el objetivo de efectuar una revisión analítica, poner en perspectiva y resaltar las implicaciones para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de los resultados obtenidos en los muchos proyectos de investigación realizados en estas disciplinas. En los temas de esta sección se tuvieron en cuenta especialmente los capítulos cuarto y quinto, que tratan del desarrollo cognitivo y neuronal.

•Entwistle, N. (1988) . La comprensión del aprendizaje en el aula . Barcelona: Paidós.

El objetivo de este libro es proporcionar a los profesores de primaria y secundaria una síntesis de los principales conceptos de la psicología pertinentes para su tarea profesional, y en particular los que describen las condiciones requeridas para un aprendizaje efectivo, como un marco para guiar su reflexión acerca del papel docente, de las diferencias entre los individuos, el ambiente familiar y social del aula y la institución, etc.

•Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2001). Aprender y enseñar ciencia (3a. ed.). Madrid: Morata.

Ensayo de fundamentación psicológica del llamado constructivismo, la más difundida propuesta de solución planteada al problema que titula este capítulo. Tiene un carácter práctico eminente, en especial por haber sido escrito por un especialista en psicología cognitiva y educativa y un químico profesor de ciencias.

Sección 2.3

•Chalmers, A. F. (1992). La ciencia y cómo se elabora. (Orig. 1990, Science and its Fabrication). (E. Pérez, Trad.). Madrid: Siglo XXI.

•Chalmers, A. F. (1994). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? (Orig. 1982, What is this thing called science?, 2nd ed.). (E. Pérez, Trad.). Madrid: Siglo XXI.

En estas dos obras el autor critica a fondo la concepción popular sobre la naturaleza de la ciencia como un conocimiento cierto basado en datos empíricos y en la aplicación de un método universal de descubrimiento.

Sección 2.4

•Perales, F., & Cañal, P. (dirs.) (2000). Didáctica de las Ciencias Experimentales . Alcoy: Editorial Marfil.

Como mencionamos en el texto, esta obra es el manual más completo publicado en español que recoge el cuerpo de teorías elaborados en la disciplina descrita en el título en veinticinco capítulos especialmente escritos por los más destacados investigadores españoles, estructurados en seis partes: La didáctica de las ciencias, caracterización y fundamentos; El currículum de ciencias experimentales; La práctica de la enseñanza de las ciencias; Ideas previas de los alumnos y construcción del conocimiento escolar sobre las ciencias experimentales; La formación del profesorado en didáctica de las ciencias experimentales; y Áreas transversales y didáctica de las ciencias experimentales.

APÉNDICE:

BOSQUEJO DE ALGUNOS ASPECTOS CENTRALES DE LA TEORÍA DE PIAGET SOBRE EL DESARROLLO INTELECTUAL

A lo largo de su prolongada y prolífica carrera científica, Piaget (1896-1980) estudió brillante y minuciosamente la conducta de los niños y adolescentes, destacando sus aspectos cognitivos. Sus cuidadosas investigaciones le condujeron a proponer una teoría bastante peculiar, compleja y abstracta sobre la formación de la inteligencia desde el nacimiento hasta finales de la adolescencia. Hoy se consideran insostenibles diversos aspectos de esa teoría, o por lo menos han sido muy cuestionados por investigadores más recientes (Shaffer, 2000, pp. 257-259). Por ejemplo, virtualmente ningún piagetiano admite su modelo del pensamiento lógico mediante unas peculiares estructuras matemático-psicológicas de su invención (Kitchener, 1986, p. 20). Pero si apartamos estas y otras especulaciones, algunas netamente filosóficas, su idea clave todavía es defendida por un amplio número de psicólogos y respaldada por la neurociencia actual: el desenvolvimiento de nuestro potencial intelectual no es el simple resultado de la acumulación de aprendizajes discretos de hechos particulares sobre el mundo físico y social, pues a medida que construimos nuestros conocimientos específicos del mundo, construimos también nuestras capacidades generales de procesar, interpretar, almacenar y utilizar información, o de construir conocimientos, que en conjunto (capacidades generales y conocimientos específicos) forman un sistema, la inteligencia.

Otra importante tesis piagetiana, mucho más controvertida pero que cuenta con un importante respaldo empírico, es que la inteligencia humana experimenta cambios cualitativos con la edad, la experiencia y la educación. En efecto, en los primeros años de vida predomina, según Piaget, la “inteligencia sensorio-motriz”: la actividad cognoscitiva del niño radica sobre todo en sus acciones externas, que suponen la coordinación de la percepción sensorial con su actividad motora en el mundo físico, permitiéndole así satisfacer sus muy diversas necesidades físicas y psíquicas. Con el desarrollo de las funciones simbólicas a partir del segundo año de vida, y en especial del lenguaje, van apareciendo de manera progresiva las capacidades de representar internamente el mundo y de anticipar las acciones físicas mediante acciones mentales; nace

entonces la “inteligencia representativa”. Hacia los inicios de la escolaridad primaria estas capacidades ya se han consolidado hasta el punto de que el niño exhibe un pensamiento lógico elemental: es capaz, por ejemplo, de darse cuenta de que los cambios en la forma de un trozo de plastilina no modifican en absoluto la cantidad de sustancia, lo que no suele ocurrir con los niños de cinco años —por extraño que nos parezca a nosotros, desde nuestra inteligencia adulta —. Piaget denominó “pensamiento concreto” al conjunto de capacidades de razonar correctamente sobre lo que percibimos, para hacer deducciones como la realizada con respecto a la transformación de la plastilina, que nos permiten llegar a conclusiones dotadas de necesidad lógica. Los adolescentes construyen paulatinamente capacidades lógicas mucho más sofisticadas y abstractas, indispensables para la comprensión de las nociones y procedimientos de las ciencias, cuyo conjunto Piaget denominó “pensamiento formal”. Estas capacidades nos facilitan, por ejemplo, comprender que no es el peso ni el volumen de un cuerpo tomados por separado lo que determina su flotabilidad, sino la razón entre ambas magnitudes —llamada densidad, en el lenguaje de la ciencia—.

Esta concepción del desarrollo de la inteligencia fue expuesta por Piaget y sus colaboradores en centenares de libros y artículos científicos. En la bibliografía comentada al final del apéndice mencionamos unas cuantas obras de Piaget o sobre Piaget en castellano, importantes para nuestros objetivos y accesibles al lector no especialista. Se pueden encontrar en cualquier libro de psicología explicaciones sintéticas de su teoría de estadios, como denominó las diferentes fases del desarrollo intelectual. Así pues, la sucesión que hemos delineado se resume como el paso del estadio sensorio-motriz al estadio preoperacional, luego de este al estadio operacional concreto, hasta llegar por último al estadio operacional formal. En este libro nos centramos en las características del último estadio.

Siempre, según la teoría piagetiana, las diferencias entre los diferentes estadios estriban en el tipo de estructuras cognoscitivas más avanzadas de que dispone el sujeto. Piaget inventó el término “esquemas” para designar genéricamente las estructuras cognoscitivas, que a modo de órganos psicológicos nos sirven para asimilar la realidad externa, es decir incorporarla a nuestro propio organismo[22]. Los esquemas se pueden concebir como lo que resulta común a un conjunto de acciones que se ejercen de forma semejante (Delval, 1997); el conjunto de esquemas interrelacionados de que disponemos constituye nuestra inteligencia (Furth, 1989, p. 21). Piaget estudió con especial detalle los siguientes tipos de

esquemas: (i) esquemas sensorio-motrices, que nos permiten coordinar nuestras percepciones y movimientos; (ii) esquemas operatorios concretos, con los que estructuramos lógicamente la realidad cotidiana y tangible estableciendo clasificaciones, ordenaciones y relaciones entre los objetos que la conforman; (iii) esquemas operatorios formales, que nos facilitan estructurar lógicamente realidades posibles, razonar de manera hipotético-deductiva utilizando abstracciones definidas teóricamente (como el concepto de inercia o de energía), separar en un argumento su forma del contenido, etc. Luego explicaremos algo más las diferencias entre estos tipos de esquemas; pero antes de ello detengámonos en otros conceptos esenciales de la teoría piagetiana.

El progreso cognitivo se describe en la teoría como el proceso de acomodar los esquemas en respuesta a los conflictos cognitivos. Es decir, al estado de perturbación en la mente del niño que se produce cuando sus acciones tienen un resultado inesperado, sorpresivo, que sus esquemas son incapaces de asimilar, por cuanto contradice sus expectativas o su manera de comprender lo que pasa. Piaget considera que este estado de perturbación, o de “desequilibrio” —para usar uno de sus términos preferidos—, desencadena procesos de reestructuración mental o de modificación de esquemas, que concluyen en la restauración del equilibrio perdido. Tal transformación en respuesta a las perturbaciones causadas por la interacción con el medio constituye la acomodación, un proceso inseparable de la asimilación. Por supuesto, insistimos en que esta sumaria exposición de algunos de los conceptos centrales de la teoría piagetiana hace caso omiso de la enorme complejidad de su entramado conceptual[23]. Lo que debemos retener es el importante papel que concede Piaget al desequilibrio cognitivo o, como se suele llamar en el ámbito pedagógico, al conflicto cognitivo.

Las estructuras cognoscitivas o esquemas operatorios concretos, los que hacen posible razonamientos lógicos como la conservación de la cantidad de plastilina bajo cambios de forma, están vinculadas a la percepción o a la imaginación. Otros ejemplos de esquemas operatorios concretos son las capacidades de manipular los objetos de nuestra experiencia cotidiana para ordenarlos, cuantificarlos, clasificarlos, etc., tal como lo hace el adulto. Consideremos la siguiente tarea: Damos a un niño de unos cinco años un conjunto de regletas de diferente longitud pero de igual sección transversal. Le pedimos que forme una escalera con ellas. Sorprendentemente no logra tener éxito por más que lo intente. Esta ordenación por tamaño es lo que Piaget denomina “seriación”. En cambio, para el niño de siete años, esta tarea suele ser trivial.

Sin embargo, insistimos, estas operaciones lógicas elementales todavía están atadas a lo que los sentidos perciben o la imaginación puede representar. Hay que esperar a la adolescencia para que el sujeto pueda concebir lo posible pero que no se puede percibir porque no es real; por ejemplo, los diferentes resultados que podría tener una acción todavía no realizada, o que incluso puede no realizarse. Las estructuras que permiten concebir y manipular ese nuevo mundo, puramente abstracto, de posibilidades lógicas, son las llamadas por Piaget "operaciones formales". Aunque los pensadores concretos pueden distinguir entre creencias hipotéticas y evidencias empíricas, no pueden probar sus hipótesis de manera sistemática y científica. Tampoco pueden analizar relaciones entre más de dos variables. En contraste, el pensamiento formal permite manejar un mayor número de variables y, lo más importante, permite utilizar la lógica proposicional (por ejemplo, comprender un silogismo). Es decir, ya no se piensa solo a partir de las percepciones, sino que se pueden efectuar inferencias o raciocinios formalmente correctos manipulando estructuras puramente verbales, sin una correspondencia con las representaciones de la realidad material, y se pueden establecer relaciones entre relaciones (por ejemplo al efectuar razonamientos proporcionales), etc. Estas nuevas capacidades culminan en la construcción de sistemas de ideas hipotéticas contrastables con la experiencia; en otras palabras, el adolescente que ha desarrollado el pensamiento formal, o hipotético-deductivo, ya está en capacidad de asimilar las teorías científicas. Esta descripción de los logros cognitivos en los primeros años de la adolescencia es apoyada desde otros enfoques metodológicos. Por ejemplo, el psicólogo y neurocientífico Laurence Steinberg, uno de los investigadores actuales en adolescencia más reconocidos, escribe:

Durante la adolescencia temprana, se evidencian claras mejoras en el razonamiento (especialmente deductivo), el procesamiento de información (tanto en eficiencia como capacidad), y pericia. (...) Hay un amplio consenso en que, como resultado de estas ganancias, las personas llegan a ser más capaces de pensamiento abstracto, multidimensional, regulado e hipotético (...). Ninguna investigación ha cuestionado esta conclusión. (Steinberg, 2005, p. 70)

Aunque la influencia de Piaget ha disminuido en las últimas décadas y —repetimos— las investigaciones recientes sobre el desarrollo neuropsicológico,

que integra los métodos psicológicos con los neurológicos, muestran un cuadro mucho más complejo que el que delineó, el balance global de sus trabajos en la literatura psicológica actual sigue siendo en general positivo:

La descripción de Piaget de las amplias secuencias del desarrollo intelectual proporciona una revisión razonablemente precisa de la forma en que piensan los niños de diferentes edades. Puede haber estado equivocado en alguno de los datos específicos, pero, como señala Robert Siegler (...), "sus descripciones parecen correctas... Las tendencias generales... apelan a nuestras intuiciones y recuerdos de la infancia". (Shaffer, 2000, p. 257)

Por ejemplo, las teorías actuales del desarrollo cognitivo atribuyen mucha mayor importancia al medio sociocultural que lo que hacía Piaget. En efecto, se ha mostrado de manera recurrente la insostenibilidad de uno de los postulados fundamentales de la teoría de los estadios, su universalidad: la hipótesis de que, independientemente de su cultura, todos los humanos normales llegan a las operaciones y a las estructuras formales[24]. Mucho antes de que Piaget elaborara su teoría, el principal colaborador de Vygotsky, Alexander Luria, realizó una expedición al Uzbekistán en 1931-1932, para estudiar las capacidades lógicas de poblaciones no escolarizadas y de cultura no occidental. Encontró que lo que Piaget denominaría pensamiento formal estaba ausente en los adultos uzbekos no escolarizados (Carretero, 2004, pp. 190-192).

En suma, lo que nos dice la comprensión actual del desarrollo cognitivo, dejando de lado las muchísimas discrepancias que todavía subsisten entre los psicólogos evolutivos, es que es el resultado de la "interacción sistémica" (ver sección 2.1, nota 11) de tres grandes mecanismos: la maduración cerebral, que incrementa la eficiencia y capacidad de los procesos mentales; la acumulación de experiencias y conocimientos particulares y específicos; y la construcción de estructuras cognoscitivas cualitativamente novedosas como las que Piaget describió. Estos tres mecanismos suponen la actividad del niño mediada socioculturalmente, y a la vez condicionada por una especie de "reloj biológico de la maduración cerebral". Para la comprensión del carácter indispensable de la mediación sociocultural ha sido decisivo el redescubrimiento de Vygotsky, otro de los grandes estudiosos de la psicología infantil, como veremos en el siguiente

capítulo.

Hemos presentado algunos elementos de la teoría piagetiana esenciales para comprender la propuesta de este libro para educar el pensamiento lógico y científico de nuestros estudiantes, a saber: los conceptos de conflicto cognitivo y de operaciones formales. En la sección 4.1 especificamos las diferentes conductas cognoscitivas que en la teoría piagetiana reciben la denominación de esquemas operatorios formales, relacionándolas con las competencias científicas que se definen en los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales expedidos por el Ministerio de Educación Nacional (2004), completando así nuestra presentación sintética de las partes pertinentes de la teoría piagetiana.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

Piaget redactó, solo o en colaboración con otros autores, alrededor de 700 publicaciones, contando libros y artículos en revistas científicas; entre los primeros, que pasan de un centenar, firmó como único autor una tercera parte de ellos. Pero afortunadamente no es necesario haber “asimilado” (para usar uno de sus conceptos favoritos) esta enorme producción intelectual para comprender lo esencial de los resultados empíricos obtenidos por su amplísimo equipo de colaboradores bajo su dirección, y que de algún modo deben formar parte del conocimiento profesional de los educadores. Pues en algunas piezas de su producción bibliográfica el mismo Piaget se preocupó por hacerles accesibles sus hallazgos psicológicos más relevantes para la educación, en particular la infantil y la primaria. Nos referimos especialmente a los dos únicos libros que publicó en vida, dedicados a reflexionar sobre las implicaciones para la educación de sus trabajos en psicología, titulados Psicología y pedagogía y A dónde va la educación, reseñados al final. En esta categoría incluimos también la recopilación de artículos cortos publicados en sitios dispersos: De la pedagogía.

•Piaget, J. (1974) . A dónde va la educación . Barcelona: Teide. Orig.: Ou va l’Education , Unesco, 1972.

El libro reúne dos publicaciones anteriores. La primera, “El derecho a la educación en el mundo actual”, es un extenso comentario al artículo 26 de la Declaración Universal de los Derechos del Hombre, publicado en 1948. La segunda publicación, de 1971, le presta su título al libro; fue encargada por la Comisión Internacional sobre el Desarrollo de la Educación, organismo dependiente de la Unesco. En conjunto, ambas partes exponen la visión de lo que según Piaget debe ser la educación, en especial la infantil. En este sentido, esta obra constituye una lúcida defensa de la “escuela activa”, a partir de una síntesis muy comprensible de sus principales hallazgos sobre la formación de la lógica en el niño. Ilustra los principios, objetivos, contenidos y métodos de la escuela activa con la enseñanza de la matemática y de las ciencias.

•Piaget, J. (1999) . De la pedagogía. Buenos Aires: Paidós. (Orig.: De la pédagogie, 1998).

Esta reedición de 16 artículos cortos de Piaget ya publicados entre 1930 y 1977 pero muy poco accesibles (más un trabajo inédito) muestra la “preocupación activa” de Piaget por las problemáticas educativas, que le llevó a involucrarse en el mejoramiento de la educación en su país y en el mundo. La mayor parte de los capítulos se ocupan de la educación moral (por ejemplo, los titulados: Los procedimientos de la educación moral, Observaciones psicológicas sobre el autogobierno, ¿Es posible una educación para la paz?, La educación para la libertad, etc.). Si bien es posible considerar algunas de las recomendaciones de Piaget para los educadores como utópicas, originadas en una visión demasiado idealizada del niño, pensamos que es indiscutible su insistencia en que los educadores, especialmente en la educación primaria, requieren un conocimiento profundo de la psicología infantil para que su acción pedagógica sea eficaz.

•Piaget, J. (2001). Psicología y pedagogía. Barcelona: Crítica. Orig.: Psychologie et pédagogie , 1969.

El libro agrupa dos contribuciones de Piaget a la “Enciclopedia Francesa”, de 1935 y 1965. A pesar de la diferencia de época entre ambas fechas y con la nuestra, sorprende la actualidad de las reflexiones de Piaget. Las ideas apenas esbozadas en el libro de 1972 que hemos comentado habían sido expuestas ampliamente en este libro, que recoge el profundo conocimiento del autor sobre la educación en todo el mundo, obtenido como director de la Oficina Internacional de Educación, cargo que desempeñó desde 1929 hasta 1967.

El educador que desee profundizar en la obra de Piaget más allá de las obras señaladas (que en nuestra opinión son las más comprensibles de nuestro autor para los lectores no especialistas en la epistemología y psicología piagetianas),

se encontraría perdido ante un mar de libros muy complejos de entender, pues el estilo de Piaget es muy difícil y sus ideas muy abstractas. Por eso es recomendable acudir a los libros escritos por los especialistas en Piaget que han tratado de interpretarlo y hacerlo más accesible. También es muy grande esta literatura. Hemos seleccionado de entre estos muchos libros algunos que podemos recomendar:

•Gorman, R. M. (1975) . Introducción a Piaget: una guía para maestros . Buenos Aires: Paidós.

En la primera parte se detallan e ilustran visualmente los experimentos clásicos mediante los cuales Piaget descubrió las capacidades de razonamiento de los niños y su peculiar lógica en los niveles educativos de preescolar (pensamiento simbólico, de 2 a 4 años, y pensamiento intuitivo, de 4 a 6 años), luego de primaria (6 a 11 años). Estas capacidades infantiles se contrastan posteriormente con las capacidades de razonamiento hipotético-deductivo, de pensamiento proposicional y otras manifestaciones del pensamiento abstracto (separación de la forma y el contenido en un argumento o en una oración, etc), que se esperan del estudiante de secundaria. En el último capítulo se analizan estos diferentes modos de pensamiento desde el punto de vista de las implicaciones para la educación, también en un lenguaje no especializado y muy comprensible. En este aspecto se enfatiza, no tanto lo que los niños no son capaces de hacer, sino lo que sí son capaces; en cualquier caso, se insiste en la importancia de que el maestro tenga en cuenta la lógica de sus estudiantes en el momento de planificar sus actividades educativas.

•Labinowicz, E. (1998) . Introducción a Piaget: Pensamiento, aprendizaje, enseñanza . México: Addison Wesley Longman. Orig.: The Piaget primer, thinking-learning-teaching , 1982.

Esta obra es un clásico de la literatura divulgativa de la teoría piagetiana del desarrollo cognitivo dirigida a los educadores. Presenta en los primeros ocho

capítulos lo que podría llamarse el “nivel empírico” de la teoría de manera muy didáctica, con la ayuda de cuidadosas ilustraciones gráficas. Es decir, describe detalladamente el comportamiento infantil en las diversas edades ante las tareas piagetianas (en algunos casos trascribiendo verbal y visualmente sus registros en video). Esta presentación está intercalada con discusiones sobre lo esencial de las interpretaciones piagetianas a estos datos, traduciéndolas al lenguaje cotidiano. En efecto, evita al máximo el complicado vocabulario técnico inventado por Piaget, y deja de lado la “superestructura lógico-matemática” mediante la cual Piaget intentó explicar las capacidades de razonamiento abstracto. En los tres últimos capítulos se centra en las implicaciones para la educación de los hallazgos piagetianos sobre la construcción del conocimiento y de las capacidades de razonamiento, ofreciendo recomendaciones probadas en la práctica escolar.

•Shayer, M., & Adey, P. (1986). La ciencia de enseñar ciencias: desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo. Madrid: Narcea. Orig.: (1981). Towards a Science of Science Teaching: Cognitive Development and Curriculum Demand. En esta fundamental y clásica obra se reportan en detalle los métodos y resultados de una extensa serie de investigaciones sobre el nivel de pensamiento formal requerido para comprender los conceptos incluidos en el currículo en ciencias de secundaria en Inglaterra; igualmente, se reporta en extenso el estudio realizado para valorar el nivel piagetiano de desarrollo intelectual de los estudiantes de secundaria ingleses, utilizando muestras representativas (alrededor de unos 14.000 estudiantes con edades entre 10 y 16 años).

CAPÍTULO 3

EL DESARROLLO EN EL AULA DE LA APTITUD PARA PENSAR CIENTÍFICAMENTE

A los niños les gustan los retos.

Les gusta pensar, pero no tienen muchas

oportunidades para hacerlo.

Hablamos mucho de las habilidades de pensamiento

pero no se utilizan. En realidad siempre se vuelve al uso

de los condicionantes que ya se tienen[25].

Retomaremos el fundado cuestionamiento a los modelos didácticos innovadores que enfatizan el pensamiento independiente de los estudiantes que hacen muchos docentes, pues los consideran viables solo para estudiantes sobresalientes (Creemers, 2004, pp. 79, 91). Ahora abordamos de lleno nuestra respuesta práctica a esta objeción, con la propuesta de distinguir entre dos tipos de actividades educativas científicas: las enfocadas hacia el aprendizaje de los contenidos científicos escolares, y las enfocadas hacia el desarrollo de la aptitud para pensar científicamente o 'aptitud científica', para abreviar. Nos referimos, recordémoslo, a las capacidades intelectuales que nos acercan a los modos de razonar típicos en las ciencias, tanto naturales como sociales; a las competencias cognoscitivas que se ponen en juego en el aula de ciencias y en la vida cotidiana cuando pensamos y actuamos como científicos, desde los marcos teóricos abstractos de las ciencias.

Los directivos escolares y los docentes poco o casi nada pueden hacer sobre las causas sociales y económicas del fracaso académico de muchos alumnos en las asignaturas de ciencias, pero hay otras que sí se encuentran de manera clara bajo su influencia, directa o indirecta. Entre estas se encuentra la aptitud científica o, si se quiere, la capacidad de pensamiento científico. Aunque hay muchas caracterizaciones en la literatura psicológica de esta aptitud, en el capítulo anterior hemos presentado la que tomamos como referente para el diseño de la experiencia educativa que queremos compartir, según la cual el pensamiento formal piagetiano constituye el núcleo estructural básico de la aptitud científica. También hemos discutido las evidencias que sugieren que, concebida en estos términos, su formación y consolidación pueden ser afectados por un adecuado nivel de estimulación y de desafíos en el marco de la interacción social con el docente y los compañeros[26].

Antes de proceder a la lectura del capítulo, es importante que el lector reflexione con detenimiento, a la luz de su experiencia profesional y sus conocimientos educativos formales, en torno a la pregunta: ¿Cómo puedo contribuir como docente a desarrollar efectivamente la aptitud para pensar en todos mis alumnos? Después de considerar las variadas dimensiones del problema, podrá dialogar provechosamente con las tesis que planteamos en el capítulo.

Para abreviar, utilizaremos el término ‘currículo cognitivo’ para referirnos concisamente a las experiencias, programas, innovaciones y reformas educativas diseñadas para estimular el progreso de los alumnos en las capacidades cognitivas, aplicables en el contexto escolar habitual dentro de las asignaturas establecidas. En otras palabras, a las propuestas de reestructurar la vida en el aula, haciendo de ella un ambiente que potencie al máximo posible el crecimiento intelectual de todos los alumnos. En este capítulo analizamos los componentes esenciales que cualquier currículo cognitivo debería entrelazar, según la teoría que presentamos en el capítulo anterior:

•Enriquecimiento de los procesos didácticos para el aprendizaje del contenido curricular, de modo que incorporen, exijan y propicien la práctica deliberada del pensamiento en el área curricular respectiva.

•Formación de hábitos de trabajo intelectual y habilidades metacognitivas, o la atención explícita al pensar sobre el pensar.

•Mediación del docente para “intervenir” en los procesos de desarrollo cognitivo, en especial para atender las necesidades de los estudiantes en desventaja por razones de privación cultural o por sus ritmos psicoevolutivos.

Estos componentes del currículo cognitivo no se pueden concebir aisladamente y son complementarios, pero los distinguimos para organizar con mayor claridad el contenido del capítulo. Haremos énfasis en el tercer elemento, deteniéndonos en el concepto de ‘intervención en el desarrollo cognitivo’ (IDC), poco conocido en nuestro ámbito, pero el cual consideramos ingrediente crucial de un currículo cognitivo equitativo. En cambio, la bibliografía relacionada con los otros elementos es muy abundante.

3.1 ENRIQUECIMIENTO DE LOS PROCESOS DIDÁCTICOS

Muchos docentes de ciencias son conscientes de las limitaciones de los modelos didácticos institucionalizados en la mayoría de las aulas, y en los que fueron socializados en su vida estudiantil. Estos modelos, como ha sido dicho hasta la saciedad en innumerables estudios, tienden a privilegiar aprendizajes de bajo nivel intelectual, de hechos y conceptos aislados y de algoritmos para resolver ejercicios estereotipados (ver, por ejemplo, Pozo & Gómez Crespo, 2001, pp. 268-273). Ante este panorama, han surgido diversas propuestas de transformar la cultura escolar y del aula, institucionalizando modelos didácticos alternativos, que tienen en común tomar en serio a los alumnos como pensadores, cuyas ideas merecen ser compartidas, comprendidas y tomadas como el punto de partida para el avance de su comprensión y de sus competencias de resolución de problemas. Los pensadores educativos de todos los tiempos, desde Platón y Aristóteles, pasando por Rousseau, Dewey, etcétera, han puesto este principio como centro de su pensamiento (Bowen & Hobson, 2004). Pero, a diferencia de épocas pasadas, el sistema educativo de nuestra época está obligado a dar este tratamiento a todos los jóvenes, y no solo a los de la élite intelectual y social (Elizondo, 2001; Bruer, 1995).

Los más conocidos de los modelos alternativos en el área de ciencias, en el esquema sintético propuesto por Campanario y Moya (1999), son la enseñanza por descubrimiento, la enseñanza basada en problemas, la enseñanza por proyectos o investigación dirigida, los diversos modelos de cambio conceptual, y los modelos enfocados hacia habilidades metacognitivas (hablaremos de los últimos en el siguiente apartado). Sin que sean excluyentes, existen múltiples divergencias teóricas y prácticas entre estos modelos. Pero exhiben un rasgo común: son intentos de superar la forma de “dictar clase”, en cuyos inconvenientes nos hemos detenido en el capítulo anterior. En todos ellos los alumnos interactúan estrechamente con los sistemas conceptuales de las ciencias, involucrándose activamente en la construcción, validación y aplicación del conocimiento científico. Sin embargo, y llegamos al nudo del argumento sostenido en este capítulo, ¿es suficiente que la dinámica de la clase exija a los estudiantes pensar por su cuenta, sin limitarse a escuchar de modo pasivo al profesor, para que todos ellos desplieguen la aptitud para pensar?

Para responder esta pregunta hemos de insistir en uno de los hallazgos psicopedagógicos más sólidos, al que nos referimos en 2.2.1: en cualquier aula existen amplísimas diferencias en las capacidades, estilos cognitivos, personalidad, motivación, y otras características individuales (Entwistle, 1988). Cualquier docente sabe que hay alumnos de comprensión rápida y hay alumnos que requieren mucho más tiempo, y quizás acercamientos complementarios, para comprender un texto o un concepto. Otras diferencias son más sutiles. Por ejemplo, los "alumnos serialistas" avanzan paso a paso, metódicamente, siguiendo una lógica lineal; en cambio, los "alumnos holísticos" se manejan mediante intuiciones, golpes de vista, saltos imaginativos, cambios súbitos en el enfoque global con el que encaran un problema. Los alumnos ansiosos necesitan un ambiente de aprendizaje predecible, ordenado, estructurado, en el cual los profesores expresen de manera precisa las actividades que se deben realizar. Los alumnos introvertidos funcionan con mucha dificultad en las actividades grupales. Lo más importante, en lo que respecta al currículo en ciencias, se refiere a las diferencias en el ritmo de desarrollo del pensamiento formal o científico. La magnitud de estas diferencias entre los adolescentes de la misma edad, determinada por Shayer y Adey (1986), como expusimos en 2.2.2, sugiere una respuesta negativa a la pregunta planteada en el párrafo anterior.

Es más, estas diferencias indican que un modelo didáctico no tradicional en las asignaturas de ciencias ahondaría las diferencias en rendimiento que se observan en los enfoques tradicionales de ciencias, en cuanto constituiría para los alumnos aventajados una oportunidad de desarrollar todavía más su aptitud intelectual, pero obligaría a los menos aventajados, sumidos en la perplejidad y la confusión, a asumir actitudes defensivas. En consecuencia, para estos últimos los modelos innovadores pueden ser contraproducentes, hasta el punto de deteriorar todavía más la confianza en sí mismos, su autoestima y su interés. En cambio, aquellos estudiantes más avanzados en su pensamiento formal pueden hacer frente con más solvencia a los retos cognitivos planteados cuando el docente sigue un modelo didáctico no tradicional, que por definición son superiores a los planteados en el modelo expositivo. Por ello están en condiciones de aprovechar mucho más la actividad que los alumnos menos adelantados. Los prolongados estudios de Zohar (2004) muestran con detalle este desafío para los modelos didácticos que plantean altas exigencias cognitivas a los alumnos; es decir, las especiales dificultades que representa el manejo de la diversidad en niveles de capacidad cuando se sigue un modelo didáctico no tradicional. De hecho, en la literatura está muy bien documentada la tendencia en los profesores a bajar la demanda cognitiva de las actividades para los estudiantes de bajo rendimiento,

haciendo que aumente todavía más la brecha que los separa de los estudiantes de alto rendimiento (Warburton & Torff, 2005). Así, pues, como resultado lamentable de las buenas intenciones de formar las capacidades intelectuales, se puede producir un retraso todavía mayor de los ya retrasados. Estas observaciones no deben leerse como una defensa del modelo expositivo, el cual es todavía más insensible a las diferencias individuales. Una de las premisas del argumento planteado en estas páginas es que la equidad exige atender a la diversidad de capacidades de los alumnos, en especial cuando se sigue un modelo didáctico no convencional que por esencia es más demandante cognitivamente. Teniendo en cuenta la insistencia en la literatura educativa sobre la necesidad de ir más allá de este modelo no diremos más al respecto, pues nuestro objetivo en este apartado no es llover sobre mojado, sino advertir que tomarse en serio esta necesidad le exige al docente mediar en el desarrollo cognitivo del alumnado, atendiendo a la diversidad de capacidades.

3.2 FORMACIÓN DE HABILIDADES METACOGNITIVAS

La formación de hábitos apropiados de trabajo intelectual es un objetivo educativo importante por sí mismo. La conducta inteligente o productiva exige deliberar sobre los fines y medios más apropiados para obtenerlos, en lugar de dejarse llevar de los impulsos casi inconscientes de satisfacer los objetivos a corto plazo del modo inmediatamente factible. Tal conducta supone diversos hábitos intelectuales: regular la atención y el uso del tiempo, identificar y anticipar problemas u oportunidades, definir jerarquías de metas viables pero exigentes, planificar su logro planteando alternativas de acción y posibles efectos inesperados, ejecutar las acciones previstas reflexivamente, evaluar y revisar lo conseguido, aprender de las equivocaciones y experiencias, etc. Todos estos hábitos de la mente tienen en común el ejercicio del misterioso complejo de facultades intelectuales a las que se refiere el término metacognición, mediante el cual el intelecto puede ser a la vez actor y espectador de su propio desempeño (Baker, 1991; Soto, 2003). De allí que Campanario y Moya (1999) destaquen entre los modelos didácticos innovadores aquellos que enfatizan de manera particular la formación de las habilidades metacognitivas. Pero más que un modelo didáctico estructurado como los otros modelos a los que se refieren estos autores, lo que describen bajo este apartado son algunas técnicas didácticas que permiten un ejercicio explícito de la metacognición: la secuencia predicción-observación-explicación, los diarios de aprendizaje, los mapas conceptuales y la V heurística de Gowin (Novak & Gowin, 1988).

Los hábitos intelectuales como los descritos, y otros semejantes[27], constituyen habilidades de pensamiento que pueden y deben ser objeto de una atención deliberada y explícita en el aula, pues no surgen espontáneamente, y su aprendizaje y utilización requieren esfuerzo. Muchas investigaciones muestran que los humanos tendemos a pensar, con muchísima más frecuencia de la deseable, de maneras conducentes al error; por ejemplo, de forma sesgada (eludimos las evidencias inconsistentes con nuestras creencias pues tendemos a creer lo que queremos creer), precipitada (saltamos a conclusiones sin ponderar los datos), imprecisa, desorganizada, dispersa, difusa (Baron, 2000; Kahneman, 2012; Perkins, 1995). Con todo, la conceptualización de los recursos y estrategias que nos permiten superar estos escollos del pensamiento es objeto de un gran debate en el seno de la comunidad de psicólogos cognitivos,

psicopedagogos y educadores, al igual que las cuestiones relacionadas con las posibilidades y los medios a disposición del docente para contribuir a afianzar hábitos y estrategias de pensamiento adecuados en los estudiantes. Pero en las tres últimas décadas se ha generalizado el consenso de que la enseñanza y práctica de las habilidades metacognitivas no debe separarse de la enseñanza y aprendizaje de los contenidos curriculares (Bruer 1995; Costa 2001; Costa y Kallick, 2000; Zohar, 2004). Es decir, la utilidad de los "cursos para desarrollar el pensamiento", que proliferaron en los años setenta, es más que dudosa, pues sus evaluaciones mostraron que los estudiantes no suelen usar las habilidades aprendidas de manera espontánea, cuando es oportuno[28]. A estas "deficiencias de utilización", como suele llamárselas, se añade el hecho de que, al no estar situada la práctica de esas habilidades en un contexto conceptual rico, complejo y abstracto, sino en contextos cotidianos y concretos, el nivel de desafío involucrado es insuficiente para promover efectivamente su progreso.

La alternativa recomendada desde la década de los noventa a la organización de cursos separados para "enseñar a pensar" es el llamado 'enfoque de infusión' en las asignaturas institucionalizadas en el currículo: proporcionar a los alumnos información sobre las estrategias metacognitivas y permear su práctica deliberada en las asignaturas institucionalizadas en el currículo, utilizando para este efecto los contextos conceptualmente más complejos de las disciplinas formales. De hecho, un aspecto esencial de los modelos didácticos no tradicionales para la enseñanza y aprendizaje de las asignaturas es la inclusión de objetivos procedimentales y actitudinales orientados hacia las capacidades metacognitivas. En el caso de las asignaturas de ciencias naturales esta inclusión es natural, en especial por lo que se refiere a sus aspectos prácticos como la resolución de problemas, los trabajos de laboratorio y los temas transversales. Sin embargo, insistiendo en el argumento del apartado anterior, un "currículo metacognitivo" hace todavía más agudo el desafío de atender equitativamente la diversidad de capacidades intelectuales en el alumnado.

3.3 INTERVENCIÓN EN EL DESARROLLO COGNITIVO

Procedemos en esta sección a abordar el interrogante principal del capítulo: ¿Cómo mediar en el desarrollo cognitivo de los estudiantes, entre otras razones para atender a su diversidad de capacidades? Nos proponemos mostrar que, si se quiere que todos los alumnos puedan estar a la altura de los retos que deben afrontar en un modelo didáctico no tradicional con un enfoque metacognitivo, incluyendo a los estudiantes en desventaja, según el argumento presentado en 3.1 es conveniente organizar dentro de la misma asignatura de ciencias actividades educativas científicas adicionales a las dirigidas al aprendizaje disciplinar, pero específica y expresamente dirigidas a estimular el desarrollo del pensamiento formal o la aptitud científica. Es decir, actividades cuyo fin esencial sea incidir de forma deliberada y metódica en el curso y la dirección del desarrollo cognitivo, en lugar de enseñar conocimientos y habilidades disciplinares. Hacemos énfasis en la necesidad de diferenciar netamente estas actividades de "entrenamiento del cerebro" mediante el abordaje de problemas científicos, de las actividades cuya finalidad primordial es aprender contenidos curriculares. En otras palabras, la tesis básica de nuestro trabajo es que un currículo cognitivo en ciencias debería integrar un tercer elemento complementario al aprendizaje significativo de los conceptos científicos y a la adquisición de hábitos de trabajo intelectual, consistente en actividades para estimular la estructuración cognitiva de los estudiantes. Aunque estas actividades están contextualizadas en las asignaturas científicas, su finalidad esencial es potenciar cualitativamente las capacidades estudiantiles de procesar, interpretar, almacenar y transformar la información, hasta poder construir con solvencia el conocimiento científico.

La tercera componente del currículo cognitivo está constituida entonces por actividades escolares enmarcadas en un contexto científico, que apuntan a efectuar cambios estructurales en la arquitectura cognitiva del estudiante, en su infraestructura mental; es decir, actividades de Intervención en el Desarrollo Cognitivo (IDC)[29]. Para explicar este concepto, describiremos con cierto detalle el ejemplo más conocido de IDC, a saber: el programa Enriquecimiento Instrumental, diseñado por un equipo de psicólogos y educadores israelíes dirigido por Reuven Feuerstein[30]. Por lo demás, este programa fue uno de los inspiradores del programa Thinking Science, el conjunto de actividades de IDC enmarcadas en las asignaturas de ciencias de la básica secundaria que satisfacen

los tres criterios que señalamos en la Introducción de este libro: un adecuado sustento teórico, su viabilidad en el aula normal, y evidencias empíricas de su eficacia práctica, por lo cual constituyen el principal referente de la experiencia que queremos compartir.

A diferencia del Thinking Science, el enriquecimiento instrumental no fue diseñado para su aplicación en aulas normales por profesores típicos como parte de sus asignaturas, sino como un programa de educación especial, dirigido en sus comienzos a inmigrantes al Estado de Israel provenientes de países del Oriente Medio, que en su infancia carecieron de la estimulación cognitiva requerida para un desarrollo intelectual normal. El programa consiste en un conjunto de pruebas diagnósticas para identificar los procesos mentales específicos que requieren optimización, y de un amplio juego de ejercicios graduados de estimulación y entrenamiento de tales procesos[31]. Muchos años de experiencia con el programa han demostrado que su realización perseverante conduce a un mejoramiento mensurable de las capacidades de los participantes para focalizar su atención y resolver problemas en general. Esta eficacia del programa constituye una evidencia a favor de la modificabilidad estructural cognitiva del ser humano, un concepto clave del modelo psicológico sobre el que se apoyó Feuerstein. La investigación neurológica de las últimas tres décadas permite comprender las bases físicas y biológicas de ese concepto, la plasticidad cerebral, la potencialidad del tejido neural de reconfigurarse anatómica y funcionalmente como resultado de su misma actividad (ver capítulo 2, sección 2.2.1, nota 13).

Feuerstein también recurre al concepto de mediación, uno de los pilares de la psicología de Vygotsky (Baquero, 1999), quien distingue dos formas de interacción entre un individuo y su entorno que contribuyen al desarrollo cognitivo: la interacción directa con los estímulos ambientales, y la interacción social dirigida por un agente mediador, no necesariamente un adulto. Los principales agentes mediadores en la primera infancia son los padres y, a medida que el niño crece, otros adultos, en especial los docentes; pero también desempeñan este papel, quizás no de manera intencional, los compañeros de la misma edad que, por alguna razón, tienen un mayor grado de desarrollo en algún aspecto. Sin embargo, veremos cómo la acción mediadora de los compañeros más avanzados es fundamental para la IDC en las asignaturas normales en el modelo Thinking Science.

Un aspecto del programa de enriquecimiento instrumental que la investigación

destaca como una clave de su éxito es la ausencia de contenidos curriculares en sus materiales y actividades (Adey & Shayer, 1994, p. 47). Pues estas comprenden una variedad de ejercicios de pensamiento verbal y visual que recuerdan las pruebas de razonamiento abstracto y otros similares. El contexto o el tema de los problemas, aquello sobre lo que se razona, se toma del conocimiento común o cotidiano. La explicación de esta ausencia de conceptos disciplinares es doble: se evita la ansiedad del estudiante con un historial de bajo rendimiento académico, y se le ayuda a mantener enfocada su atención y su esfuerzo hacia el objetivo de ejercitar al máximo las funciones mentales deficientes. En efecto, el empleo de materiales libres de carga curricular evita la sobrecarga de la limitada memoria de trabajo de los estudiantes (ver 2.2.1); así se pueden concentrar, al igual que su profesor, en la calidad de su razonamiento sin dificultades adicionales causadas por el tema sobre el cual trabajan y por las exigencias de la evaluación académica.

Empíricamente Feuerstein concluyó que la duración de la intervención debe ser de al menos dos años, con una intensidad de unas cinco horas por semana, si se quiere que su efecto acumulado sea un enriquecimiento verdaderamente instrumental; es decir, que produzca una mejora significativa y permanente de los instrumentos del pensamiento o los procesos cognitivos básicos aplicables en cualquier dominio. Este hallazgo es consistente con los obtenidos en otros procesos de IDC cuyas evaluaciones han mostrado efectos de una modificación estructural o a largo plazo en las competencias cognitivas, como el programa “Filosofía para niños” de M. Lipman (Nickerson et al., 1994).

El objetivo del programa de Feuerstein es remediar deficiencias básicas en el procesamiento de información de estudiantes con necesidades educativas especiales. El grupo de Shayer, después de estudiar en detalle este programa y replicarlo a pequeña escala en una institución de educación especial de Inglaterra a comienzos de los ochenta, concluyó que no era adecuado para hacer avanzar a los preadolescentes, en el rango medio de capacidades, hacia las capacidades de pensamiento científico requeridas por el currículo de secundaria[32] (Adey & Shayer, 1994, p. 48). La causa fundamental de esta inadecuación es que el nivel de demanda cognitiva planteado por actividades contextualizadas en el conocimiento cotidiano no excede el pensamiento concreto. Es por ello que se pusieron en la tarea de diseñar actividades de IDC contextualizadas en temas de ciencias, con el objetivo de contribuir a nivelar a los estudiantes en desventaja. Sus estudios habían mostrado una clara correlación entre el rendimiento escolar y los puntajes obtenidos en las baterías diseñadas para valorar el desarrollo

cognitivo, las tareas de razonamiento científico. En consecuencia, el objetivo de las actividades, denominadas en conjunto Thinking Science, es el desarrollo de los diferentes aspectos del pensamiento formal. Se realizan como parte integral de los cursos de ciencias, hacia los once o doce años, cuando el pensamiento formal empieza a emerger. Así, pues, este conjunto de actividades ofrecen una posible respuesta a la pregunta central del capítulo: ¿Cómo contribuir al desarrollo cognitivo de los estudiantes, con vistas a nivelar a los estudiantes más atrasados con los más avanzados?

Para cumplir esta finalidad, las actividades se imparten adaptando lo esencial del modelo del enriquecimiento instrumental a las asignaturas de ciencias. Nos referimos al énfasis en el ejercicio del pensamiento científico, dejando de lado por un momento el cubrimiento de los temas disciplinares. Pues una mediación exitosa en el desarrollo cognitivo debe enfocar la atención de los alumnos sobre sus razonamientos, sobre las estrategias seguidas para resolver el problema, y no tanto sobre los contenidos de las tareas. Esto supone que el objetivo educativo perseguido en actividades enfocadas hacia el desarrollo intelectual sea precisamente este desarrollo, no el enseñar conceptos específicos. Es fácil que la atención prestada por el alumno al contenido de las tareas inhiba la atención a la calidad de los procesos mentales y la exploración libre de posibilidades, no solo por la limitada capacidad de procesar información sino por la perspectiva de la evaluación académica del aprendizaje de contenidos. También para el docente es complicado afrontar en paralelo la enseñanza del contenido y la exigente manera de conducir la clase para propiciar cambios estructurales en los estudiantes. En suma, el principio subrayado en este párrafo es el sustento del modelo de currículo cognitivo que proponemos, pues permite comprender la razón de diferenciar las actividades para el aprendizaje de los contenidos de las actividades de mediación en el desarrollo cognitivo.

Antes de describir las características de las actividades Thinking Science, veamos otras condiciones que ha de tener la componente de intervención de un currículo cognitivo. Para que las actividades de IDC integradas en un curso establecido sean viables desde el punto de vista práctico deben motivar a los estudiantes más avanzados, contribuyendo a su desarrollo ulterior, sin limitarse a impulsar solo a los menos avanzados. Satisfacer a la vez ambas exigencias: por una parte enganchar cognitivamente tanto a los alumnos de baja capacidad actual como a los de alta, y por otra promover el desarrollo, en especial de los primeros, requiere enfrentar retos intelectuales apropiados mediante un trabajo en equipos heterogéneos. Es decir, mediante equipos integrados por estudiantes

que han alcanzado un mayor nivel, junto con estudiantes que están todavía más atrás —actuando los primeros como agentes mediadores en el desarrollo cognitivo de los segundos, en el sentido que dimos a la expresión en negrillas cuando describimos el enriquecimiento instrumental—. La selección de los retos o problemas propuestos para el trabajo en grupo es también de importancia crucial: es esencial que sean apropiados para generar una "Zona de Desarrollo Próximo" para los estudiantes de más bajo nivel (en el apéndice de este capítulo hacemos un breve repaso de este crucial concepto vygotskiano). En términos cotidianos, esto significa que el nivel de pensamiento abstracto o formal que las tareas demandan no puede ser tan alto que exceda lo que estos estudiantes pueden lograr trabajando en equipo con los más avanzados, pero los problemas deben constituir para ellos un verdadero reto intelectual.

Volviendo al programa Thinking Science, las siguientes son las principales características de las actividades educativas científicas para promover el desarrollo cognitivo que lo integran:

•Comprenden la realización de tareas de pensamiento cuya demanda cognitiva progresiva ha sido cuidadosamente graduada, complementarias a las tareas dirigidas al aprendizaje de los contenidos curriculares obligatorios, pero situadas en el mismo espacio curricular de una asignatura establecida, en nuestro caso la de ciencias.

•El foco de atención de los alumnos y del profesor durante la realización de las actividades de intervención recae sobre la calidad de las operaciones intelectuales ("lo que importa es pensar", es el lema en estas actividades), no sobre sus contenidos conceptuales (aunque estos coincidan con algunos temas del currículo).

•Los problemas [33] se plantean en un contexto concreto, significativo para los alumnos, relacionado con su propia experiencia o con observaciones de laboratorio hechas en la clase, en lo posible por los mismos alumnos. No obstante, en el último caso el equipamiento y las técnicas de medición son muy sencillas, para que no sean obstáculo al propósito de estimular el pensamiento en

profundidad.

•El docente ejerce un papel de agente mediador del pensamiento de los alumnos, facilitando un conveniente “andamiaje educativo”: estructura el problema y motiva a todos los estudiantes, administra los recursos, y sobre todo interroga hábilmente, evitando dar pistas prematuras. Esta actuación debe estar orientada entonces por lo que el equipo CASE denominó “Pilares de la aceleración cognitiva”: preparación concreta, conflicto cognitivo, construcción, metacognición y conexiones. En la sección 4.2 se discuten estos conceptos, luego de describir en la sección 4.1 las competencias científicas alrededor de las cuales giran las actividades.

•Los alumnos trabajan en equipos formados por estudiantes de diferente capacidad, es decir estudiantes más adelantados con estudiantes que aprenden más lentamente, de modo que se genere una zona de desarrollo próximo entre ellos, como ya se explicó.

•Se promueve y orienta el ejercicio explícito de las habilidades metacognitivas en relación con los procesos de pensamiento realizados en las clases.

•Las temáticas de las actividades de intervención no tienen por qué ser los contenidos curriculares correspondientes a estos grados escolares; sin embargo, aquellas facilitan comprender mejor algunos temas del currículo de difícil comprensión.

•Las actividades de intervención se encuentran espaciadas quincenalmente y se realizan durante dos años lectivos, un período suficiente para que produzcan efectos perdurables en el potencial de aprendizaje de los estudiantes, en sus competencias cognitivas.

En la práctica, el currículo cognitivo propuesto por Shayer y Adey consiste entonces en la sustitución durante dos años —en lo posible cada quince días— de algunas "clases normales" de la asignatura de ciencias (las orientadas hacia los contenidos del currículo oficial) por "clases especiales" orientadas hacia la IDC, que utilizan contextos científicos para los problemas cuyo abordaje estimula el desarrollo intelectual.

Las evaluaciones positivas del enfoque propuesto por el grupo CASE para promover en el aula el desarrollo cognitivo han ido acumulándose tras varias décadas de aplicación en muchísimas instituciones alrededor del mundo; un análisis detenido de las metodologías y resultados de esas evaluaciones permite afirmar que hay evidencias confiables de que en efecto el programa Thinking Science contribuye a mejorar significativamente el desempeño de los estudiantes, no solo en ciencias sino en otras áreas curriculares, como debería suceder si logra su objetivo de promover el desarrollo del pensamiento formal[34].

La experiencia de formación de competencias científicas que queremos dar a conocer mediante este libro constituye una posible manera de llevar a la práctica en nuestro medio educativo las ideas de esta sección. Es obvio que todos los demás enfoques con finalidades semejantes tienen mucho que ofrecer, teniendo cada uno sus pros y sus contras. Corresponde al lector juzgar la adecuación de la misma a su propio estilo docente, y adaptarla a sus concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje, y por supuesto al proyecto educativo de la institución a la que presta sus servicios. De hecho, las actividades diseñadas por el grupo CASE constituyen tan solo modelos o prototipos de actividades de IDC, destinadas a ayudar a los docentes a construir su propio currículo cognitivo, a enriquecer sus prácticas pedagógicas mediante el diseño de sus propias actividades (Adey & Shayer, 1994, p. 158).

Hemos concluido nuestro recuento de los componentes esenciales de un currículo cognitivo. Todos ellos funcionan en la realidad entrelazándose indisolublemente. La tesis del capítulo se resume así: En algunas clases se debe enfatizar, o bien el pensar sobre y con los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales con vistas a su aprendizaje (primer componente del currículo cognitivo), o bien el pensar sobre y con adecuados desafíos intelectuales con vistas al desarrollo intelectual, siendo el contexto de la tarea solo un vehículo para la estimulación cognitiva (tercer componente). En ambos

tipos de clases el docente ha de poner un particular empeño en estimular y dirigir el pensar sobre el pensar de su alumnado (segundo componente). Se han escrito muchos libros donde se trabajan estas ideas con el suficiente detalle para permitir su aplicación en el aula, muchos de los cuales con seguridad conoce el lector. Únicamente en lo que respecta al tercer componente, en el cual la bibliografía es mucho más escasa, hemos elaborado la descripción con mayor detalle en los siguientes capítulos. En el próximo presentamos los objetivos específicos de las unidades Pensar con la Ciencia en términos de las competencias científicas a que apuntan, para ampliar luego la metodología didáctica seguida en las clases especiales dirigidas a su formación.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

Existe una literatura muy abundante que pasa revista a las muchísimas propuestas para promover las competencias cognitivas en la escuela, tanto dedicada por entero al tema como formando parte de los manuales de psicología cognitiva y educativa escritos para los docentes. Entre las obras más representativas se pueden mencionar: Enseñar a pensar: Aspectos de la aptitud intelectual[35] (Nickerson, Perkins & Smith, 1994); Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking (3rd edition) (Costa, 2001); Aprender a pensar, pensar en aprender (Maclure & Davies, 1994). Este último libro recoge diversas evaluaciones independientes sobre los primeros programas más conocidos de enseñanza de aptitudes intelectuales, destacando el famoso programa CoRT, de Edward de Bono), así como un análisis general del campo y una evaluación del estado de las cuestiones debatidas. Las dos últimas obras están más dirigidas a los docentes que a los especialistas en psicología.

Sección 3.1

•Bruer, J. T. (1995). Escuelas para pensar: Una ciencia del aprendizaje en el aula. Barcelona: Paidós.

Ensayo extenso sobre la llamada “revolución cognitiva” en la psicología americana de los años sesenta y setenta y las investigaciones emprendidas para aplicarla en la reforma del sistema educativo en ese país. Destaca especialmente los estudios y propuestas sobre la enseñanza cognitiva de la matemática, las ciencias naturales y la lectoescritura, enfatizando los “atascos mentales” que todos los alumnos necesitan superar. Los análisis minuciosos, tanto teóricos como experimentales, efectuados a tales dificultades son muy útiles para los docentes.

•Zohar, A. (2004). Higher-order Thinking in Science Classrooms: Students' Learning and Teachers' Professional Development. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Presenta las bases teóricas y la implementación de un proyecto de construcción y evaluación de un currículo cognitivo en ciencias usando el enfoque de infusión, denominado Thinking in Science Classrooms (1993-1998), que se llevó a cabo en la Universidad Hebrea de Jerusalén. El proyecto también comprendió el trabajo de formación continuada con los docentes que aplicaron el currículo, y la investigación sobre su pensamiento con respecto a las dificultades especiales que enfrentan los estudiantes lentos.

•Zubiría, M., & Zubiría, J. (1999) . Fundamentos de pedagogía conceptual, 3a. ed. Bogotá: Plaza & Janés.

Fundamenta teóricamente el currículo cognitivo de ciencias sociales de primaria construido por los autores a lo largo de varias décadas de trabajo en el contexto colombiano, y que enfatiza la práctica del pensamiento por los niños como vía indispensable para la construcción de conceptos. La estructura conceptual en psicología y pedagogía que elaboran suministra a los docentes muchas ideas útiles para enriquecer su currículo.

Sección 3.2

•Costa, A., & Kallick, B. (eds.) (2000). Discovering and Exploring Habits of Mind . Alexandria (Virginia): Association for Supervision and Curriculum Development.

Una serie de libros de tamaño reducido que fundamenta y describe una interesante propuesta didáctica transversal para desarrollar un conjunto de actitudes, disposiciones y valores que los autores llaman “hábitos de la mente”: persistencia, dominio de los impulsos, disposición a escuchar a los demás empáticamente y con comprensión, flexibilidad mental, pensar sobre el pensamiento, precisión, cuestionamiento, etc.

•Soto, C. A. (2003). Metacognición, cambio conceptual y enseñanza de las ciencias . Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

Ofrece un intento para sistematizar la investigación psicológica y educativa sobre la metacognición y sus consecuencias para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, en especial desde la perspectiva del cambio conceptual, considerado como un modelo teórico para describir y explicar dicho aprendizaje.

Sección 3.3

•Adey, P., & Shayer, M. (1994). Really Raising Standards. Cognitive intervention and academic achievement. London: Routledge.

Reporte sistemático de la investigación del grupo CASE que condujo a la construcción y evaluación del concepto de intervención en el desarrollo cognitivo mediante el programa Thinking Science (que hemos traducido “Pensar con la Ciencia”, el nombre de nuestro programa de IDC derivado de aquél, y que describimos en los siguientes capítulos).

•Shayer, M., & Adey, P. (eds.) (2002) . Learning Intelligence: Cognitive Acceleration across the Curriculum from 5 to 15 years . Buckingham: Open University Press.

Colección de reportes de investigación que extienden el alcance de las investigaciones reportadas en la obra anterior a otras asignaturas y edades. Describen entonces el diseño, implementación y evaluación de programas de aceleración cognitiva contextualizados en matemáticas, artes y tecnología, así como en ciencias pero dirigidos a niños de preescolar y primaria. Algunos capítulos del libro estudian las experiencias metacognitivas de los niños y sus habilidades para la comunicación y el trabajo en grupo. El último capítulo, de carácter teórico, muestra la necesidad de integrar las perspectivas de Piaget y Vygotsky.

Las siguientes son referencias más técnicas donde se reporta la evaluación del programa Thinking Science y que están disponibles en traducción al español. La importancia del programa como base de nuestra experiencia nos llevó a referenciar los reportes originales, en inglés, de las evaluaciones realizadas al programa (ver nota 34).

•Adey, P. (1994). Aceleración cognitiva a través de la Enseñanza de la Ciencia. En: Maclure, S., & Davies, P. (comps.), Aprender a pensar, pensar en aprender (pp. 117-133). Barcelona: Gedisa. (Orig.: Learning to Think: thinking to learn, 1991). Trad. D. Zadunaisky.

•Adey, P. (1999) . La ciencia del pensamiento, y las ciencias para el pensamiento: la aceleración cognitiva mediante la educación científica (CASE) . Ginebra (Suiza): Unesco - Oficina Internacional de Educación. Recuperado de http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/publications/innodata/i

APÉNDICE:

CONCEPTO DE ZONA DE DESARROLLO PRÓXIMO DE VYGOTSKY

Una de las debilidades de la teoría de Piaget es su concepción de las relaciones entre el desarrollo cognoscitivo y el aprendizaje escolar; en su teoría el factor fundamental que explica el primero es la actividad constructiva interna del sujeto, que surge de su tendencia al equilibrio con el mundo externo, estando la interacción social subordinada a este factor. En consecuencia, el aprendizaje escolar no influye en el desarrollo intelectual. Esta posición contrasta con la de otro famoso psicólogo del desarrollo intelectual, Vygotsky (1896-1934). Según este autor, y esta posición cada vez gana un mayor respaldo empírico y teórico, los factores sociales, culturales e institucionales no son meros facilitadores del desarrollo, de modo que este igualmente se produciría sin aquellos aunque quizás de forma más lenta. El desarrollo mental es, en esencia, resultado del aprendizaje que tiene lugar socialmente, gracias a la intervención intencional de los adultos y a las interacciones espontáneas con los compañeros (aunque desde luego este aprendizaje es posible por el desarrollo antes alcanzado). Al presente caben pocas dudas de que Piaget subestimó en gran parte la función del aprendizaje intencional y de la mediación social en los procesos psicoevolutivos, por lo que en este aspecto el grupo CASE asumió la posición de Vygotsky: el enriquecimiento y crecimiento en complejidad y potencia de las estructuras cognoscitivas, que Piaget describe como la transición entre el pensamiento concreto y el pensamiento formal, pueden ser estimulados y propiciados mediante actividades educativas escolares diseñadas para este efecto. La propuesta del grupo CASE constituye en su núcleo una apuesta a la posibilidad de contribuir a “acelerar” esa transición, es decir a la posibilidad de incidir en el desarrollo de las estructuras del pensamiento formal a través del aprendizaje mediado. Algunos colaboradores de Piaget exploraron esa posibilidad en experimentos de laboratorio (Inhelder et al., 1974/1975). Fueron estos últimos autores quienes aplicaron el término ‘aceleración’ para describir la estimulación de la transición a un estadio psicoevolutivo superior, y Piaget mismo utiliza el término en el prólogo a esta obra (p. 14 y siguientes). Lo característico de la propuesta del grupo CASE fue el intento de extender estos estudios de laboratorio, realizados con un único “sujeto”, al aula normal en la que se trabaja en simultáneo con una gran cantidad de estudiantes, mediante actividades

realizables por los docentes sin especiales conocimientos psicológicos. Así, pues, para lograr este ambicioso objetivo, el grupo tuvo que ir más allá de las ideas de Piaget, asumiendo a Vygotsky como base del diseño didáctico de tales actividades. Por ese motivo haremos un breve repaso de uno de los conceptos centrales del pensamiento de este autor (Baquero, 1999; Vygotsky, 1984, 2012): la noción de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP).

Este concepto ha permitido realzar la importancia decisiva, en la transformación desde el bebé hasta el adulto, de la interacción social y de la cultura, destacando el papel del lenguaje. Vygotsky considera que la interacción con otros individuos a través del juego, la discusión colectiva, y en especial la enseñanza escolar, es fundamental para la apropiación de las herramientas culturales como el lenguaje, y por consiguiente para el crecimiento mental. A través de la interacción social el niño internaliza las funciones psicológicas superiores, que surgen primero en el "plano intermental" o social (por ejemplo, en medio de un diálogo), para pasar progresivamente al "plano intramental": "La historia del desarrollo de las funciones mentales superiores aparece así como la historia de la transformación de los instrumentos del comportamiento social en instrumentos de la organización psicológica individual" (Vygotsky, como se citó en Ivic, 1994, p. 4). Por ejemplo, "el lenguaje se origina primero como medio de comunicación entre el niño y las personas que lo rodean. Solo después, convertido en lenguaje interno, se transforma en función mental interna que proporciona los medios fundamentales al pensamiento del niño" (Vygotsky, 1984, p. 114).

La acción del medio social como iniciador de los sucesivos avances del sujeto en su estructuración mental queda manifiesta en la distinción entre los niveles de desarrollo efectivo y potencial. Es indiscutible que:

(...) el aprendizaje debe ser congruente con el nivel de desarrollo del niño. No es necesario, en absoluto, proporcionar pruebas para demostrar que solo a cierta edad puede comenzarse a enseñar la gramática, que solo a cierta edad el alumno es capaz de aprender álgebra. Por tanto, podemos tomar tranquilamente como punto de partida el hecho fundamental e incontrovertible de que hay una relación entre determinado nivel de desarrollo y la capacidad potencial de aprendizaje. (Vygotsky, 1984, p. 111)

Sin embargo, para determinar esta relación, prosigue Vygotsky, “no podemos limitarnos a un solo nivel de desarrollo. Hay que determinar al menos dos niveles de desarrollo de un niño. (...) El primero lo denominamos nivel del desarrollo efectivo. Entendemos con ello ese nivel de desarrollo de las funciones psicointelectivas del niño que se ha conseguido como resultado de un específico proceso de desarrollo, ya realizado” (p. 112, cursivas en el original). Los test de inteligencia y de rendimiento se han diseñado para determinar el nivel de desarrollo efectivo, observando la actividad independiente del niño. Pero los resultados obtenidos en estos test, que se cuantifican mediante la edad mental, no indican de modo completo su estado de desarrollo. En efecto, es posible sacar a la luz diferencias sustanciales entre los distintos niños mediante pruebas interactivas, en las que el examinador proporciona al examinado una ayuda al estilo de preguntas socráticas, ejemplos, demostraciones, y en general en forma de diálogo sobre las estrategias requeridas para la resolución del tipo de problemas entre manos. La edad mental a la que corresponden los problemas más difíciles que el niño es capaz de resolver con esa asistencia dialógica determina el nivel de desarrollo potencial. La Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) será entonces la diferencia entre ambas edades mentales. Vygotsky (2012, p. 134) analizó algunos estudios que muestran que el nivel de desarrollo potencial, obtenido mediante el proceso de valoración dinámico descrito, predice mucho mejor el progreso escolar futuro del niño que la valoración estática del nivel de desarrollo ya logrado. En efecto,

(...) el significado esencial [del concepto de ZDP] es que el nivel del niño en el logro de cierta meta, [trabajando] en cooperación con adultos o con pares más capaces, puede predecir su posterior desempeño independiente (...). Esta noción sugiere que la actividad conjunta con compañeros más capaces es esencial para el desarrollo cognitivo y que los niños difieren en su habilidad para sacar partido de esa cooperación. (Van der Veer, 2005, p. 9)

Traduciendo lo anterior al contexto del aprendizaje escolar, la ZDP abarca la distancia entre el nivel de desarrollo efectivo del sujeto (observable gracias a las acciones de resolución de problemas que realiza por su cuenta, trabajando independientemente), y el nivel de desarrollo potencial (determinado por su capacidad de solucionar problemas bajo la guía adulta o en colaboración con

compañeros más capaces). “...la única buena enseñanza es la que se adelanta al desarrollo” (Vygotsky, 1984: 114); es decir, la que contribuye al mismo, en lugar de orientarse hacia una etapa de desarrollo ya realizada. En otro lugar escribe: “la instrucción es buena solamente (...) cuando despierta a la vida las funciones que están en el proceso de madurar o en la zona de desarrollo próximo” (Vygotsky, como se citó en Adey & Shayer, 1994, p. 119). Así, pues, este famoso concepto hace énfasis en el hecho de que las competencias embrionarias se convierten en habilidades efectivas gracias a la mediación del profesor o de los compañeros: “Por mediación de los demás, por mediación del adulto, el niño se entrega a sus actividades. Todo absolutamente en el comportamiento del niño está fundido, arraigado en lo social” (Vygotsky, como se citó en Ivic, 1994, p. 3).

Esta mediación se da en tres planos: el primero consiste en la estructuración y orientación por parte del mediador de la tarea formativa propuesta al estudiante; el segundo se refiere al monitoreo y regulación de los procesos cognitivos mediante los cuales este aborda el desafío intelectual e interioriza las herramientas culturales provistas por el mediador; el tercero es la evaluación de la acción del estudiante gracias a la exteriorización de sus actividades mentales. Este proceso dialógico y bidireccional genera progresivamente cambios en el niño, pues el adulto debe intervenir de acuerdo con el ritmo del niño, haciendo de su actividad una actividad que orienta y regula externamente la actividad propia del niño, y que va disminuyendo a medida que este desarrolla la capacidad de regularse internamente.

En resumen, mediante la noción de la ZDP Vygotsky acentuó la importancia decisiva, para construir los procesos mentales superiores en cada individuo, que tiene el intercambio social, tanto con los pares como de manera destacada con los adultos, como mediadores del proceso que conduce al estudiante desde el nivel actual de competencia a niveles cada vez mayores, en una espiral ascendente. Para ello se requiere que las relaciones interpersonales, la comunicación y el diálogo entre estudiantes y con el profesor favorezcan la interacción entre el sujeto que aprende y el objeto de conocimiento. La importancia de esta mediación social en el crecimiento psicológico es actualmente aceptada sin discusión. Modelos pedagógicos como el “aprendizaje colaborativo” se apoyan en este principio. Así, pues, el trabajo en grupo suele ser un aspecto fundamental de cualquier currículo cognitivo, como hemos explicado en 3.3.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

Pese a su corta vida —en 1919 contrajo tuberculosis—, Vygotsky, “el Mozart de la psicología”, como lo llamó Toulmin, fue un prolífico y polifacético escritor acerca de temas de filosofía, semiótica, psicología, teoría estética, pedagogía, rehabilitación de discapacitados y literatura (Wertsch, 1993, p. 137). Por ello, y porque su pensamiento cobra cada vez mayor vigencia, es considerable la bibliografía en torno a este genio. Los siguientes textos, de quien fuera uno de los más importantes historiadores de la psicología en lengua castellana y uno de los mejores expertos mundiales en la biografía de Vygotsky, ofrecen una fascinante y enriquecedora aproximación biográfica a su pensamiento:

•Blanck, G. (1993) . Vygotsky: El hombre y su causa. En: Moll, L. C. (comp.), Vygotsky y la educación (Orig.: Vygotsky and Education , 1990). Buenos Aires: Aique Editores, pp. 45-74.

En conjunto, los diecisiete trabajos compilados en el libro de Moll brindan una panorámica bastante completa del amplio abanico de investigaciones sobre la educación que se inspiran en la teoría de Vygotsky.

•Blanck, G. (2005) . Prefacio. En: Vigotsky, L. S., Psicología pedagógica: un curso breve . (Orig.: [36] 1926. Trad. Blanck, G.). Buenos Aires: Aique Editores (pp. 15-43).

Partiendo de la premisa de que “se debe conocer a Vygotsky” (p. 17), Blanck se propone en este trabajo deshacer las leyendas que circulan ampliamente sobre su biografiado. En la p. 39 ofrece una especie de guía de lectura de las obras de este autor.

El lector interesado en un estudio sistemático del pensamiento mismo de Vygotsky lo encontrará en el siguiente libro, escrito por uno de los expertos latinoamericanos en este autor:

•Baquero, R. (1999). Vigotsky y el aprendizaje escolar . Buenos Aires: Aique Editores.

Desde luego, la lectura de primera mano de los extensos libros de Vygotsky es muy instructiva y necesaria para los investigadores, pero estando este libro dirigido a los practicantes nos limitaremos a recomendar la lectura del ya mencionado Psicología Pedagógica y del siguiente breve trabajo, uno de sus artículos más accesibles para un lector no especialista (escrito en 1934 pero publicado en ruso en 1956), que constituye un magistral resumen de su pensamiento, y una exposición especialmente esclarecedora del concepto de ZDP:

•Vygotsky, L. S. (1984). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. Infancia y aprendizaje , 27/28 , 105-116. Recuperado de http://dialnet.unirioja.es/servlet/dcfichero_articulo?codigo=668448

El siguiente libro es la traducción al español de una selección y edición póstuma en inglés de varios trabajos especializados de Vygotsky realizada por un equipo de psicólogos vygotskianos de primera línea. Recoge algunas de sus investigaciones originales y presenta los principios básicos de la psicología sociohistórica, como se conoce el marco conceptual propuesto por el equipo de psicólogos que se reunió en torno a nuestro autor y continuó su obra después de su prematura muerte. El capítulo 6 está dedicado a la zona de desarrollo próximo.

•Vygotsky, L. S. (2012). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores . (Orig.: Mind in Society: the Development of Higher Psychological Processes, 1978). (M. Cole, ed.; S. Furió, Trad.). Barcelona: Austral.

CAPÍTULO 4

PENSAR CON LA CIENCIA

"El pensar y el resolver problemas

serán las nuevas habilidades fundamentales

en el siglo XXI"[37]

Procederemos ahora a examinar en detalle las bases teóricas y prácticas del modelo de Intervención en el Desarrollo Cognitivo (IDC) aplicado por el grupo de investigación CASE (Cognitive Acceleration through Science Education, que traducimos como Aceleración Cognitiva mediante la Educación en Ciencias). Este modelo concreta las ideas expuestas en la última sección del capítulo anterior en una colección de actividades formativas del pensamiento científico, que simultáneamente sirven como actividades de intervención para estimular y fortalecer el desarrollo cognitivo y con ello la aptitud científica, en particular con los estudiantes más débiles a nivel cognitivo. Esta propuesta, recordémoslo, constituye el referente de nuestro trabajo exploratorio sobre la viabilidad de contribuir al mejoramiento de las competencias intelectuales de los estudiantes colombianos mediante actividades de esta naturaleza, por lo cual amerita su descripción.

En la primera sección se describen las habilidades o competencias sobre las que se enfocan las diversas actividades. En la segunda sección se explican los fundamentos del modelo didáctico que subyacen en las clases especiales dirigidas al fortalecimiento del pensamiento científico. Estos fundamentos fueron denominados por el grupo CASE con la expresión "pilares de la aceleración cognitiva". En la tercera sección presentamos con cierto detalle cómo transcurre una clase típica orientada por el modelo didáctico discutido en la sección previa, y por último describimos el contenido de los materiales escritos que facilitan la implementación del modelo.

4.1 COMPETENCIAS CIENTÍFICAS

En esta sección relacionamos las competencias cognitivas en torno a las cuales se estructuran las unidades, inspiradas en los esquemas o estructuras psicológicas mediante las cuales Piaget caracterizó el pensamiento formal. Es decir, queremos aclarar y ejemplificar el sentido que damos en nuestro trabajo al término ‘competencias científicas’[38], el nombre dado a los “patrones de razonamiento” (reasoning patterns), a los cuales se refieren las unidades Pensar con la Ciencia.

4.1.1 Razonamiento proporcional

Hemos seleccionado la importante competencia científica del razonamiento proporcional, que se destaca de manera particular en la educación secundaria, tanto en ciencias naturales como en matemáticas, y que presenta considerables dificultades para un gran número de adultos (Arons, 1997), y por supuesto para todos los estudiantes. Prescindiremos de una discusión erudita del tema, a sabiendas de que la investigación psicológica y en educación matemática le ha dedicado ingentes esfuerzos, para concentrarnos en un tratamiento didáctico, cuyo propósito es que los lectores comprendan a fondo y de forma práctica en qué consiste esta competencia. Partimos de plantear algunas situaciones problemáticas en las que el lector podría verse inmerso con facilidad, cuya cabal resolución requeriría la realización hábil de las operaciones intelectuales integradas en esta competencia científica particular. Para que el lector comprenda en qué consiste la competencia que permite tener éxito en los desafíos cognitivos del tipo que ejemplificamos en la sección, luego de la presentación de cada situación describimos una posible línea de razonamiento que conduce a su resolución efectiva. Pero es conveniente que usted haga el esfuerzo de afrontarla antes de continuar la lectura del texto.

4.1.1.1 Razonando cuantitativamente sobre algunas situaciones comunes

A fin de facilitarle la comprensión del concepto de competencias científicas, le propondremos tres interrogantes referentes a situaciones cotidianas. Es fundamental que usted intente resolver por su cuenta los interrogantes, pero la invitación es a hacerlo mediante razonamientos lógicos explícitos, en lugar de limitarse a hacer conjeturas con base en su intuición o su experiencia. Tampoco se trata de recurrir a la aplicación rutinaria y memorística de fórmulas, que a lo mejor le evocarán estas situaciones problemáticas.

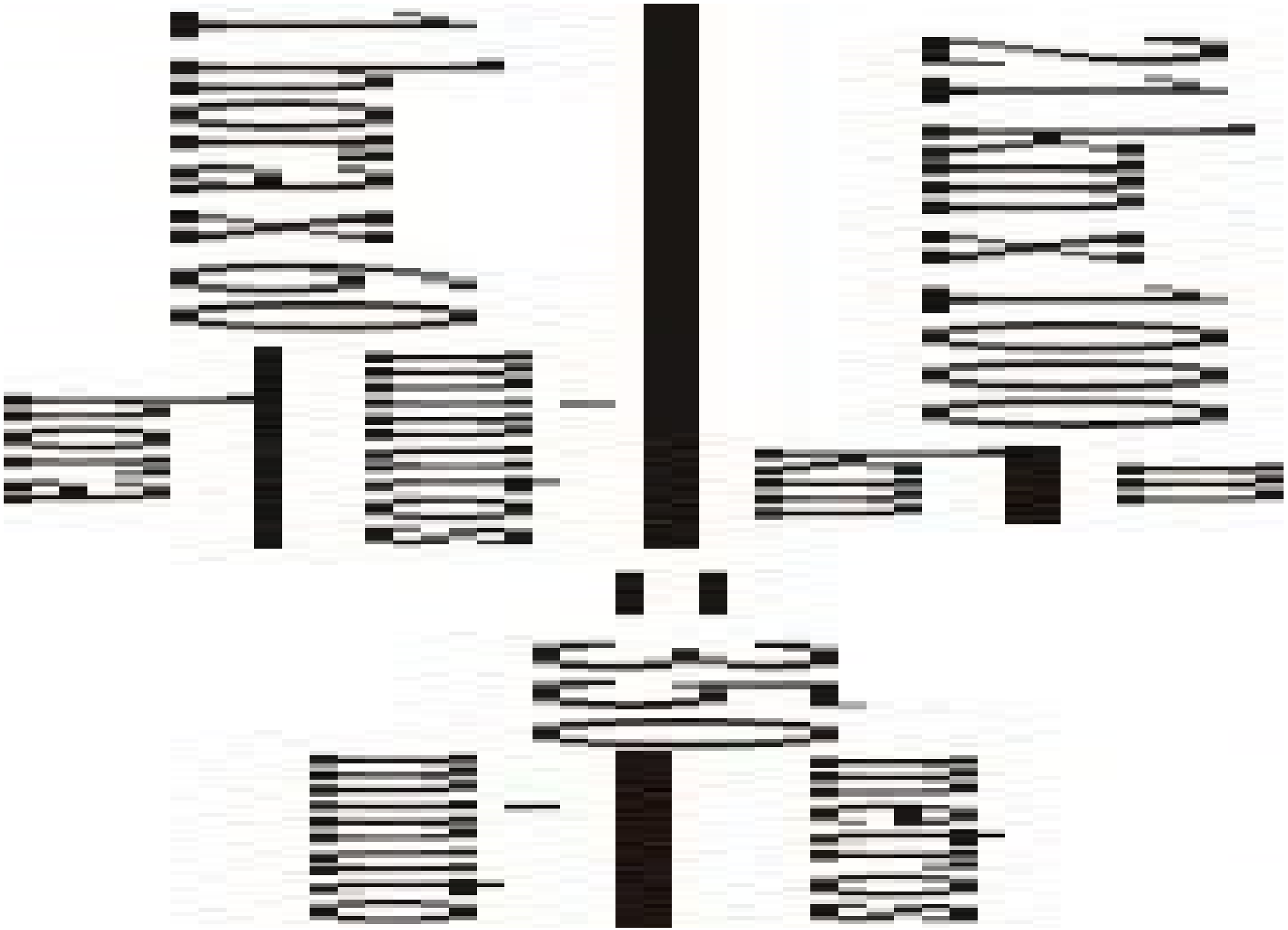
Para comparar el rendimiento de dos automóviles, usted toma nota de cuánta gasolina consume cada uno entre dos llenadas del tanque, así como de los correspondientes kilómetros recorridos. ¿Qué operaciones aritméticas debe efectuar con los números obtenidos?

Como una ayuda para razonar sobre este problema, podría empezar asignando, a las cantidades involucradas, valores inventados por usted, que sean fáciles de manipular. Por ejemplo, podría suponer que recorre 100 km con dos galones de gasolina. Parece evidente que, en tal caso, con un galón recorrería aproximadamente la mitad de los 100 km, o sea 50 km. Este número es el resultado de dividir el total de kilómetros por el total de galones, pues esta operación nos da el número de veces que “cabe” 2, el número de galones, en los cien kilómetros recorridos. Es casi inmediato extender y generalizar el razonamiento para cualquier situación de este tipo. En pocas palabras, para calcular el rendimiento promedio del vehículo basta calcular la razón aritmética o cociente entre el valor particular de la variable kilometraje y el correspondiente valor de la variable galones consumidos. Desde luego, la primera variable figura como numerador y la segunda como denominador. El significado de esta razón, expresado en palabras, es el número aproximado de kilómetros que se recorren consumiendo un único galón. Observe que el número obtenido tiene las dimensiones de km/galón. Así, pues, la comparación entre tales razones, para diferentes vehículos, nos sirve como indicador del vehículo cuyo rendimiento es mayor, por cuanto nos informa cuál recorre una mayor distancia por unidad de

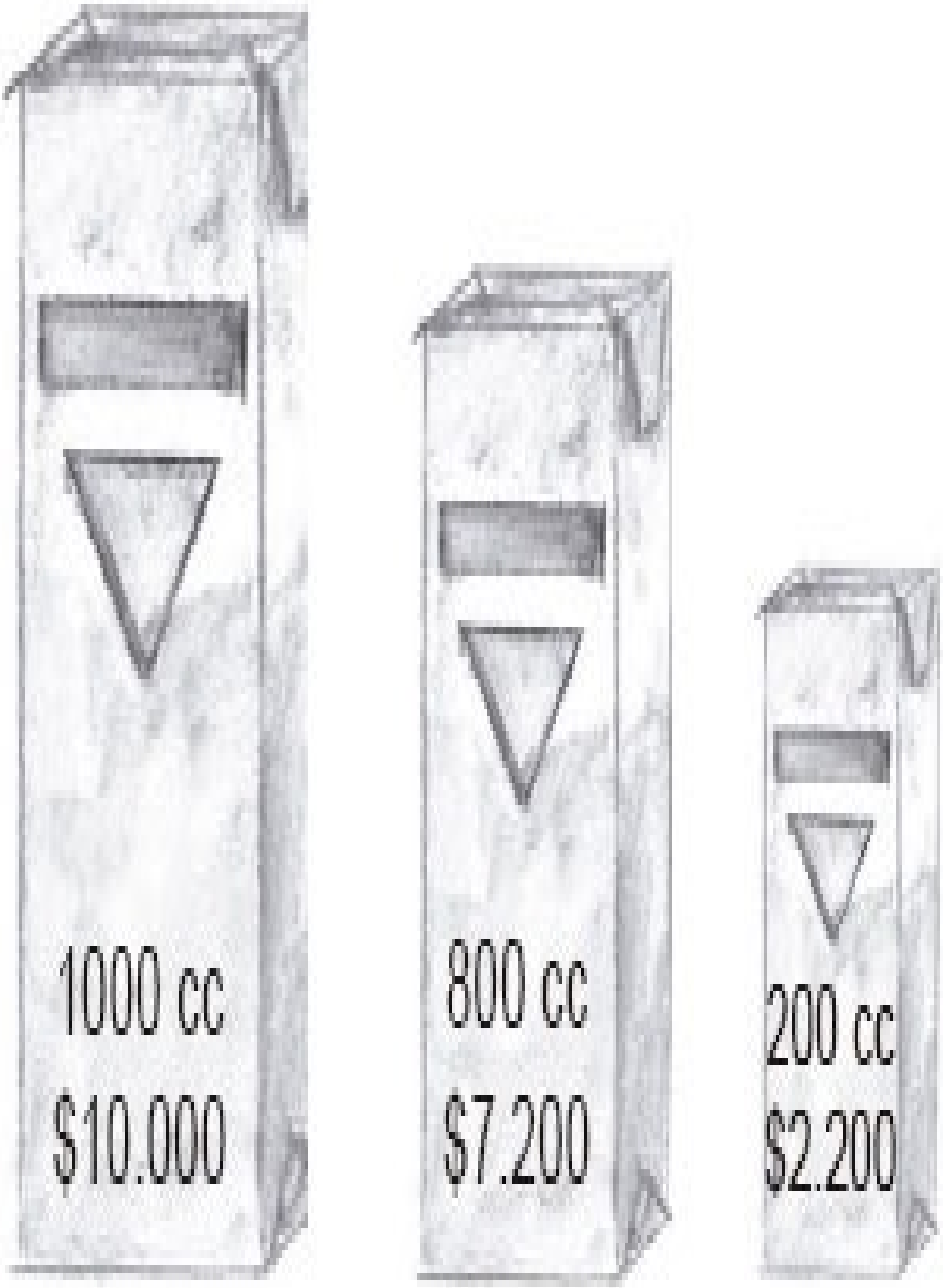
combustible consumido.

Suponga que usted va a correr un maratón, y se ha propuesto hacer un tiempo de 2 horas en los 42 kilómetros de la carrera. ¿Qué distancia debe recorrer, en promedio, cada minuto?

Esta situación es muy similar. Lo que cambia es el significado de los datos. Debe intentar recorrer 21 kilómetros en cada hora de carrera. Esto equivale a recorrer en promedio, cada minuto, 350 metros, puesto que este es el resultado de la siguiente operación aritmética con los valores asumidos para nuestras variables, incluyendo las dimensiones asociadas a los mismos y los factores de conversión respectivos:



Imagine que se encuentra de compras. Tiene ante usted, en la estantería, las tres presentaciones de un mismo producto que aparecen en la ilustración. ¿Cuál es la compra más favorable?


1000 cc
$10.000
800 cc
$7.200
200 cc
$2.200

Quizás la primera manera que se le podría ocurrir de abordar con rigurosidad el interrogante es hacer comparaciones entre los diferentes pares de presentaciones. Por ejemplo, podría observar que la segunda presentación le brinda una cantidad del producto equivalente a cuatro quintas partes de la brindada por la primera. Si el precio de la segunda fuera también 4/5 partes del precio de la primera, a saber: $8.000 = $10.000 x (800 cc/1.000 cc), los costos de la unidad de volumen serían idénticos en ambos casos. Sin embargo, el precio del segundo es menor ($7.200), por lo que la segunda presentación es más favorable. De la misma manera, es fácil apreciar que la cantidad de producto ofrecida por la tercera presentación es la cuarta parte de la cantidad ofrecida por la segunda, pero su precio es mayor que $1.800, la cuarta parte del precio de esta. En conclusión, la segunda presentación es la más favorable de las tres, teniendo en cuenta la proporción entre las cantidades de producto y de los precios.

Otra forma de razonar sobre el problema, similar a la seguida en los dos primeros problemas, sería calcular la razón entre el precio (numerador) y el volumen para cada presentación (denominador). En efecto, tales cocientes nos señalan el precio de una unidad de volumen del producto. Los valores correspondientes a las tres presentaciones son $10.000/1.000 cc, $7.200/800 cc y $2.200/200 cc, a saber $10/cc, $9/cc y $11/cc. Ordenando estos números de menor a mayor sabremos entonces cómo se comparan los precios de cada centímetro cúbico del producto, para las tres presentaciones. Así, pues, la segunda tiene la razón precio/cantidad de producto más favorable, la primera la siguiente, y por último la tercera. Este método tiene la ventaja sobre el anterior de que nos permite ordenar las presentaciones dadas según el precio efectivo de una cierta cantidad constante de producto.

4.1.1.2 ¿Qué tienen en común los razonamientos efectuados en las situaciones propuestas?

Lo invitamos ahora a reflexionar acerca de los razonamientos que hemos tratado de explicitar verbalmente, con vistas a responderse la pregunta que encabeza este apartado. Si bien hay diferencias patentes entre ellos, también llaman la atención las semejanzas. En efecto, es posible discernir una misma estructura lógica subyacente en ellos, a pesar de sus diferentes contextos. En cada uno de los tres problemas planteados es preciso manipular un par de variables numéricas, cuyos valores son dados en su enunciado: (distancia recorrida por el auto, cantidad de combustible consumido); (distancia recorrida por el corredor, tiempo transcurrido); (precio, cantidad de producto). Ambas variables en cada par se pueden ver como "cantidad de algo" (longitud, combustible, tiempo, dinero, producto). Estas cantidades son aditivas, en el sentido en que, por ejemplo, una distancia se puede subdividir en partes (segmentos), cuyas longitudes suman en total la longitud del todo que conforman. Además, los pares de variables asociadas a cada situación constituyen magnitudes relacionadas entre sí: mientras más tengamos de una tendremos más de la otra. Ahora bien, esta afirmación se debe precisar. Pues podría ocurrir que, al duplicar una de las variables, la variable relacionada se cuadruplicara, digamos por caso. Pero, en una primera aproximación, podríamos suponer, a modo de "hipótesis de trabajo", que en las situaciones discutidas la relación es de "proporcionalidad directa": al duplicar una variable, la otra también se duplica (o si una se multiplica por cualquier factor, la otra se multiplica por el mismo factor)[39]. En términos matemáticos, cuanto sucede de esta manera decimos que una variable es "función lineal" de la otra. Es decir, la relación entre ambas variables se puede mostrar de forma gráfica en el plano cartesiano, mediante una línea recta que cruza el origen de coordenadas. Por ejemplo, en la primera situación podríamos representar cómo varía la distancia recorrida en función del combustible consumido trazando la línea recta inclinada de la Figura 4.1.

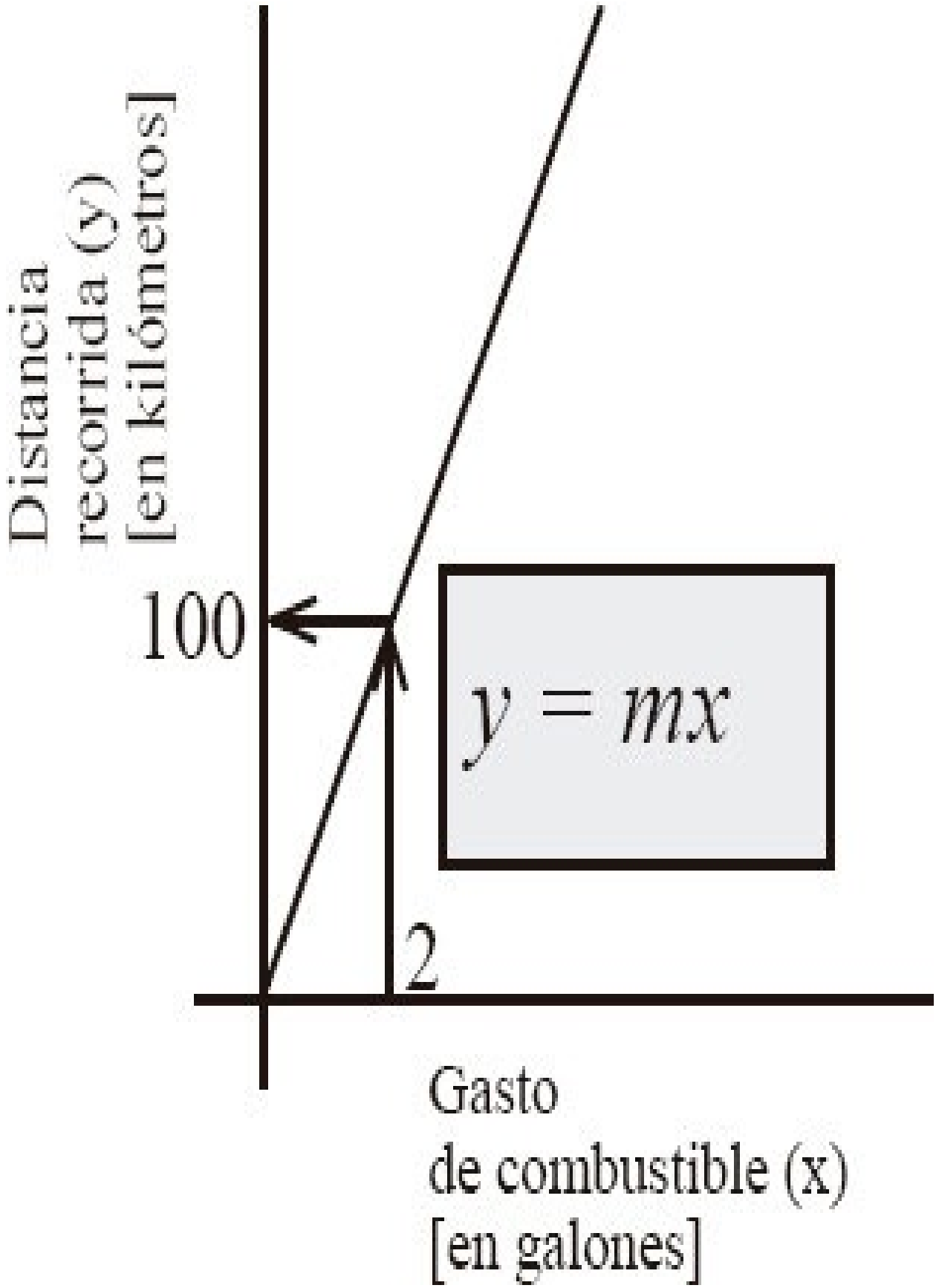

Distancia
recorrida (y)
[en kilómetros]
100
$y = mx$
2
Gasto
de combustible (x)
[en galones]

Figura 4.1. Representación gráfica de la relación de proporcionalidad entre dos variables

En el eje horizontal, o eje de las abscisas, se representan los valores de la variable x “Gasto de combustible”; en el eje vertical, o eje de las ordenadas, se representan los valores de la variable y “Distancia recorrida”. Los puntos de esa recta permiten obtener el valor correspondiente de la variable y para cada valor de x, asumiendo que las variables son en efecto directamente proporcionales. El recuadro dentro de la figura contiene la ecuación algebraica representada en la recta inclinada. La constante m, la pendiente de la recta (o coeficiente de proporcionalidad), es el número fijo por el cual se debe multiplicar cada valor de x para obtener el correspondiente valor de y. En nuestro ejemplo esta constante o razón tiene el valor 50 km/galón, el kilometraje promedio recorrido con un (1) galón de combustible. En el ejemplo del maratonista, la constante m, si se define como la razón distancia recorrida (y) a tiempo empleado (x), tendrá el valor de 350 metros/minuto, equivalente a la distancia que debe recorrer, por término medio, en cada minuto. Por último, en este lenguaje matemático de la proporcionalidad directa, el razonamiento que realizamos para resolver cuál era la presentación más favorable en el ejemplo de la compra podría reformularse de varias maneras. Por ejemplo, podríamos razonar que, si la cantidad de producto fuera directamente proporcional al precio, las razones precio a volumen para cada presentación deberían ser iguales, en cuyo caso todas las presentaciones serían equivalentes en lo que respecta a la relación precio-cantidad. Dado que no es este el caso, como observamos en la segunda argumentación presentada, concluimos que no hay relación de proporcionalidad directa entre ambas variables. Sin embargo, la resolución del problema según esa línea de razonamiento involucra el cálculo de las tres razones, que nos permiten determinar si se conserva la misma PROPORCIÓN entre precio y cantidad del producto para las tres presentaciones dadas.

En suma, los razonamientos que nos condujeron a la resolución rigurosa de los interrogantes planteados en las tres situaciones se pueden esquematizar de manera muy similar, en cuanto a su forma deductiva subyacente, a su estructura lógica. En todos ellos se supone la existencia de una relación matemática de proporcionalidad directa entre las variables observables pertinentes. Es posible

que no seamos conscientes de esta suposición, pero los argumentos planteados no tendrían sentido lógico si no se hiciera, al menos implícitamente. Es importante recalcar que se hace solo a título de hipótesis de discusión, sin que necesitemos creer que de hecho se verifica. Desde esta premisa la razón entre los valores dados de las variables de cantidad directamente medibles (longitud, tiempo, consumo de combustible, etc.) se puede interpretar como un coeficiente de proporcionalidad: un nuevo número derivado a partir de tales valores, que ya no constituye el valor variable de las variables respectivas, sino un factor constante por el cual se debe multiplicar cada posible valor de la variable independiente para calcular el valor asociado de la variable dependiente. En los dos primeros ejemplos, este coeficiente o cociente nos brinda de inmediato la respuesta al problema, si se interpreta adecuadamente, teniendo en cuenta la naturaleza de las variables en el numerador y el denominador. En el tercero, la comparación de los tres coeficientes de proporcionalidad, uno para cada objeto analizado, nos suministra la respuesta.

4.1.2 Noción general de “esquema operatorio formal” y de competencia científica

La teoría de Piaget del pensamiento formal constituye un esfuerzo por clasificar y explicar los tipos más generales de razonamiento lógico avanzado que son la base de la aptitud científica. Gran parte de sus extensas investigaciones con niños y adolescentes tuvo como objetivo caracterizar sus conductas y explicaciones típicas ante una serie de problemas similares a los enfrentados a lo largo de la historia del pensamiento científico. Así se puede comprobar al repasar las situaciones utilizadas en los estudios descritos minuciosamente en una de sus obras más conocidas (Inhelder & Piaget, 1972). En este libro se caracterizan las pautas de razonamiento científico en términos de un conjunto de “esquemas operatorios formales”. Las operaciones mentales, en el sentido piagetiano del término, son como las unidades más pequeñas en que se puede descomponer todo proceso de raciocinio, a modo de acciones internas de manipulación de imágenes o ideas. En cada operación se pueden distinguir conceptualmente dos aspectos, aunque en la vida mental son en realidad inseparables: el contenido de la operación, y la estructura lógica de la operación. Los razonamientos de 4.1.1.1 constituyen distintos ejemplos de un razonamiento del mismo tipo, que se suele llamar razonamiento proporcional. Lo que los distingue son sus contenidos específicos, lo que podríamos llamar la “materia” sobre la cual razonamos. Pero lo que los hace semejantes es su estructura lógica subyacente, su “forma”. Esta es, por decirlo de alguna manera, “aquello que queda del razonamiento” después de despojarlo de las particularidades específicas del problema. Es decir, lo común a todos los razonamientos que comparten los rasgos discutidos en 4.1.1.2, independiente de la naturaleza de las variables en juego y de las causas que explican su relación de proporcionalidad.

Muchos otros razonamientos, en especial los que se presentan en contextos científicos, siguen el mismo patrón esquemático que describimos en el anterior apartado. Por razones que a estas alturas no deben requerir muchas explicaciones, este patrón recibe el nombre de “esquema de proporcionalidad”. Se trata de uno de los denominados por Piaget “esquemas operatorios formales”, las diferentes estructuras cognoscitivas subyacentes a los procesos psicológicos de deducción lógica rigurosa, las distintas pautas que puede seguir un razonamiento formalmente correcto (es decir, independientemente de la verdad

de sus premisas y haciendo abstracción de su contenido)[40]. Inhelder y Piaget (1972) identificaron y describieron otros esquemas operatorios formales, así como su progresiva aparición e integración en el adolescente. Por ejemplo, los esquemas “control de variables”, “combinación” y “correlación”. Solicitamos al lector que encuentre demasiado esotéricas las palabras que hemos puesto entre comillas un poco de paciencia, pues en la siguiente sección (4.1.3) explicamos estos conceptos. Todas estas formas generales de raciocinio lógico también tienen una importancia decisiva en la comprensión de los conceptos, enunciados e inferencias científicas, por lo cual la capacidad para utilizar de manera apropiada cada uno de ellos en diversos contextos da lugar a otras tantas capacidades o competencias científicas, como veremos enseguida.

Ahora bien, las personas difieren mucho en su potencialidad para razonar de modo adecuado en las situaciones del tipo descrito en estas páginas. Hablamos de potencialidad porque con frecuencia el desempeño (o actuación) del individuo, aquí y ahora, en los problemas de razonamiento está por debajo de su capacidad subyacente, o su competencia. Así, pues, es claro el contraste entre la actuación o, lo que es equivalente, el desempeño, que depende estrechamente de las circunstancias cambiantes del momento, y la competencia, que es relativamente estable. No basta disponer de los esquemas formales en nuestra estructura cognitiva para efectuar procesos formales de pensamiento, sino que es necesario además que el problema que enfrentamos sea significativo para nosotros; es decir, la situación concreta en que nos encontramos ha de tener suficientes rasgos familiares como para entender que hay un problema por resolver y para darnos cuenta, luego de considerarlo y de ensayar diversas vías de solución, que hemos llegado a una respuesta más o menos satisfactoria. La significatividad del problema también implica que la situación genera la suficiente motivación para esforzarse en el proceso de enfrentar el reto cognitivo al máximo de competencia. Por todo lo dicho, es muy frecuente entonces que la actuación ante una situación desafiante esté por debajo del potencial para enfrentarla con éxito.

Cabe entonces describir las diferencias entre las personas con respecto a la capacidad subyacente para resolver problemas que exigen la aplicación del esquema de proporcionalidad como diferencias en la competencia científica del razonamiento proporcional. El adjetivo ‘científica’ hace referencia a la presencia constante de este tipo de raciocinio en los razonamientos científicos y matemáticos. Así, pues, disponer de una competencia científica, en el sentido que damos al término, supone que en la estructura cognoscitiva del individuo se

han consolidado los esquemas operatorios formales que permiten realizar las operaciones cognitivas características de la competencia. Por ejemplo, el estudiante que tiene el esquema de proporcionalidad está capacitado para comprender conceptos científicos como el de rapidez (distancia recorrida en la unidad de tiempo), densidad (masa de una unidad de volumen), presión (fuerza sobre la unidad de área), concentración (cantidad de soluto que hay en la unidad de volumen de la solución), y un largo etcétera.

Usamos el término ‘competencias científicas’ para los esquemas operatorios formales, aunque Piaget no utilizó este término, en cuanto constituyen diversas capacidades necesarias (aunque no suficientes) para razonar de manera semejante a como lo haría un científico. En el apéndice se presenta la categorización de las mismas que hemos utilizado, siguiendo al grupo CASE, para diseñar el programa Pensar con la Ciencia. Allí intentamos explicar las distintas competencias científicas relacionándolas con algunas de las “acciones de pensamiento y producción concretas” contenidas en los Estándares Básicos de Competencias en las áreas de Matemáticas y de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (MEN, 2004), que orientan el desarrollo curricular de las instituciones según nuestro ordenamiento educativo vigente. Es claro, a partir de la información contenida en la tabla del apéndice, que los esquemas formales describen diferentes aspectos del pensamiento matemático y científico; no obstante, es necesaria una descripción más amplia de estas competencias científicas para ver en toda su dimensión hasta qué punto son necesarias para hacer ciencia y para comprender los contenidos conceptuales de la ciencia. En la siguiente sección procedemos a ampliar o a aclarar sintéticamente la descripción de algunas de estas competencias, dejando para el capítulo 5 dos competencias que tienen una especial importancia en el aprendizaje de la ciencia, a saber: la clasificación y la explicación mediante modelos formales.

4.1.3 Otras competencias científicas

Desde luego, son muchas las competencias científicas, en el sentido que hemos dado a la expresión. Los estudios de Piaget sugieren, sin embargo, que unas pocas capacidades cognitivas superiores o esquemas operatorios formales ocupan un lugar central en la estructura de nuestra inteligencia, pues funcionan a modo de los nudos de una malla o red, cuyo entramado de hilos nos permite atrapar, por así decirlo, los hechos del mundo bajo categorías generales y abstractas. Las investigaciones dirigidas por Piaget han permitido identificar unas cuantas de esas capacidades de amplia aplicabilidad a multitud de problemas, entre las cuales el grupo CASE entresacó algunas (en ciertos casos yendo más allá de la teoría piagetiana), cuyo fortalecimiento podría hacer mucho más perspicaz nuestra red cognitiva e incrementar nuestra aptitud científica. Hemos seleccionado para su discusión en esta sección, entre las competencias escogidas por el grupo CASE, las que creemos necesarias para que los lectores puedan tejer la red conceptual que es objeto de estudio en este libro.

4.1.3.1 Generación sistemática de combinaciones

Usted está preparando una fiesta y ha seleccionado cinco alimentos. Sus invitados pueden elegir tomar uno solo de ellos, o combinar dos alimentos cualesquiera, o si así lo desean pueden elegir tres de ellos, cuatro o incluso los cinco. ¿Cuántos diferentes menús son posibles?

Como siempre, le invitamos a resolver el problema por su cuenta antes de seguir leyendo.

Esperamos que haya comprendido que responder la pregunta no requiere más que un papel e inventar un procedimiento metódico, ordenado y exhaustivo, para ir escribiendo una por una todas las posibilidades sin que ninguna se pase por alto y sin repetirlas, y luego manos a la obra. Pero póngase en los zapatos de un niño de, digamos, doce años. Para él no es tan sencillo comprender en qué consiste el problema, y que luego se le ocurra una estrategia apropiada, y por último efectuar los razonamientos y el conteo involucrados de una manera aritméticamente correcta, hasta llegar a la respuesta (hay 31 menús posibles).

Pues bien, en la teoría de Piaget la capacidad de comprender el problema y de resolverlo con exito constituye una de las habilidades cognitivas que forman el eje alrededor de las cuales se estructura la inteligencia lógico-matemática o hipotético-deductiva, que en su sistema conceptual son otros nombres que recibe el pensamiento formal. Así, pues, aunque no hay muchos problemas en ciencias naturales que requieren la aplicación directa de esta habilidad, aparentemente matemática, brindar la oportunidad continuada de ejercitar las funciones cognitivas superiores en situaciones como la indicada a estudiantes cuyo lóbulo frontal está en pleno proceso de maduración estimula poderosamente su desarrollo intelectual.

Este ejercicio es una de las actividades Pensar con la Ciencia. Pero, recordando lo explicado en 3.3, el objetivo no es aprender las fórmulas combinatorias y obtener la respuesta correcta, sino hacer que los estudiantes piensen en el problema y diseñen grupalmente SU propia estrategia, contando con la mínima ayuda de parte del docente. En nuestra experiencia con esta actividad con

estudiantes de séptimo grado en la ciudad de Cali, que describiremos en el capítulo 7, hemos encontrado en efecto que son pocos los equipos de trabajo que resuelven el problema hasta el final. Pero ¡lo importante es pensar!, es lidiar con el problema, un verdadero desafío intelectual (incluso para un adulto), pero que para alumnos de unos doce años trabajando en equipo genera una verdadera Zona de Desarrollo Próximo.

4.1.3.2 Comprobación sistemática de hipótesis (control de variables)

Imagínese a un artesano y músico que quiere diseñar una zampoña, instrumento de viento formado por tubos de diferentes formas y materiales, sobre los cuales se sopla. Necesita entonces averiguar la relación entre las características de los tubos, como su longitud, grosor y el material del que están hechos, con la nota musical que producen. Primero debe identificar cuál o cuáles de las características que varían entre los diferentes tubos presentes (variables) determinan la nota producida. Para ello prepara una gran cantidad de tubos de diferentes características. Para simplificar el problema supongamos que los construye de dos materiales (pongamos por caso, de madera y de hueso), de dos grosores (anchos y angostos) y de tres longitudes (largos, medianos y cortos). ¿Cómo debería proceder en su experimento?

Hemos puesto en esta situación problemática, convenientemente adaptada, a niños de grados 7o. u 8o., que ya habían participado en actividades de intervención en el desarrollo cognitivo dirigidas a identificar variables y relaciones entre ellas (el capítulo 1 describe la primera de estas actividades). Desde luego, a esta edad no han recibido ninguna instrucción previa sobre el tema (acústica). Los estudiantes se encuentran ante un conjunto de tubos (en este caso metálicos o plásticos), unos gruesos (todos del mismo diámetro, digamos 2 cm) y otros delgados (todos de 1 cm de diámetro); sus longitudes también varían: unos son de 15 cm, otros de 20 cm, y otros de 25 cm. Primero aprenden a producir las notas: basta golpear los tubos contra la palma de la mano por un extremo. Luego se familiarizan con la diversidad de tubos presentes en la colección disponible. Reciben entonces una hoja de trabajo en blanco (Figura 4.2), que deben llenar luego de una discusión entre los integrantes de cada grupo de trabajo, en la que deben decidir cuáles pares de tubos van a tomar para comparar la nota que producen y así identificar la o las variables de las que depende la nota producida (la variable dependiente). A representa un tubo del par y B el otro tubo. En la respectiva fila marcan los valores de las tres variables para cada tubo. Luego de comparar su sonido, en la última columna marcan lo observado.

¿Cuáles podrían ser los tubos seleccionados por sus estudiantes? ¿Qué conclusiones lógicas se pueden establecer del resultado que obtendrían, tanto si el sonido es igual como si es diferente? ¿Cuáles son los tubos que se deben seleccionar, para determinar a ciencia cierta las variables que sí influyen y las variables que no influyen?

La tendencia inicial, el primer impulso de los niños, es tomar un par de tubos lo más distintos posible, por lo que comparan sonidos de tubos que difieren entre sí en más de una variable. Por ejemplo, comparan el sonido de un tubo largo, grueso y metálico con el de un tubo corto, delgado y plástico. Escuchan notas diferentes, y mientras uno de los miembros del equipo concluye por ejemplo que el sonido depende del material (quizás su hipótesis implícita previa), otro concluye que depende del diámetro. Con suerte, el tercero puede darse cuenta de que, al haber cambiado las tres variables, no se puede concluir nada del resultado. La discusión razonada entre ellos, estimulada por el docente, puede llevarles a concluir que solo pueden cambiar una variable en cada comparación para poder deducir del resultado si esa variable influye o no. Ello supone razonar que, digamos por caso, si es el grosor de los tubos lo que modifica el sonido (hipótesis por comprobar), entonces un tubo grueso, largo y metálico debe dar un sonido distinto al de otro tubo delgado, pero del mismo largo y del mismo material. En términos generales, esto significa que “el razonamiento experimental”, o de comprobación sistemática de hipótesis, permite comprender que solo se puede cambiar a la vez una sola variable mientras las otras se dejan constantes, para poder concluir válidamente sobre la influencia de tal variable. Esta comprensión es otra de las características centrales del pensamiento formal, cuya aparición en el niño constituye uno de los hitos principales en su estructuración intelectual.

Tubos		Material		Longitud			Diámetro			Resultado	
		metal	plástico	corto	medio	largo	pequeño	mediano	grande	sonido diferente	mismo sonido
1er. par	A										
	B										
2o. par	A										
	B										
3er. par	A										
	B										
4o. par	A										
	B										

Figura 4.2. Tabla para planificar y recoger los datos de los experimentos en la actividad de los tubos

De nuevo, es preciso aclarar que el objetivo de la actividad descrita no es enseñar los temas del currículo de ciencia, en este caso la experimentación científica. Su objetivo, como el de todas las actividades de Pensar con la Ciencia, es enfrentar a los alumnos con retos que requieren un pensamiento lógico que todavía no está a su pleno alcance (si lo estuviera no representarían ningún reto), pero que ya empieza a estarlo debido a su maduración neuronal. No obstante, la competencia que se pone en juego en esta actividad es esencial en la experimentación científica y figura de manera prominente en los estándares de competencias básicas en ciencias naturales (ver apéndice a este capítulo). En efecto, corresponde al llamado "control de variables", el nombre técnico que la pauta de razonamiento descrita recibe en el diseño experimental. En consecuencia, las muchas actividades Pensar con la Ciencia enfocadas sobre esta competencia tienen una incidencia apreciable en los currículos de ciencias naturales que enfatizan el aprendizaje de habilidades científicas (por ejemplo, los que se agrupan bajo el término "proyectos de aula", tan recomendados por los estándares); no obstante, recordamos que en Pensar con la Ciencia el propósito primordial no es la "enseñanza" del diseño experimental, sino la estimulación del desarrollo intelectual, en especial para los estudiantes más débiles cognitivamente.

En el siguiente capítulo veremos en mayor extensión otras dos competencias científicas muy importantes en las ciencias naturales: la clasificación y la explicación mediante modelos formales. Esperamos que la comprensión de estas dos competencias, junto con las de proporcionalidad, combinaciones y control de variables, le permitan a usted percibir la posibilidad de efectuar actividades educativas explícita y eficazmente orientadas a jalonar el desarrollo intelectual, mientras simultáneamente se orientan en la dirección a la que apuntan los estándares básicos en competencias, no solo en las ciencias naturales sino en todas las demás áreas curriculares. Para no hacernos demasiado extensos no desarrollamos las otras competencias que indicamos en el apéndice, pues nuestro objetivo es solo sugerir caminos accesibles y prácticos para enriquecer de manera significativa su quehacer pedagógico, sin que sea necesario para ello ser

exhaustivos en la descripción del conjunto de actividades modélicas para propiciar el desarrollo intelectual general, agrupadas bajo el nombre Pensar con la Ciencia. Es por eso obligado que en lo restante de este capítulo nos metamos de lleno en la manera en que se estructuran didácticamente las clases dirigidas a tal objetivo.

4.2 PILARES DEL MODELO DIDÁCTICO PARA LAS ACTIVIDADES DE INTERVENCIÓN EN EL DESARROLLO COGNITIVO

A partir de un amplio abanico de elementos teóricos como los presentados hasta aquí, y a la luz de las experiencias obtenidas al comparar enfoques de intervención en el desarrollo cognitivo (IDC) exitosos (por ejemplo, el Enriquecimiento Instrumental de Feuerstein) con otros menos exitosos, el grupo CASE estableció los principios de diseño para las actividades de intervención en el desarrollo cognitivo, que luego fueron puestos a prueba en el aula. Algunos de estos principios fueron enunciados en la sección 3.3. Esta sección se dedica a los principios que el grupo CASE denomina “pilares de la aceleración cognitiva”. Con esta expresión se refieren a los principios prácticos que deben guiar y orientar la actuación del docente durante las sesiones de intervención en el desarrollo cognitivo, de modo que estas tengan de hecho ese carácter, y promuevan eficazmente en sus estudiantes el crecimiento de la capacidad de procesar información y de pensar científicamente. En consecuencia, se trata de los aspectos del diseño de las actividades que especialmente involucran al docente, pues son las claves de su competencia para interactuar con los estudiantes de modo que se genere una zona de desarrollo próximo. Estos pilares son:

•Preparación concreta

•Conflicto cognitivo

•Construcción social

•Metacognición

•Conexiones

Estos términos no describen propiamente la estructura organizativa o secuencial de una clase de intervención (aunque en sus diversas fases, que describiremos en la siguiente sección, predomina uno u otro de algunos de estos elementos), pues constituyen aspectos conceptualmente distinguibles de la intervención cognitiva, subyacentes en todas las clases de este tipo si se quiere que tengan un impacto acumulativo en el desarrollo intelectual de los estudiantes. A continuación explicamos estos principios, pero siguiendo un orden lógico, no tanto cronológico.

Hacia finales de 1970 no parecía que el desarrollo del pensamiento formal pudiera ser promovido y acelerado a través de la educación (Adey, 1999). Los estudios al respecto realizados hasta entonces habían tenido muy poco éxito. No obstante, por lo general habían adoptado un enfoque didáctico a corto plazo y directo, como si se pudiera cambiar la capacidad mental para procesar la información aprendiendo nuevas reglas, o como si las competencias científicas se pudieran enseñar de la misma manera que se enseñan los procedimientos matemáticos como la suma de enteros. Lo erróneo de este enfoque simplista se mostraba no solo por los reiterados fracasos en los programas pioneros de formación del pensamiento formal: los avances de la época en la psicología cognitiva y del desarrollo estaban mostrando que la capacidad de procesamiento del cerebro crece paulatinamente, en respuesta a desafíos intelectuales progresivos y continuados, contando con un adecuado andamiaje social. Estas ideas constituyen los dos pilares centrales de la IDC: el conflicto cognitivo y la construcción social. El primero surge cuando el estudiante afronta un problema significativo para él pero que no es capaz todavía de resolver de forma autónoma, o se ve enfrentado a observaciones contrarias a sus expectativas previas, causando en su mente un estado de perturbación y desequilibrio cognitivo, pero a la vez de atención y esfuerzo mental. La segunda emerge cuando trabaja en el problema en un ambiente colaborativo con sus compañeros, bajo la mediación cuidadosa y estructurada del docente, sin que este sea quien resuelva el problema. Así emerge una ZDP en el espacio social del aula y del problema entre manos, suponiendo que las competencias requeridas para su solución estén al menos en estado embrionario en los estudiantes en desventaja.

Estos dos pilares se refieren entonces al “mecanismo” básico de estimulación del desarrollo cognoscitivo, a la vez individual y social. Pues tal estimulación tiene lugar especialmente a través de los intentos de resolución por parte de los alumnos mismos, trabajando en equipos pequeños, de los conflictos cognitivos que emergen en cada unidad. En efecto, cuando los niños perciben evidencias inexplicables según su actual mentalidad o llegan a conclusiones contradictorias (como vimos en el ejemplo de los tubos), se ven forzados a reestructurar su manera de pensar, siempre y cuando jueguen el papel protagónico en la solución del problema, en la resolución del conflicto cognoscitivo. Así, pues, el propósito esencial de las actividades Pensar con la Ciencia es poner a los alumnos en situaciones de pensamiento que no pueden afrontarse con éxito mediante operaciones concretas, y por consiguiente les estimulen a construir las formales. Sin embargo, para acercarse a una solución del problema a un mayor nivel de pensamiento es preciso que los estudiantes trabajen colaborativamente y que el desafío se encuentre en su ZDP. Ahora bien, para que el intercambio de opiniones y la discusión dentro de cada grupo de trabajo (formados por tres o cuatro estudiantes en lo posible) conduzca con eficacia al planteamiento de explicaciones y justificaciones a un nivel superior de pensamiento —en una palabra, para que se genere una ZDP colectiva en cada grupo—, lo ideal es que los grupos estén conformados de forma heterogénea en cuanto al nivel de desarrollo cognitivo, como dijimos en 3.3. Dicho de otra forma, dentro de los grupos debe haber una especie de intervención compensatoria proporcionada por los compañeros más adelantados a los menos adelantados.

El tercer pilar es el incentivo a la metacognición, a la que nos referimos en la sección 3.2. Recordemos que la metacognición es la reflexión sobre los propios procesos mentales, que se tornan en objeto de cognición. Pero no se reduce al pensar sobre el propio pensamiento, pues también comprende la verbalización de las propias estrategias de resolución de problemas. Podemos incrementar las habilidades de pensamiento solo si tomamos cierto control de nuestra cognición, es decir, si somos conscientes de nosotros mismos como pensadores y de la calidad de nuestro pensar. En las actividades se anima a los estudiantes a que se tomen el tiempo necesario para reflexionar sobre cómo han resuelto un problema, qué les ha resultado difícil, qué tipo de razonamiento han hecho, cómo y qué tipo de ayuda solicitaron. Esto lleva mucho tiempo y es bastante arduo, tanto para el docente como para los alumnos, quienes necesitan mucha ayuda y ánimo para ser más metacognitivos. El docente a cargo de una actividad pedagógica cuyo propósito es desarrollar las competencias intelectuales, como las actividades Pensar con la Ciencia, frecuentemente plantea preguntas como

las siguientes: ¿Cómo llegaron a esa respuesta?; ¿por qué piensan que...?; ¿Cuál fue la parte más difícil o la más fácil de la lección para usted y por qué?

No se puede plantear un problema difícil a los estudiantes y esperar a que el conflicto cognitivo interno y la discusión entre los estudiantes desarrolle sus mentes. Debe haber una fase previa de preparación concreta, en la que se introduzca el lenguaje del problema, al igual que se familiarice a los estudiantes con los equipos e instrumentos que van a utilizar en la práctica. El objetivo es asegurarse de que las dificultades que los estudiantes van a encontrar estén relacionadas únicamente con la demanda lógica del problema, y que no sean debidas a incomprensiones de vocabulario o a la novedad de la situación experimental. Los esquemas operatorios formales que el estudiante posee de modo embrionario pueden operar solo en situaciones problemáticas que sean significativas para la persona. Este requisito esencial supone que el problema abordado en cada actividad pueda ser asimilado por el estudiante mediante sus esquemas operatorios concretos. Por tanto, a lo largo de una clase de intervención deberán darse a los estudiantes abundantes oportunidades, en especial durante la introducción de la misma, para describir y comprender la situación experimental en la que se plantea el problema, empleando términos sencillos, cuya comprensión no supere el nivel de desarrollo alcanzado por la casi totalidad de los estudiantes. Pero el propósito de los momentos de preparación concreta, y en general del trabajo práctico durante la intervención, es proporcionar a los alumnos desafíos cognitivos auténticos. Pero este trabajo práctico no es el fin mismo de la clase[41].

El último pilar es el de conexiones, que consiste en vincular los procesos de razonamiento practicados dentro del contexto determinado de la actividad con otros contextos del campo de las ciencias, las matemáticas u otras asignaturas, y con experiencias de la vida real, permitiendo así su consolidación. Para que la estrategia de pensamiento construida en un contexto determinado se transfiera o se generalice a otros contextos, estos deben ser reconocidos como posibles campos de aplicación, y se ha de apoyar al estudiante para ello. El docente puede estimular esta vinculación de diversas maneras. Por ejemplo, ayudando a los estudiantes a identificar y reconocer, durante las clases ordinarias, situaciones o problemas cuyo análisis o solución supone alguna de las competencias trabajadas en las clases de intervención. Sin embargo, es muy importante que el profesor y los alumnos tengan una actitud diferente en las sesiones de intervención y en las clases normales, dirigidas a la enseñanza de contenidos específicos disciplinares, y que la gestión de aula refleje de manera apropiada los

objetivos pedagógicos de unas u otras: mientras en las primeras los estudiantes afrontan por sí mismos los problemas propuestos, sin que sea esencial que lleguen o no a una respuesta predeterminada, en las segundas lo último es, desde luego, el objetivo central.

En la Figura 4.3 se muestra la relación entre los cinco pilares.

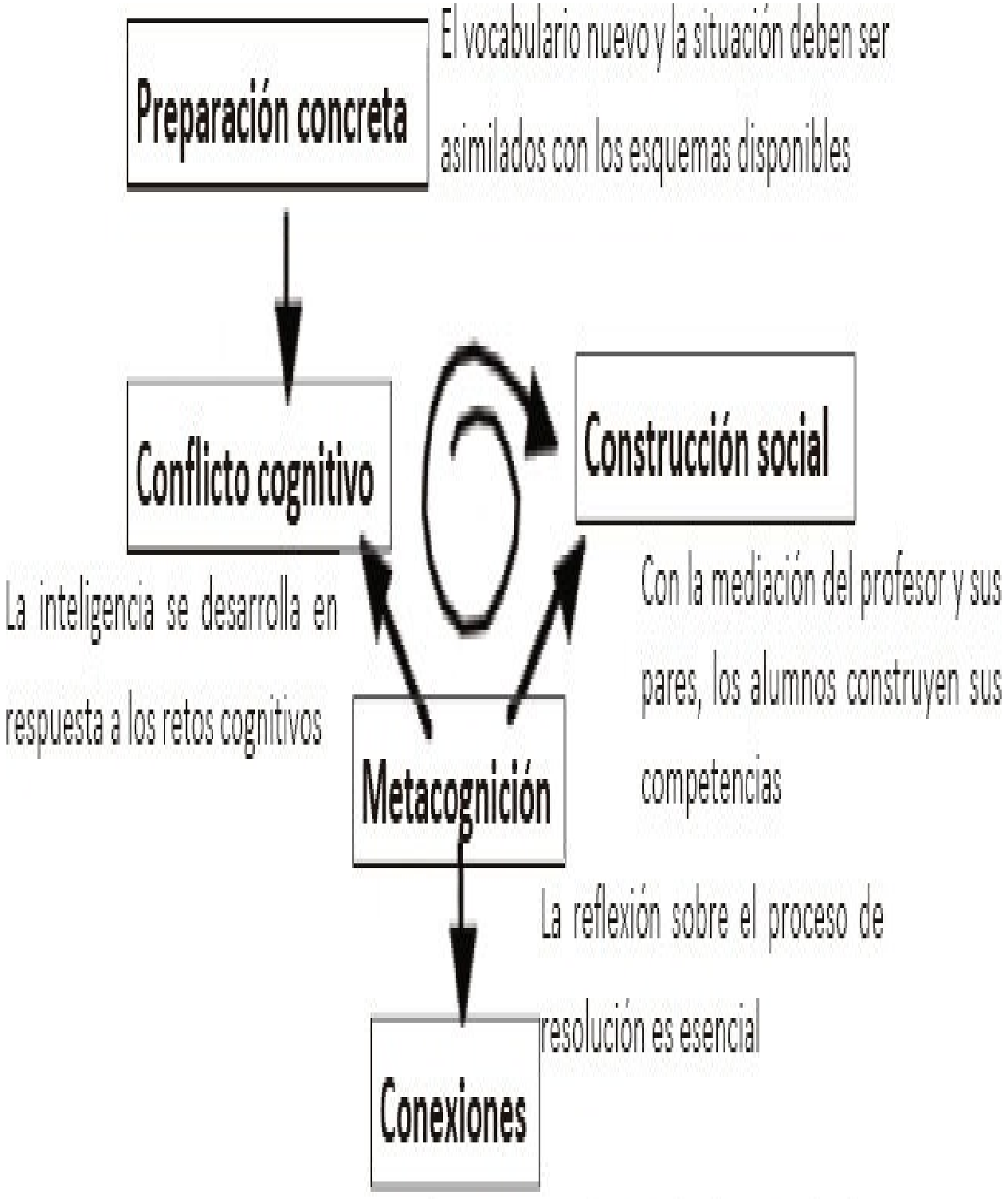

Preparación concreta
El vocabulario nuevo y la situación deben ser asimilados con los esquemas disponibles
Conflicto cognitivo
La inteligencia se desarrolla en respuesta a los retos cognitivos
Construcción social
Con la mediación del profesor y sus pares, los alumnos construyen sus competencias
Metacognición
La reflexión sobre el proceso de resolución es esencial
Conexiones
Las competencias practicadas se extienden a otros contextos

Figura 4.3. Relación entre los pilares de la intervención en el desarrollo cognitivo (Adey, 1999)

La crucial relación entre el conflicto cognitivo y la construcción social es de distinta naturaleza a las otras relaciones representadas en la Figura 4.3, lo que se intenta reflejar mediante la flecha en espiral. En efecto, cuando se nos plantea un problema cuya solución se nos resiste, tendemos a contentarnos con la primera opción que se nos ocurre, muy a menudo simplista. Tomamos atajos que evitan un análisis profundo del problema, limitándonos a una respuesta fácil que satisfaga las necesidades inmediatas de la situación. Rara vez los estudiantes buscarán por su cuenta la comprensión a fondo de la situación; en su lugar intentarán encontrar una solución para salir del paso con el menor esfuerzo mental posible, bajando el nivel de desafío, cerrando el conflicto cognitivo prematuramente. Por ejemplo, si se les planteara determinar los factores que causan la oxidación del hierro, observarán que los clavos sumergidos en agua se oxidan más rápido que los clavos secos; esta simple observación les llevaría a conformarse con la siguiente solución de sentido común: «la oxidación es causada por el agua», sin ahondar en los posibles efectos que pueda causar también el aire disuelto en el agua. El conflicto cognitivo se debe restaurar frente a soluciones simplistas, y esto solo puede lograrlo el profesor mediante una interrogación cuidadosa y detenida. Esta “mediación en espiral” ofrece un vistazo de la naturaleza de la pedagogía requerida para la aceleración cognitiva, que se comenta en detalle en el capítulo 6.

No basta aplicar estos pilares en unas cuantas clases para cambiar el ritmo del desarrollo intelectual de los estudiantes, así como no basta entrenarse unos cuantos días para ganar un maratón olímpico. La teoría cognitiva y la experiencia en otros proyectos de intervención llevaron al grupo CASE a fijar la duración e intensidad del proceso de intervención, especificando que debe tener lugar a lo largo de dos años lectivos con una regularidad quincenal, con sesiones de intervención de una hora aproximadamente, de modo que se aseguren al menos unas treinta horas de intervención; por esta razón el conjunto de actividades modélicas se agrupan en treinta unidades, para analizar a lo largo de dos años. Una vez descritos los elementos conceptuales que estructuran el proceso didáctico de estimulación o intervención en el desarrollo cognitivo en el

aula de ciencias, podemos concluir el capítulo describiendo de una manera más concreta la forma en que estos fundamentos se traducen en la práctica.

4.3 ESTRUCTURA DE UNA CLASE PENSAR CON LA CIENCIA

En la Figura 4.4 se describe la forma como se orienta el proceso didáctico para que los estudiantes incorporen las competencias científicas integrando los aspectos de la aceleración cognitiva. El papel del profesor y la pauta de sus interacciones con los alumnos individualmente y con la clase entera son diferentes a los de las “clases normales”, dirigidas a la enseñanza y aprendizaje de los contenidos disciplinares prescritos en el currículo: en lugar de proporcionar respuestas, su función principal es plantear las preguntas apropiadas en el momento adecuado. Por supuesto, también le corresponde organizar el trabajo, plantear los problemas, ofrecer algunas pistas a los grupos que lo requieran, y en general gestionar la clase de una manera no directiva, pues se espera que los alumnos asuman de forma progresiva la responsabilidad, el control y la supervisión de su pensamiento y de su trabajo tanto individual como colectivo.

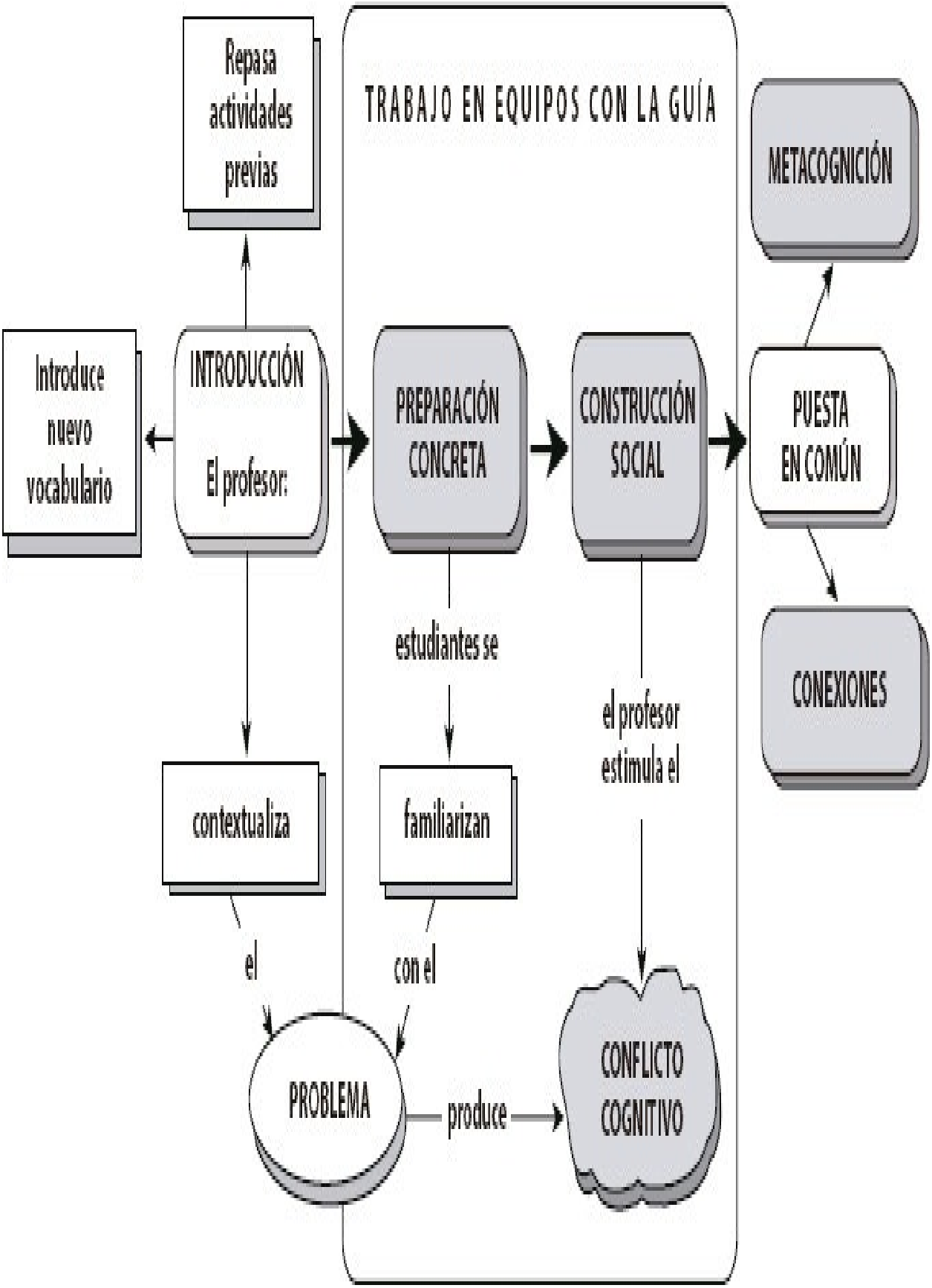

Repasa actividades previas
TRABAJO EN EQUIPOS CON LA GUÍA
METACOGNICIÓN
Introduce nuevo vocabulario
INTRODUCCIÓN
El profesor:
PREPARACIÓN CONCRETA
CONSTRUCCIÓN SOCIAL
PUESTA EN COMÚN
CONEXIONES
estudiantes se
el profesor estimula el
contextualiza
familiarizan
el
con el
PROBLEMA
produce
CONFLICTO COGNITIVO

Figura 4.4. Estructura de una clase típica del programa. El diagrama destaca las oportunidades para enfatizar los pilares de la intervención cognitiva discutidos en la sección 4.2

La clase se inicia con todo el grupo-clase: se repasan aspectos pertinentes de las "clases de entrenamiento del cerebro" previas, se explica la situación problema, describiendo también los materiales de laboratorio cuando se van a emplear o los materiales escritos que contienen los datos con los que van a trabajar en la clase (en los casos en que no sea posible que los estudiantes los tomen por sí mismos), y se introducen las palabras nuevas que se van a aprender durante el transcurso de la clase relacionadas con la competencia practicada, y que deben ser reforzadas aprovechando cualquier oportunidad propicia.

Luego comienza el trabajo en equipo con la preparación concreta, consistente en la familiarización con el material o la situación experimental, de modo que el problema sea significativo para los alumnos. Estos van tomando nota de sus observaciones y mediciones en su guía de trabajo. A medida que avanza la actividad aumenta el desafío cognitivo de las preguntas de la guía y los procesos de análisis de datos, llegándose así a la "construcción social". Durante esta fase de la clase, el docente va pasando por las mesas de trabajo animando a los equipos a "pensar colectivamente", a discutir las preguntas planteadas en la guía, sin dar propiamente respuestas a las preguntas de los estudiantes, aunque sí proporcionando las oportunas pistas y aclarando dudas de interpretación del material.

Luego de que los estudiantes han luchado con el problema durante un tiempo razonable se efectúa una puesta en común, en la que se socializan algunas respuestas y se hace una discusión con toda la clase, resumiendo los puntos esenciales de los debates grupales y manteniendo alto el nivel de desafío. Pero lo más importante de esta última parte de la clase es la metacognición de los alumnos (aunque ya en la fase de trabajo en grupo se estimula con algunas preguntas de conclusión) así como la discusión de la aplicabilidad de la competencia para los temas tratados en las clases normales y para la vida cotidiana.

En este tipo de clase, insistimos, no importa que las respuestas sean las "correctas". Lo importante es el ejercicio de pensar durante la sesión. Tampoco es necesario terminar en su totalidad la actividad: nunca se puede perder de vista que "lo que importa es pensar", no "cubrir un contenido predeterminado".

Una consecuencia práctica importante que se deduce de todo lo expuesto en este capítulo es que la implementación del programa requiere que en la parcelación global de la asignatura en la que se enmarcan las actividades Pensar con la Ciencia se incluyan las clases del tipo descrito. Esto supone que el tiempo disponible para trabajar los contenidos se reduce, pero los investigadores que han evaluado la implementación de este modelo didáctico han concluido que la aceleración cognitiva producida compensa de sobra esta disminución (Adey & Shayer, 1994, 2001). Así, por ejemplo, los docentes aplican con frecuencia estrategias de conflicto cognitivo y reflexión metacognitiva, mejorando el aprendizaje de los conceptos y principios disciplinares. De hecho, la incorporación de este modelo a la enseñanza día a día es uno de los indicadores más firmes de que el profesor lo ha internalizado, y es probable que sea una de las razones que explican el alto "efecto de intervención" constatado al evaluar de forma sistemática los cursos que siguen el modelo.

Para concluir haremos una descripción general de los materiales escritos mediante los cuales se pretende facilitar a los docentes la implementación y personalización de las actividades con información acerca de sus propósitos, el significado de las palabras nuevas introducidas, los recursos didácticos requeridos y otras pautas relevantes en la preparación de la clase, incluyendo además una propuesta de guía de trabajo para estructurar el trabajo de los grupos y facilitar el registro de las observaciones, la toma de datos y su análisis.

Materiales dirigidos al profesor

•Introducción al programa Pensar con la Ciencia , en la que se expone de manera muy sintética la naturaleza de esta innovación, sus bases teóricas, su metodología —lo que hemos explicado en este capítulo y algunas ideas del capítulo anterior—.

•Introducción teórica a cada unidad, describiendo la competencia científica en la

que se enfoca, el lenguaje científico introducido, o nuevas palabras (por ejemplo, variables, proporcionalidad, etc.), los materiales y/o equipo de laboratorio requeridos o algunas instrucciones para su preparación o consecución, pues es el caso que muchas unidades no requieren instrumental de laboratorio —en su lugar se trabaja con materiales cotidianos, por ejemplo una simple moneda—.

•Esquema de la unidad, para facilitar su preparación las primeras veces que se realiza: distribución tentativa del tiempo, algunas indicaciones sobre las "respuestas típicas" a las preguntas de la guía de trabajo para los estudiantes que describimos enseguida. Este plan debe concebirse como una herramienta de formación profesional, y no como una camisa de fuerza. Es decir, su función es ayudar al docente con las cuestiones prácticas y logísticas mientras se encuentra en el arduo proceso de comprender los conceptos que estructuran el enfoque didáctico que se plasma en el programa; así mismo, promover las competencias docentes para efectuar una intervención eficaz en el desarrollo cognitivo de sus estudiantes.

•Plantillas que facilitan la puesta en común de los resultados, etc.

Materiales para los alumnos

•Guía de trabajo estructurada, con las instrucciones y consignas para los grupos colaborativos, que plantean los desafíos cognitivos, en especial en forma de preguntas.

•Láminas reutilizables en las que se presenta información sobre la cual deben trabajar durante algunas clases, como parte del equipamiento de trabajo para la unidad.

•Problemas suplementarios y ejercicios de profundización, que permiten adaptar el nivel de desafío de la unidad a estudiantes de diversa capacidad.

Estos materiales tienen apenas una función de orientación para preparar la actividad y dirigir su realización. Pero no se pretende que el modelo sea

comunicable mediante una documentación escrita. Solo mediante la reflexión personal y colectiva es posible lograr la comprensión adecuada de la teoría psicológica y pedagógica que sustenta cualquier proceso eficaz de desarrollo del pensamiento, acompañada de una práctica perseverante y de un apoyo decidido de los directivos docentes, capaz de superar los obstáculos que inhiben la innovación pedagógica (en el capítulo 6 hablaremos más al respecto).

APÉNDICE:

COMPETENCIAS CIENTÍFICAS QUE SE TRABAJAN EN EL PROGRAMA PENSAR CON LA CIENCIA

Competencia científica	*Descripción*	*Competencias descritas en los estándares de ciencias naturales* (CN) *o matemáticas* (Mat)	*Unidades*
Comprobación sistemática de hipótesis (CONTROL DE VARIABLES)	Planificar experimentos en los que se debe determinar cuál o cuáles de entre varias variables independientes determinan la variación de una variable dependiente (Ver sección 4.1.3.2).	CN: Identifico y verifico condiciones que influyen en los resultados de un experimento y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables). CN: Establezco relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados. CN: Diseño y realizo experimentos y verifico el efecto de modificar diversas variables para dar respuesta a preguntas. Mat: Describo y represento situaciones de variación relacionando diferentes representaciones (diagramas, expresiones verbales generalizadas y tablas).	1 - ¿Qué varía? 2 - Dos variables 3 - ¿Qué tipo de relación? 4 - Pruebas bien diseñadas 5 - Montaña rusa 17 - Interacciones
CLASIFICACIÓN (al nivel formal)	Más allá de agrupar objetos por semejanzas y diferencias perceptivas, requiere definir diversos criterios de clasificación más o menos abstractos, que exigen la construcción de sistemas de clases (Ver sección 5.1).	CN: Identifico criterios para clasificar individuos dentro de una misma especie. CN: Clasifico organismos en grupos taxonómicos de acuerdo con sus características celulares.	6 - Haciendo agrupaciones 7 - Más clasificaciones

RAZONAMIENTO PROPORCIONAL	Abstraer relaciones entre dos variables que pueden describirse por la ecuación $y = mx$, siendo m una constante multiplicativa, a saber: la **razón** constante y/x (Ver sección 4.1.1).	**CN:** Establezco relaciones cuantitativas entre los componentes de una solución. **Mat:** Interpreto los diferentes significados de la pendiente m en situaciones de variación. **Mat:** Utilizo números (fraccionarios, decimales, razones, porcentajes) para resolver problemas en contextos de medida.	8 - Razones 9 - La carreta 13 - Proyección de sombras
PROPORCIONALIDAD INVERSA	Abstraer relaciones entre dos variables que pueden describirse por la ecuación $yx = m$ (si una variable aumenta la otra disminuye de modo que su producto permanece constante)	**Mat:** Justifico el uso de representaciones y procedimientos en situaciones de proporcionalidad directa e inversa. **Mat:** Analizo las propiedades de variación lineal e inversa en contextos aritméticos y geométricos.	10 - Troncos y ramitas 11 - Con el volumen constante 12 - Manteniendo el equilibrio
EQUILIBRIO	Apreciar la igualdad de dos relaciones que describen dos proporcionalidades inversas a la vez; su fórmula es $ab = cd$. Se requiere considerar al tiempo cuatro variables independientes y sus relaciones.	**CN:** Caracterizo cambios químicos en condiciones de equilibrio.	28 - Subiendo y bajando la cuesta 30 - Recobrando el equilibrio
GENERACIÓN SISTEMÁTICA DE COMBINACIONES	Generar de forma sistemática la totalidad de las combinaciones y/o permutaciones de un conjunto (Ver sección 4.1.3.1)	**Mat:** Resuelvo y formulo problemas usando conceptos básicos de conteo y probabilidad (combinaciones, permutaciones, espacio muestral, ...)	16 - Elecciones múltiples

PROBABILIDAD	Diferenciar variables deterministas y aleatorias: las primeras toman valores que consisten en un simple número (por ejemplo, el peso); las segundas se distribuyen impredeciblemente en un rango (por ejemplo, la altura alcanzada por las plántulas de fríjol nacidas de un conjunto de semillas en condiciones idénticas luego de una semana de sembradas)	**Mat:** Calculo probabilidad de eventos simples usando métodos diversos (listados, diagramas de árbol, técnicas de conteo) **Mat:** Uso conceptos básicos de probabilidad (espacio muestra, evento, independencia). **Mat**: Comparo resultados experimentales con probabilidad matemática esperada.	14 - Muestreo de fríjoles 15 - ¿Cuánto crecen los fríjoles? 18 - ¿Niño o niña? 21 - ¿Cuántos peces hay en el estanque? 22 - Juego con dados
CORRELACIÓN	Comprender e integrar las nociones de casualidad y causalidad de modo que se perciba el grado de asociación entre dos variables aleatorias (o una variable determinista y otra aleatoria) a pesar de la presencia del azar en los resultados de las mediciones respectivas	**CN:** Establezco relaciones entre el clima en las diferentes eras geológicas y las adaptaciones de los seres vivos.	19 - ¿Cuál es tu hábitat preferido? 20 - Tratamientos y efectos
VARIABLES COMPUESTAS	Combinar mediante una operación aritmética dos variables simples (cuya variación se puede percibir directamente) para formar una nueva variable abstracta	**CN**: Verifico el efecto de presión y temperatura en los cambios químicos. **CN**: Comparo masa, peso, cantidad de sustancia y densidad de diferentes materiales.	26 - Presión 27 - Flotación y hundimiento 29 - Buzos
EXPLICACIÓN MEDIANTE MODELOS FormaLES	Elaborar representaciones abstractas y conceptuales de las cosas y procesos que permitan explicar hipotéticamente los fenómenos (Ver sección 5.2)	**CN:** Establezco diferencias entre descripción, explicación y evidencias. **CN:** Propongo modelos para predecir los resultados de mis experimentos.	23 - Estados de la materia 24 - Soluciones 25 - Reacciones químicas

CAPÍTULO 5

CLASIFICAR Y EXPLICAR: DOS PALANCAS PARA ELEVAR EL NIVEL INTELECTUAL DE LOS ADOLESCENTES

Ahora ya estamos listos para ayudar de una manera práctica a nuestros alumnos a pensar con mayor perspicacia y sutileza utilizando como instrumento las muchas ocasiones favorables para tal objetivo que nos brindan las ciencias naturales. En este capítulo haremos un examen más detenido de las dos competencias científicas designadas con los sustantivos ‘clasificación’ y ‘explicación’, con el objetivo de ilustrar cómo se materializa la propuesta en la práctica mediante varios ejemplos concretos de actividades Pensar con la Ciencia, presentados a un nivel de detalle que permite hacerse una idea precisa de cómo se lleva a la vida del aula. Hemos incluido también unas pinceladas acerca de los descubrimientos referentes al desarrollo psicológico de la capacidad de clasificar a fin de mostrar la trascendencia de las competencias operatorias piagetianas para el desarrollo mental, en un caso particular especialmente relevante en la enseñanza de las ciencias naturales pero que también se aplica en todos los campos del conocimiento.

5.1 SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS

Dado un conjunto variado de entidades semejantes en algunos aspectos y diferentes en otros, clasificar es formar con ellas un sistema de colecciones o subconjuntos (clases) estructurado de una manera jerárquica y lógicamente cerrada, de modo que no queden elementos aislados o sin clase, que las clases en el mismo rango no tengan elementos comunes, que la clase superior en la que esté incluida una clase inferior contenga todos los elementos de esta última, etc. (Piaget & Inhelder, 1976, p. 60ss). Las clases están definidas por lo que se llama comprensión y extensión. La comprensión de una clase está constituida por las cualidades o características comunes a sus miembros o integrantes, y que los diferencian de los miembros de otras clases. La extensión de una clase se refiere al conjunto de miembros que la constituyen, y a las relaciones de parte a todo con respecto a las clases superiores que la incluyen, determinadas por los cuantificadores ‘todos’, ‘algunos’ o ‘ninguno’ (Piaget & Inhelder, 1976, pp. 29-30). La clasificación ha sido muy estudiada por los psicólogos infantiles, quienes han analizado con gran detalle cómo esta habilidad surge y progresa con la edad. Por ejemplo, se ha encontrado sistemáticamente en estos estudios que si se lee a niños de 4 años una lista de doce palabras que contengan nombres de frutas o animales bien conocidos de los participantes y se les pide que “pongan junto lo que se parece o va junto”, las reúnen siguiendo “criterios de conveniencia” idiosincrásicos —juntar un pájaro con una guayaba, pues “es su alimento”—, pero dejan elementos sueltos, etc. En cambio, los niños de 7 años utilizan “criterios semánticos” o conceptuales, encontrando obvio que las frutas deben ir en un grupo y los animales en otro (Leiguarda, 2008, p. 4).

Cuando los docentes de ciencias hablamos de clasificación por lo general se nos viene a la mente uno de los temas centrales de la biología, la taxonomía de los seres vivos. Esta constituye uno de los principales sistemas categoriales construidos de forma explícita por la comunidad científica. La estructura jerárquica de agrupamientos de las especies en géneros, de estos en familias, de las familias en órdenes, etc., es un ejemplo bastante sofisticado y complejo de un sistema categorial que obedece la lógica de clases. Pero considerada como una competencia científica, clasificar se refiere a la acción mental de reunir ciertos objetos según características comunes, diferenciándolos a la vez de otros objetos que no las poseen. Al efectuar este proceso en diferentes niveles el sujeto

construye una estructura de clases lógicas, cuyo ejemplo en el ámbito biológico es la estructura taxonómica. Así, pues, a diferencia con lo que se entiende por clasificación en el contexto escolar (a saber, demostrar que se conoce una determinada estructura de clases prefabricada), esta competencia científica consiste en construir por cuenta propia una estructura de este tipo para un cierto conjunto de objetos dados. En esta sección describiremos algunas de las actividades Pensar con la Ciencia centradas en esta competencia.

5.1.1 ¿Qué es clasificar, desde el punto de vista psicológico?

La clasificación es una de las operaciones lógicas elementales que señalan la entrada al pensamiento concreto. Hasta los 6 o 7 años los niños solo son capaces de organizar un conjunto de objetos en grupos diferenciados según una única característica o criterio, como el tamaño o el color, pero no ambos a la vez. Hacia los 7 años los niños empiezan a ser capaces de reorganizar mentalmente los grupos, teniendo en cuenta dos criterios al tiempo, lo cual les permite responder de forma adecuada la pregunta que acompaña a la Figura 5.1 (Shaffer, 2000, p. 245). Para un adulto la respuesta será obvia, pero resulta curioso que la mayoría de los niños menores a 6 años responden, casi por lo general, que hay más rosas que flores.

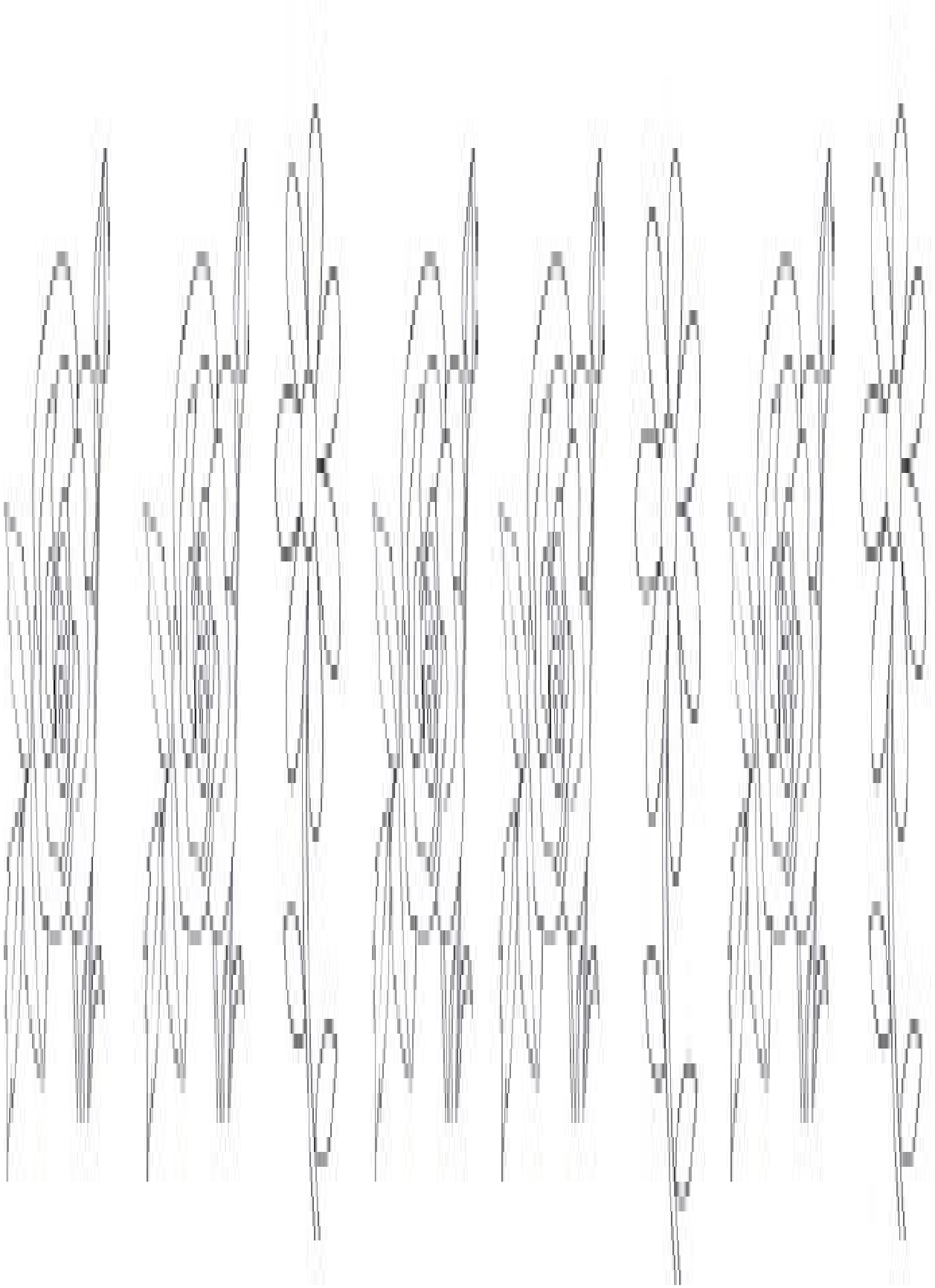


Figura 5.1. ¿Hay más flores o hay más rosas?

La explicación psicológica de este patrón de respuesta alude a la necesidad de comparar el número de rosas que aparecen en la figura con el número de flores, teniendo en mente que las rosas son cosas que tienen las características típicas de una rosa y adicionalmente las comunes a cualquier flor. Es decir, el niño debe notar que los objetos que tiene en frente pertenecen todos a la clase de las flores, pero a la vez, dentro de esta clase, existe una gran variedad de flores que tienen diferentes características, haciendo que se puedan subdividir en subclases como las formadas por las rosas, los claveles, los tulipanes y las margaritas. Estas clases están incluidas dentro de la clase de flores, o en términos de la teoría matemática de los conjuntos, son subconjuntos de esta clase, por lo cual la pregunta de la figura sondea la "comprensión en la acción" de la inclusión de clases que tienen los niños. A su vez, la clase flores puede considerarse como incluida en la clase adornos, y así, de forma sucesiva, formando una jerarquía de clases.

La comprensión para cada tipo de flores abarca la forma específica de sus pétalos, el pistilo y demás aspectos morfológicos característicos. La extensión de la clase superior y las subclases para el conjunto mostrado en la Figura 5.1 es la siguiente: hay ocho flores, cinco rosas y tres margaritas. Obsérvese que la extensión de las clases formadas por las rosas y por las margaritas es menor que la extensión de la clase de las flores, pero con la comprensión sucede al revés. En efecto, una rosa es una flor que tiene, además de lo que caracteriza a cualquier flor, otras propiedades adicionales exclusivas de este tipo de flores: la comprensión de la clase de las rosas es mayor que la de las flores. Es fácil ver que, en general, a medida que bajamos a lo largo de una jerarquía de clases, la extensión de las clases va disminuyendo mientras su comprensión va aumentando.

No es necesario conocer los conceptos de extensión y comprensión para que un adulto sea capaz de construir un sistema clasificatorio en sus tareas cotidianas (por ejemplo, al organizar la ropa en el clóset). Piaget denomina a la estructura cognitiva que subyace a esta capacidad 'esquema de clasificación', considerando que señala la aparición del pensamiento concreto. Sin embargo, a medida que

enfrentamos tareas de clasificación más complejas y desafiantes este esquema se va haciendo cada vez más sofisticado, hasta integrarse en los esquemas formales. En las unidades del programa dedicadas a esta competencia se proponen tareas de clasificación progresivamente más desafiantes. Entre ellas hemos escogido dos ejemplos, el primero de los cuales es más estructurado, permitiéndonos ilustrar las diferencias psicoevolutivas con respecto a la inclusión de clases entre los niños que están en transición hacia el pensamiento concreto y en quienes comienza a despuntar el formal. El segundo ejemplo es abierto, invitando a los estudiantes a construir con total libertad sus categorías de clasificación; de esta manera podremos observar la variedad de modos de pensar al afrontar un problema que parece sencillo y los desafíos que les supone.

5.1.2 Clasificar animales

Veamos cómo se desempeñan dos poblaciones ante una misma tarea de clasificación. La primera está formada por niños y niñas de siete años que cursaban segundo grado de básica primaria; la segunda por preadolescentes (11 a 13 años), también de ambos sexos, estudiantes de séptimo grado[42]. Se les entrega una tarjeta en la que se representa un paisaje campestre con una gran cantidad de animales variados, bien conocidos por los sujetos (Figura 5.2). Es de advertir que el paisaje mostrado a los niños pequeños tiene un menor número de animales y está dibujado a color, teniendo en cuenta su menor capacidad perceptiva. Luego se les entrega la hoja de trabajo (Figura 5.3). Nótese que el registro de las observaciones se hace de dos modos. Por una parte se plantean preguntas referentes al conteo de cada tipo de animales (es decir, deben identificar la extensión de las correspondientes clases), sin que deban integrar la información verbal en una estructura jerárquica que ejemplifica la inclusión de clases. Por otra parte, deben consignar esa misma información en el cuadro, lo que supone el dominio de la inclusión. Para la lógica adulta, las dos tareas son equivalentes y triviales. Pero en la lógica inmadura del niño la segunda tarea plantea un desafío cognitivo bastante mayor que la primera, pues debe abstraer el significado de los términos (comprensión), relacionarlos entre sí según las relaciones de inclusión de clases y por último identificar la extensión de cada clase.

Figura 5.2. Material de trabajo para la actividad de clasificación realizada por los estudiantes de séptimo grado

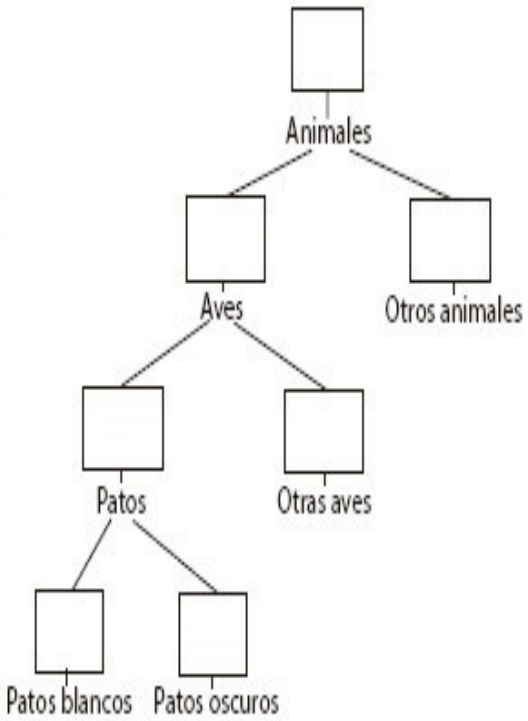
Tomado de Thinking Science. 3rd ed, © Adey, P., Shayer, M., & Yates, C., 2001, y reproducido con permiso de los autores.

Actividad 1 - Cuenta los animales

Recuerden que los seres vivos se dividen en plantas y animales.

Hay varios animales dibujados en la ficha de trabajo. ¿Pueden reconocerlos todos?

Los animales pueden dividirse en grupos cada vez más reducidos. El diagrama a la derecha indica una posible manera de hacerlo.



¿Cuántos animales hay en cada grupo? (Escriban el número en cada cuadro)

Discutan las siguientes preguntas y anoten la respuesta del grupo:

1. ¿Cuántas aves hay?
2. ¿Hay más aves o más animales?
3. ¿Cuántos animales hay que no son aves?
4. ¿Cuántos animales hay que no son patos?
5. ¿Cuántos animales hay que no son patos oscuros?

Figura 5.3. Hoja de trabajo para la Unidad 7, Actividad 1

Como era de esperar, el desempeño de los mayores fue mucho mejor que el de los niños menores. El 76% de los 19 grupos de preadolescentes resolvieron bien el ejercicio, obteniendo el recuadro que aparece en la Figura 5.4. Dos grupos, que corresponden al 8% de la muestra, presentaron algunas dificultades de coherencia en el ejercicio propuesto y cuatro equipos, el 16% de la muestra, presentaron respuestas con muchas incoherencias, una de las cuales se presenta en la Figura 5.5. Sin embargo, la observación durante la práctica nos mostró que los niños que respondieron forma acertada no usaron la operación aritmética de sustracción para determinar, por ejemplo, el número de otros animales, conocido el número total de animales y el número de aves, sino que volvieron a contar los animales que no eran aves. En contraste, solo uno de los niños de segundo grado registró de forma adecuada los datos en el cuadro que representa la inclusión jerárquica de las clases, aunque todos respondieron bien las preguntas verbales en las que se solicitaba el número de animales en cada categoría.

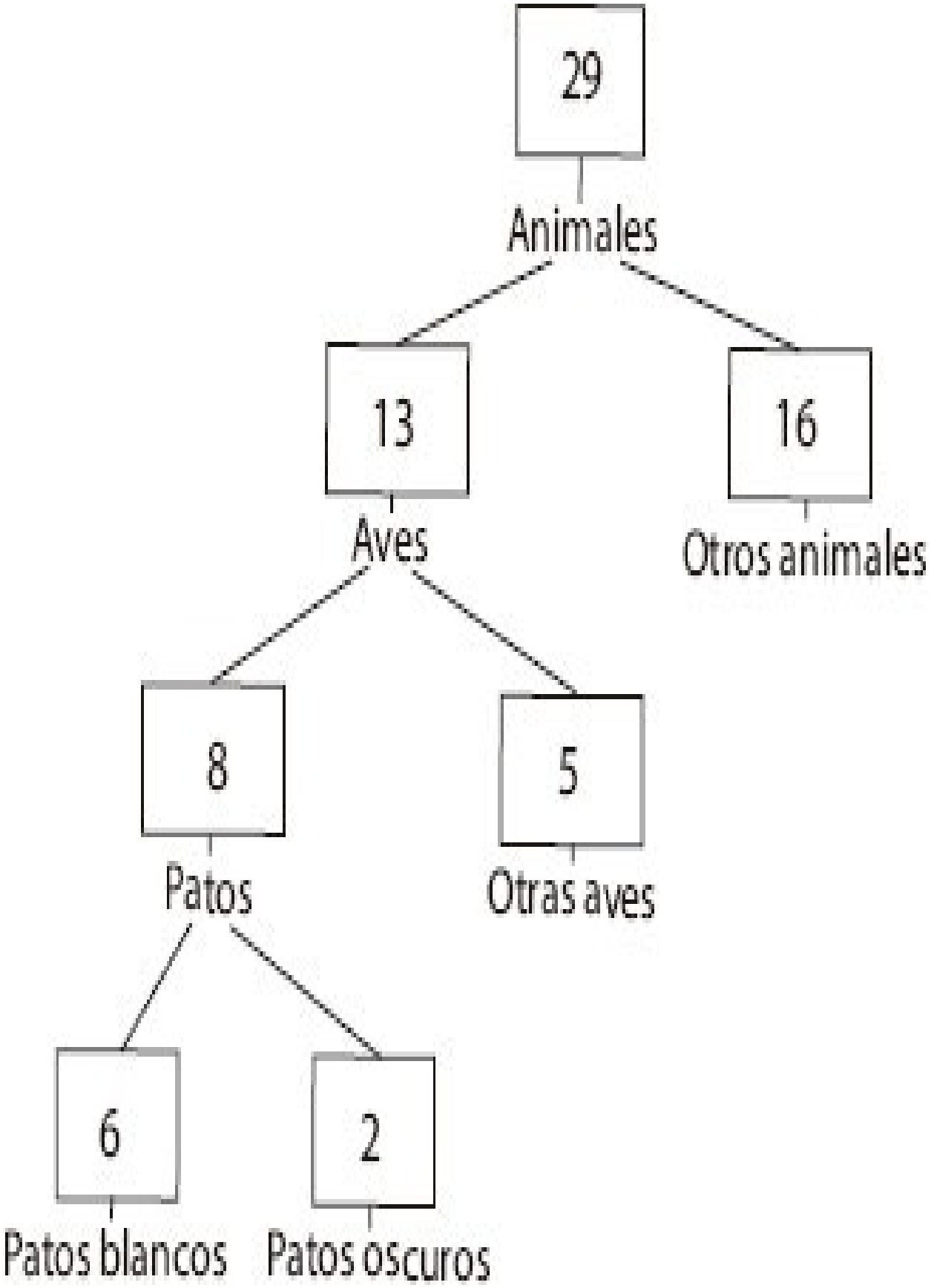

29
Animales
13
16
Aves
Otros animales
8
5
Patos
Otras aves
6
2
Patos blancos
Patos oscuros

Figura 5.4. Respuesta al ejercicio propuesto

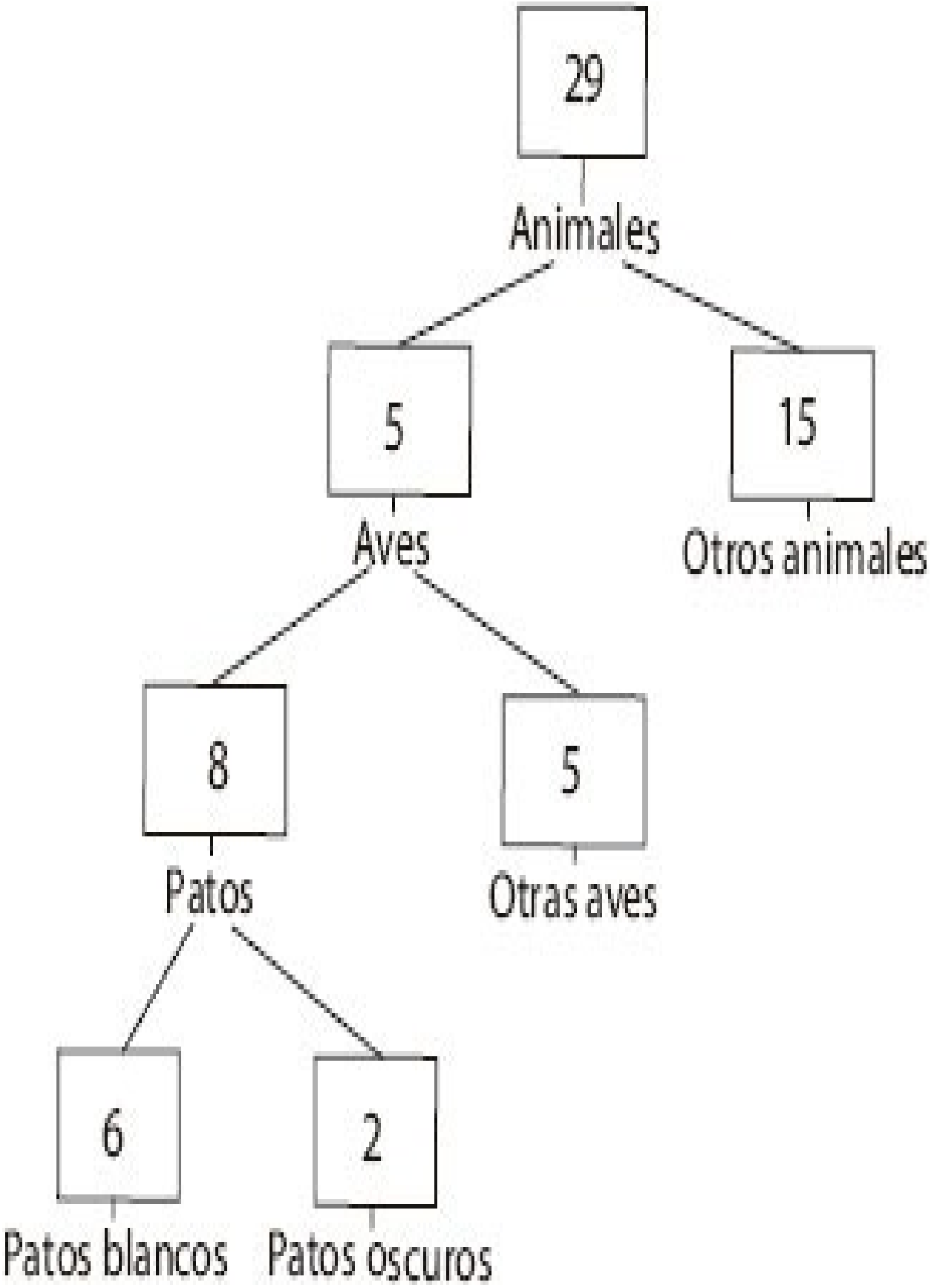

29
Animales
5
15
Aves
Otros animales
8
5
Patos
Otras aves
6
2
Patos blancos
Patos oscuros

Figura 5.5. Respuesta de uno de los grupos de séptimo grado

5.1.3 Inventar criterios de clasificación

Las unidades 6 y 7 de Pensar con la Ciencia están dedicadas a la competencia de clasificación. La actividad de los animales descrita en la sección anterior pertenece a la unidad 7. En la unidad 6 hay cuatro tareas más sencillas de clasificación, que fueron propuestas a la población de preadolescentes mencionada en la sección anterior durante el pilotaje de las unidades. Una de ellas consiste en agrupar los 16 alimentos que aparecen en la tabla de la Figura 5.6, los cuales debían ser agrupados según características comunes de libre elección por los estudiantes, o en otras palabras, las semejanzas y diferencias percibidas. En la discusión con la que inicia la clase se debatió con ejemplos el significado de la palabra clasificar, y la necesidad de contar con características de las entidades que se quieren clasificar que sean semejantes en algunos casos y diferentes en otros. El material para la actividad consiste en una ficha que contiene una lista de alimentos que se deben clasificar, y en una hoja de trabajo, que contiene la consigna, seguida de la tabla donde describen los grupos que han construido, tanto en su comprensión (primera columna), como en su extensión (segunda columna).

1. CHOCOLATE CALIENTE	2. CREMA DE TOMATE	3. MANDARINA	4. POLLO ASADO
5. ENSALADA	6. CARNE GUISADA	7. HUEVOS PERICOS	8. COMPOTA DE MANZANAS
9. FIDEOS	10. SALSA ROSADA	11. MERMELADA DE GUAYABA	12. TOSTADAS CON MANTEQUILLA
13. PONQUÉ RAMO	14. PAPAS FRITAS	15. ACEITE DE MAIZ	16. TOMATE

***Inventen** una clasificación de los alimentos que aparecen en la ficha en distintos grupos. Ustedes decidirán en cuántos grupos organizarlos; pueden dejar renglones en blanco o, si lo consideran necesario, pueden agregar más renglones a la tabla.*

Característica	Alimentos incluidos dentro del grupo

Figura 5.6. Actividad 2 de la Unidad 6 de Pensar con la Ciencia

Los criterios de organización que propusieron los participantes en este ejercicio fueron muy diversos y originales, pero en general las agrupaciones resultantes no obedecen la lógica de clases; las dificultades que tuvieron los estudiantes para realizar la tarea evidencian el carácter desafiante de la misma. En la Figura 5.7 se muestran unos cuantos ejemplos que ilustran tales dificultades. En cada recuadro se transcriben las agrupaciones realizadas por un equipo, a la derecha comentamos las dificultades de razonamiento que se evidencian en las respuestas respectivas.

Nótese que el carácter cotidiano de la actividad permite una discusión sin cortapisas en cada grupo, facilitando la creatividad, al mismo tiempo que la naturaleza de la tarea exige la puesta en acción de la competencia de clasificación a un nivel intelectual un poco superior al de muchos de los alumnos. Los textos elaborados por cada grupo de trabajo apenas permiten vislumbrar el complejo proceso discursivo de construcción colectiva y negociación razonada de acuerdos que pudimos observar durante el transcurso de la actividad al pasar de grupo en grupo. Es justamente este proceso cognitivo social, que se puede describir como el surgimiento de una zona de desarrollo próximo entre los participantes, lo que estimula a la larga la evolución mental individual de los participantes. No tiene sentido por tanto evaluar el beneficio de esta actividad teniendo en cuenta únicamente los textos escritos. Es necesario para tal efecto considerar el proceso de su producción, así como situarla en el contexto de una serie de actividades similares cada vez más exigentes realizadas a lo largo de un periodo extenso de tiempo, del orden de dos años, involucrando la diversidad de competencias listadas en el apéndice del capítulo 4.

Cremas: tomate.

Líquidas: aceite de maíz, compota, salsa rosada, aceite, chocolate.

Frutos: tomate, mandarina.

Comidas preparadas: huevos, ponqué, papas, pollo, tostadas

Pastas: fideos, ensaladas, bistec.

Líquidos: chocolate caliente, aceite de maíz.

Grasosos: papas fritas, tostadas con mantequilla.

Vitaminosos: tomate, ensalada, ponqué ramo, pollo, bistec, huevos pericos.

Espesos: crema de tomate, salsa rosada, compota.

En ambos casos se incluyeron todos o casi todos los elementos, sin repetir ninguno, de acuerdo con la lógica de las clases, pero los criterios de categorización no son uniformes.

Almuerzo: pollo asado, papas fritas, ensalada, mandarina.

Desayuno: chocolate caliente, huevos, tostada con mantequilla.

Onces: ponqué ramo, compota de manzana.

Comida: carne guisada, papas fritas, crema de tomate.

Almuerzo: fideos, ensalada, papas fritas, mandarina y tomate.

Se repite una categoría pero con elementos diferentes, además de repetir elementos en diferentes categorías.

Alimenticios: ensalada, crema de tomate, carne guisada, huevos, mandarina.

No alimenticios: ponqués, papas fritas, y salsa rosada.

Sabrosos: pollo, fideos, chocolate y tostadas.

No sabrosos: aceite de maíz y compota.

Salados: crema de tomate, carne, papas fritas, pollos, huevos, fideos, tostadas.

Dulces: chocolate, ponqué, compota, mermelada y mandarina.

Se definen tres criterios independientes, basados en características más abstractas.

Sólidos: mandarina, pollo asado, ensalada, carne guisada, huevos pericos, fideos, tostadas con mantequilla, ponqué ramo, papas fritas, tomate.

Líquidos: chocolate caliente, aceite de maíz.

Pastosos: mermelada de guayaba, salsa rosada, compota de manzana, crema de tomate.

Hay un criterio de clasificación uniforme, el estado de agregación de los alimentos; se sigue la lógica de clases.

Figura 5.7. Algunos resultados de la actividad de clasifi cación de alimentos

La puesta en común con la que concluye la actividad, imposible de recoger por escrito, ofrece nuevas oportunidades de ir más allá de las capacidades ya logradas cultivando otros aspectos del pensamiento. La reflexión metacognitiva se estimula comparando los criterios inventados por los diferentes grupos, razonando acerca del motivo por el cual puede haber tanta variedad de agrupaciones y de las dificultades encontradas en el proceso. También se propicia el planteamiento de conexiones con los temas del currículo formal, por ejemplo al entablar un diálogo socrático sobre la importancia que tiene para la ciencia la unificación de criterios de clasificación al estudiar un tipo de fenómenos.

Pero lo más importante de esta actividad, como instrumento de mediación en el desarrollo cognitivo, es la reflexión metacognitiva inducida por las siguientes preguntas, también incluidas en la hoja de trabajo:

•¿Cuáles alimentos fueron más difíciles de clasificar? ¿Por qué?

•¿Otros grupos utilizaron el mismo sistema de clasificación que ustedes?

Piensen por qué otras personas podrían haber usado o no el mismo sistema.

5.2 EXPLICAR LAS TRANSFORMACIONES DE LA MATERIA

Seguiremos ilustrando la estrategia mediante la cual Pensar con la Ciencia promueve la formación de las competencias científicas (o el pensamiento formal) mediante el análisis de las unidades focalizadas en la construcción de una explicación para algunas transformaciones de la materia que se observan de manera cotidiana, como son los cambios de estado y la disolución. Sin embargo, es esencial que el lector se percate de que no se trata de actividades cuyo objetivo sea el aprendizaje de este tópico curricular específico, pese a la semejanza con muchas de las actividades realizadas con este fin. Es fácil en este caso incurrir en tal confusión, pues el contenido conceptual de la mayoría de unidades del programa es claramente diferente al de las actividades de enseñanza y aprendizaje habituales. En efecto, como todas las actividades Pensar con la Ciencia, su propósito inmediato es ofrecer desafíos cognitivos significativos, con la finalidad de acelerar la consolidación de las estructuras cognitivas que son la base de la aptitud científica, esencial para que los estudiantes puedan realizar por sí mismos los razonamientos de la ciencia y así comprender sus conceptos abstractos. Comenzaremos esta sección con un poco de teoría sobre lo que constituye una explicación científica, en términos de la construcción de un modelo teórico, o modelo formal. Continuamos describiendo y analizando dos de las actividades que invitan a los estudiantes a generar una explicación de los fenómenos de transformación de la materia, y al final mostramos algunos de los resultados obtenidos en el pilotaje de estas actividades.

5.2.1 ¿Qué es explicar?

En el lenguaje corriente, cuando usamos la palabra ‘explicar’, nos referimos a una respuesta satisfactoria a una pregunta que comienza con un ‘¿Por qué?’. Pero la anterior frase es ambigua. Un niño pequeño preguntón se satisface muy fácil casi con cualquier respuesta, que un científico aceptaría con facilidad. La correspondiente entrada en el Diccionario de la Real Academia Española trae tres acepciones de esta palabra:

Explicación. (Del lat. explicatĭo, -ōnis). f. Declaración o exposición de cualquier materia, doctrina o texto con palabras claras o ejemplos, para que se haga más perceptible. || 2. Satisfacción que se da a una persona o colectividad declarando que las palabras o actos que puede tomar a ofensa carecieron de intención de agravio. U. m. en pl. || 3. Manifestación o revelación de la causa o motivo de algo.

La segunda acepción tiene muy poco que ver con el tema. La primera remite a un sentido muy amplio de la palabra, según el cual todo discurso extenso acerca de cualquier tema constituye una explicación o tratamiento del tema, siempre y cuando lo que se diga sea cierto. Este significado abarca el sentido que tiene la palabra en la vida escolar, como cuando un alumno afirma ‘esta profesora explica bien’. El tercer sentido es mucho más específico, y es el que nos interesa. En efecto, cuando calificamos a una explicación como científica queremos afirmar que desvela la razón por la cual el asunto explicado es como es y no puede ser de otra manera, en términos de un estado antecedente de las cosas y de leyes naturales generales que determinan la evolución del universo. Los filósofos, siempre a la caza de sutilezas lógicas, han elaborado muy diversos argumentos y contraargumentos en torno a nociones como la de explicación, de causa, de ley natural, etc. En el contexto de este trabajo no se justifica detenerse en estas profundas y complejas discusiones filosóficas. Para entender lo que sigue, nos bastará “explicar” (en el primer sentido de la palabra recogido por el diccionario) la naturaleza de la “explicación científica” (en el tercer sentido de la palabra), siguiendo al libro Formas de explicar: La enseñanza de las ciencias en

Secundaria, de Jon Ogborn et al. (1998). Estos autores, basados a su vez en otros autores y en sus propias investigaciones, caracterizan a las explicaciones científicas en términos de relatos. Veámoslo con algo de detalle.

Si pregunto: '¿Por qué está lloviendo?', y me contestan: 'Porque está cayendo agua del cielo', no se me ha dado una explicación sino que me están diciendo lo que es la lluvia. Tampoco vale decir: 'Porque estamos en invierno', por una razón semejante. En cambio, un meteorólogo me hablaría de bajas presiones y temperaturas en la atmósfera, y de cómo estas condiciones atmosféricas afectan al vapor de agua disuelto en la atmósfera, teniendo en cuenta las propiedades termodinámicas de esta sustancia. Luego me hablaría de las leyes del movimiento de Newton, etc. Si analizamos esta explicación nos daremos cuenta de que se parece mucho a una narración histórica. Reflexionemos un poco sobre los rasgos fundamentales de cualquier relato literario. Hay unos actores, cada uno de los cuales posee ciertas características que les hacen obrar de una cierta manera. La conjunción de los comportamientos de esos actores, dada la situación en la que se encuentran, tiene unas consecuencias, derivadas de la naturaleza de los protagonistas y de su interacción con las circunstancias en que se van encontrando a medida que la historia va avanzando.

No es difícil percibir que los rasgos esenciales de un relato están presentes en cualquier explicación científica, aunque no sea usual que se expresen así. En la explicación que brinda el meteorólogo sobre la lluvia los actores principales son el sol, el planeta, incluyendo su atmósfera, y en especial la humedad del aire; en otras palabras, el vapor disuelto en la atmósfera. Las propiedades intrínsecas de estos objetos y la situación en que se encontraban en un determinado momento del pasado son el punto de partida de una cadena de sucesos, la cual conducirá al efecto que queríamos explicar. Por supuesto, los relatos de ficción o los relatos históricos se diferencian de los relatos explicativos de los fenómenos naturales por cuanto los participantes de los primeros son personas que obran movidas por intenciones inescrutables, mientras los objetos que interactúan en los procesos de la naturaleza son impersonales. Por lo demás, es evidente que el mundo de los relatos de ficción, por definición, es un mundo arbitrariamente construido por el escritor, mientras el mundo al que se refieren los relatos explicativos es real: es independiente de nuestros pensamientos y de nuestra voluntad.

Ahora bien, para reconstruir la sucesión de acontecimientos naturales que conducen a un determinado efecto es preciso recurrir a lo que se suele llamar un modelo teórico de la realidad. Para entender lo que significa el término

regresemos a la explicación científica de la lluvia. Involucra unas entidades mentales simplificadas que hacen las veces de las complejísimas entidades reales a las que ya nos referimos. Pues es imposible conocer por completo todas las variables que describen la configuración de la atmósfera en un momento dado y sus interrelaciones. En su lugar, el meteorólogo construye una “atmósfera mental”. A saber, una entidad ficticia y abstracta, con propiedades muy bien definidas, sujeta a unas leyes que determinan su comportamiento dadas ciertas condiciones especificables; pero, a diferencia de las ficciones literarias, esta entidad ficticia REPRESENTA de forma esquemática e ideal en la mente del científico una entidad no mental, la atmósfera terrestre. Así, pues, el meteorólogo utiliza para su explicación un modelo teórico de este sistema y de sus componentes esenciales, en lugar de la atmósfera real cuyas propiedades son de una complejidad inmanejable.

Los teóricos de la educación hablan mucho de cosas como los modelos pedagógicos y didácticos. Sin embargo, cuando los apremian a explicar lo que es un modelo, quizás no logran producir una explicación coherente. La confusión estriba en que la palabra ‘modelo’ tiene muchos significados. Cotidianamente se usa para referirse a un cierto ideal. En el lenguaje científico-tecnológico significa algo muy diferente: una representación o sustituto de un sistema complejo, que puede ser mental, computacional o material. Entonces, cuando decimos que un modelo es una representación de algo real, podemos estar diciendo dos cosas, dependiendo del medio de representación. Un automóvil de juguete es un modelo de un automóvil de verdad. En esta frase entendemos por ‘modelo’ un objeto material que representa otro objeto material, puesto que las partes de aquel guardan una relación entre sí que se asemeja a las relaciones entre las partes del automóvil. Pero hay un segundo significado de la palabra ‘modelo’, peculiar al lenguaje científico-tecnológico, para el cual usamos el término “modelo teórico”. Decimos que el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno representa teóricamente los constituyentes básicos del gas hidrógeno, una sustancia material tangible y concreta. Pero, por supuesto, el modelo de Bohr no es una bolita azul que da vueltas alrededor de una bolita roja, sino una abstracta estructura conceptual o teórica, cuyos componentes son los conceptos de electrón, protón, campo eléctrico, niveles de energía, etcétera. Esta estructura existe solo en la mente del científico, que la utiliza para hacer predicciones y dar cuenta de ciertos fenómenos.

La construcción de un modelo teórico (o formal) y su utilización en la construcción de explicaciones científicas exige el pensamiento científico, o en

otras palabras el pensamiento hipotético-deductivo, en el que se integran todos los “esquemas operatorios formales”. Por ello, las actividades tratadas en esta sección se realizan hacia el final del programa, pues ponen en juego casi todas las competencias que se han trabajado en las unidades precedentes.

Tras esta corta exposición de los conceptos de explicación y modelo formal, procedemos a describir las unidades 23 y 24, en las que se observan y se construyen explicaciones de algunos procesos de cambio de estado y de disolución de sustancias. En la siguiente sección presentamos la fase inicial de estas unidades, que corresponde a la preparación concreta, pues está centrada en la observación y descripción de dichos procesos. Después (sección 5.2.3) llegamos al núcleo de las unidades, la construcción de posibles explicaciones de los mismos por parte de los estudiantes y su posterior discusión.

5.2.2 Observando y describiendo la transformación de la materia

5.2.2.1 Calentamiento de sustancias

Esta serie de actividades comienza observando en el laboratorio la fusión, luego la evaporación, y por último la condensación de tres sustancias: el ácido esteárico, el azufre y el yodo. Adicionalmente se recomienda observar la fusión de la parafina y de la soldadura de estaño (ver hoja de trabajo en el Apéndice 1). Estas sustancias tienen temperaturas de fusión y ebullición un poco por encima de la temperatura ambiente. Se han preparado con anticipación tubos de ensayo con pequeñas cantidades de estas sustancias en estado sólido, que han sido tapados para evitar que los vapores se escapen. Al someterlos por un corto tiempo a la llama de un mechero de alcohol, los estudiantes observan cómo se derrite el ácido esteárico para luego desaparecer, reapareciendo poco después en las paredes de la parte superior del tubo como una película blanca. Algo similar sucede con el azufre y el yodo, salvo por la aparición momentánea de vapores de color amarillo o morado antes de la condensación de los cristales en la parte superior de los respectivos tubos[43]. La hoja de trabajo contiene una lista de "palabras científicas", mediante las cuales es posible describir por escrito lo observado, de manera concisa y precisa. La tarea en las actividades 1 y 2 (ver Apéndice 1) para cada equipo de trabajo es discutir lo observado y ponerse de acuerdo en cómo redactar tal descripción. Pero de inmediato pasan a la actividad 3, el desafío esencial de la unidad, introducida por el docente con una pregunta como la siguiente: ¿Cómo es posible que el líquido pase desde el fondo hasta la parte superior del tubo de ensayo? El objetivo de esta pregunta es que los estudiantes perciban lo problemático del fenómeno y se enfrenten a la búsqueda de una explicación. Se debe enfatizar la diferencia con lo hecho en las dos primeras actividades, que fue simplemente ponerles nombres a los fenómenos observados. En la sección 5.2.3.1 presentaremos algunas de las explicaciones construidas por los estudiantes.

5.2.2.2 ¿Qué le sucede al volumen del agua cuando se le esparce sal?

En la siguiente clase de Pensar con la Ciencia, unidad 24, como preparación concreta, se propone un conjunto de experiencias sencillas y relativamente familiares en las que hay que averiguar si una sustancia dada (sal, azufre, ácido esteárico) se disuelve o no en un solvente dado (agua, tíner, removedor). Pero el conflicto cognitivo clave viene después, cuando los estudiantes observarán un fenómeno sorprendente y que contradice netamente sus expectativas. El docente presenta un recipiente lleno de agua hasta el mismo borde y pregunta: ¿Está lleno este vaso?, ¿qué pasará cuando eche cualquier otra cosa dentro del vaso? Los estudiantes contestan en coro: “El agua se va a derramar”. El docente toma luego una espátula con sal de mesa y la esparce lenta y cuidadosamente sobre la superficie del agua. Los estudiantes observan con sorpresa que no se derrama ni una gota de agua durante la operación pese a que el agua llegaba hasta el borde. Se repite varias veces el proceso, siempre llamando la atención a lo que sucede al adicionar más y más sal en el vaso lleno de agua, sin que se derrame. Terminada esta fase de observación y desequilibración, comienza de lleno el desafío cognitivo: intentar construir una explicación de los fenómenos observados. Para el efecto se plantean preguntas como: ¿Por qué no se regó el agua?, ¿dónde está la sal?, ¿cómo se ubica dentro del agua?, ¿por qué no la vemos?, ¿aún permanece la misma cantidad de sal?, ¿puedo obtener de nuevo la sal?

5.2.3 ¿Cómo EXPLICAR las transformaciones de la materia?

Antes de proseguir con la narración de las actividades que siguen a las que acabamos de describir, es importante aclarar una vez más que lo que se busca en estas actividades va mucho más allá de la mera observación de dos tipos de fenómenos naturales y la descripción y comunicación de lo observado. Lo que han hecho hasta aquí no es más que la "preparación concreta" del verdadero desafío cognitivo: generar alguna explicación de porqué suceden esos fenómenos, o al menos intentarlo. Pero no se trata de que los estudiantes descubran la explicación científica de las transformaciones de la materia, la teoría corpuscular. Pues recordando el título del primer capítulo, "lo importante es pensar", insistimos una vez más en la idea central de este libro: las unidades Pensar con la Ciencia, y en general cualquier modelo de intervención en el desarrollo cognitivo, tienen por propósito propiciar este proceso y con ello el modo científico de pensar, mas no el propósito de llegar a la respuesta de los libros. Asumir este objetivo instruccional impondría por necesidad una limitación inconveniente al pensamiento creativo de los estudiantes. Por supuesto, como hemos repetido una y otra vez, estas unidades son un complemento de las clases normales, estas sí dirigidas a construir los conceptos científicos específicos.

Prosigamos entonces con la narración de la fase de construcción social dirigida al abordaje del desafío cognitivo en ambas unidades, que en este caso consiste en la generación de explicaciones a los fenómenos de cambio de estado y disolución, fase que tiene lugar una vez culminada la fase de observación o de preparación concreta.

5.2.3.1 Explicando los cambios de estado

Mediante la siguiente pregunta, contenida en la hoja de trabajo para la unidad 23, Estados de la Materia, actividad 3, se propone el desafío que acabamos de mencionar. Los estudiantes habían observado y descrito los cambios de estado que se dieron en los diferentes tubos; el docente solicita ahora que respondan la pregunta 3.2 de la guía: “Habrán observado que al finalizar las experiencias con el ácido esteárico, el yodo y el azufre las sustancias se habían depositado en las paredes del tubo ¿Cómo pueden explicar esto?

Como era de prever, teniendo en cuenta la edad de los estudiantes, la respuesta típica sigue siendo descriptiva, aunque con algunos visos de explicación: “Las sustancias al evaporarse se esparcen dentro del tubo y se prenden a las paredes de este”. Aunque la explicación sea muy lacónica, la observación de los grupos durante la discusión y la puesta en común muestran que llegar a esta respuesta requirió un genuino esfuerzo mental. Al menos implica, desde el punto de vista de las operaciones mentales, la visualización del movimiento de las sustancias en estado gaseoso como una especie de humo que llena el interior del tubo, excepto el ácido esteárico, que era invisible en estado gaseoso, y termina, no se sabe cómo, adhiriéndose a las paredes del tubo. Unos cuantos fueron más allá de esa visión “continuista” de la materia, hasta relacionar el proceso en su globalidad con el calentamiento realizado a la muestra e incluso referirse de forma explícita a la estructura interna de la sustancia, no necesariamente en términos corpusculares. Por ejemplo, la explicación más sofisticada desde el punto de vista científico que obtuvimos en las tres instituciones participantes en el pilotaje de las actividades (ver nota 42) fue la siguiente: “Las sustancias tienen partículas que al estar en calor se separan y se ponen en movimiento y al cambiar de nuevo la temperatura a frío estas partículas se unen y pierden su movimiento y se pegan a las paredes, se solidifican”. No obstante, habiendo estudiado más de una vez en ciencias temas relacionados con la concepción corpuscular de la materia, es probable que en realidad están recordando lo enseñado. Otros mencionaron como de pasada la palabra ‘partícula’, pero quizás no se refieran al modelo atómico: “Poco a poco van subiendo las partículas y se adhieren a las paredes del tubo”; “El azufre se queda en el fondo, pero tan solo un poquito de partículas suben”. Pero, de acuerdo con los objetivos del programa, lo importante es que los alumnos se enfrenten a la idea de buscar una explicación, sea la que sea, sin

que el docente emita juicios evaluativos, aceptando cualquier cosa que digan aunque animándolos a ir más allá de la simple descripción para articular una explicación lógica. De hecho, encontramos respuestas sui géneris que, si bien desde el punto de vista científico son muy discutibles, sugieren una reflexión intensa que acude a situaciones cotidianas para intentar comprender lo que sucede. Por ejemplo, uno de los equipos utiliza una analogía con el proceso de efervescencia que se produce cuando la sal de frutas Lúa se mezcla con agua, dejando en la parte superior del vaso unas gotas (Figura 5.8). Una lectura cuidadosa del texto permite apreciar la elaborada lógica del discurso a pesar de algunas impropiedades sintácticas y de las deficiencias en la puntuación.

Por medio de la solidificación, como por ej. (la) sal de frutas Lua, cuando se acaba quedan (...) pequeñas bolitas. Pasa igual con las sustancias; esto ocurre después de la evaporación.

Figura 5.8. Una respuesta particularmente original a la pregunta 2 de la actividad 3, unidad 23

Para profundizar en su investigación sobre las transformaciones de la materia, en la última consigna de la actividad 3 (pregunta 3.3), se les solicita escribir una "historia para explicar cómo es posible que las sustancias puedan transformarse del estado sólido al líquido o del líquido al vapor y al revés", aclarando que pueden servirse de dibujos, si así lo prefieren. Es evidente que esta nueva tarea es mucho más desafiante, pues apunta explícitamente a un aspecto esencial de la explicación, su estructura narrativa. En consecuencia, también apunta implícitamente a la construcción de un modelo formal, el protagonista de la explicación. En la respuesta a la pregunta 3.2 los estudiantes pueden dar por sentado que, una vez el líquido se ha transformado en gas, cuya propiedad es su capacidad de ocupar todo el espacio disponible, la sustancia llenará el tubo de ensayo. ¿Pero cómo se explica la evaporación misma? En la nueva tarea ya no se puede eludir la necesidad de explicar —en el sentido fuerte de la palabra discutido en 5.2.1— la transformación que lleva de una forma de materia a otra. Pero no se trata solo de un problema más difícil, sino de uno que exige un tipo de pensamiento de nivel superior. Para entenderlo volvamos un momento a uno de los hallazgos de Piaget más conocidos.

Piaget encontró que la capacidad de representar mentalmente las transformaciones que conectan dos configuraciones estáticas constituye uno de los hitos fundamentales del desarrollo cognitivo. Por ejemplo, la incapacidad de concebir los procesos de transformación explica la llamada "ausencia de conservación de la cantidad de sustancia" en la segunda infancia, cuando una cierta cantidad de sustancia cambia su forma, como en la transformación de una bola de plastilina en una salchicha, a la que nos referimos en el capítulo 2[44]. Los niños menores de cinco o seis años dirán que la salchicha tiene más plastilina porque es más larga, o bien afirmarán que la bola tiene más plastilina porque es más gorda. Las investigaciones han mostrado que este comportamiento se explica por la incapacidad del niño de representarse en su mente el proceso continuo de transformación de una forma a la otra (Ginsburg & Opper, 1977, p. 158). El niño llega a ser capaz de efectuar internamente la acción de convertir la bola en salchicha o viceversa (reversibilidad) hacia los seis años, y por tanto

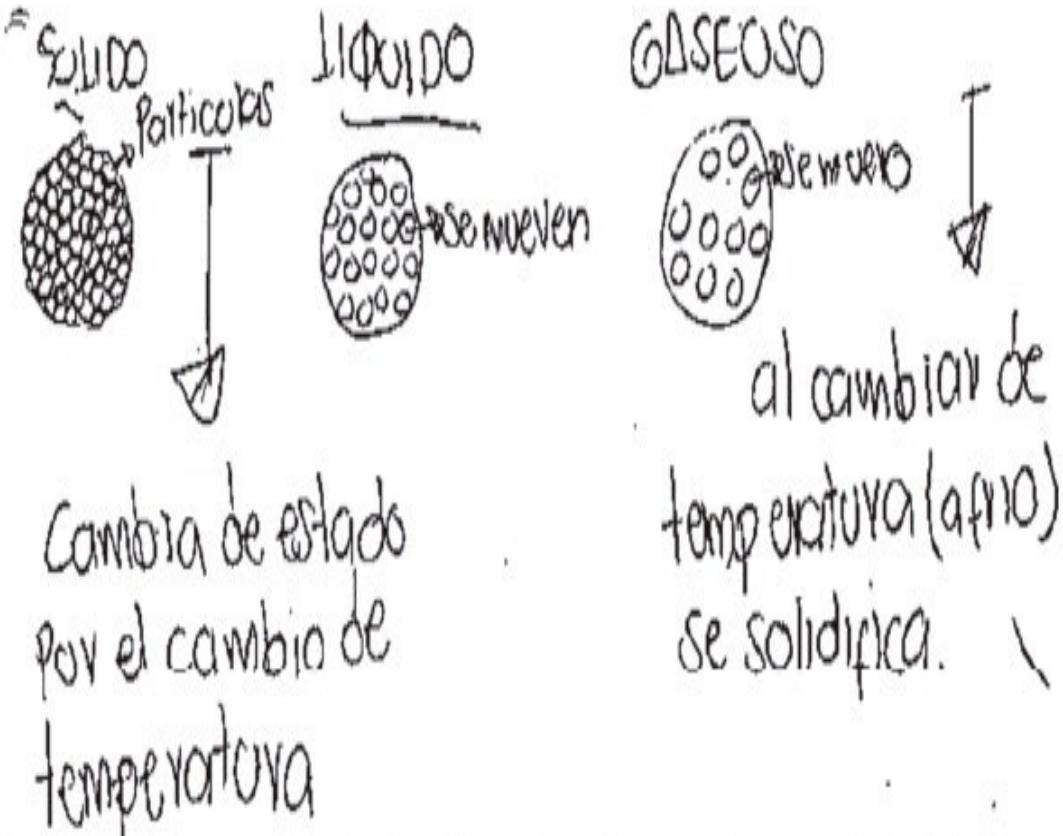
desde ese momento puede comprender la necesidad lógica de la permanencia de la cantidad, hasta en lo más mínimo, a pesar del cambio de forma. Es claro que la plastilina, el objeto de la transformación (física y mental), es algo tangible y por tanto imaginable; por ello Piaget designa esta transformación mental como una operación concreta. Pero cuando un líquido se transforma en gas lo que permanece bajo tales apariencias diferentes ya no es una cosa manipulable y concreta. Así, comprender las transformaciones de la materia en términos de cambios en las relaciones entre entidades que permanecen sin variaciones a pesar del cambio de apariencia requiere un pensamiento cualitativamente distinto al concreto. Pues son entidades de un tipo muy diferente al de las cosas de nuestra experiencia sensorial, que ya no son imaginables sino solo "manipulables" lógica y verbalmente, es decir mediante el pensamiento formal. De hecho, lo único que por lo pronto sabemos de ellas, y esto gracias a un razonamiento hipotético-deductivo, es que son lo que quedaría de una sustancia luego de trocearla una y otra vez hasta que ya no sea posible continuar con el proceso, porque se llega a entidades indivisibles. Este razonamiento es lo único que permite concebir la sustitución de la sustancia continua de nuestra experiencia por una colección discontinua de cosas separadas por el espacio vacío, aunque espacial y dinámicamente relacionadas entre sí de diversas maneras, según se trate de un sólido, líquido o gas; razonamientos todavía más sofisticados explican la transformación entre estas formas, o cualquier otra transformación de la materia, como un cambio del tipo de relaciones entre sus constituyentes elementales.

No piense el lector que nuestra expectativa al plantear esta tarea es que los estudiantes conciban por su cuenta la secuencia de razonamientos en que consiste la explicación corpuscular de los fenómenos que han observado. Pues el objetivo no es contribuir al aprendizaje de los contenidos curriculares correspondientes, sino simplemente ofrecer oportunidades estimulantes del pensamiento explicativo e hipotético-deductivo. Por tal motivo es esencial que el docente a cargo de la actividad no coarte en absoluto la autonomía de los estudiantes para buscar una interpretación de lo observado en cualquier dirección que se les pase por la cabeza. Ello demanda mantener un clima social en la clase muy diferente al ordinario, y en especial un modo de ejercer la autoridad limitándola a los aspectos de convivencia. Al respecto, vale la pena mencionar de paso que hemos observado en todas las clases Pensar con la Ciencia que la disciplina nunca es un problema, pues la motivación intrínseca es alta.

El análisis de las hojas de trabajo que recogen las producciones de los

estudiantes respondiendo a la pregunta 3.3 (teniendo también en cuenta la respuesta a la pregunta 3.2) muestra que el objetivo de propiciar el pensamiento autónomo de los estudiantes se logró en gran parte, aunque de las 20 respuestas obtenidas tan solo siete trascendieron del nivel descriptivo macroscópico al explicativo microscópico. Tres de estas representan gráficamente la concepción discontinua de la materia; pero solo una de ellas, mostrada en la Figura 5.9a, explica el proceso de fusión o evaporación por la separación de las partículas debida al calor suministrado. Las otras dos se limitan a diferenciar los tres estados mediante la mayor o menor separación de las bolitas que representan las moléculas, sin considerar el cambio de estado mismo. La Figura 5.9b muestra una curiosa y elaborada respuesta explicativa analógica, en la que se compara la condensación del vapor dentro del tubo con la condensación del agua en una lata con una bebida fría (se habla de ‘partículas de frío’, que se unen a las partículas de aire). Las otras tres respuestas en esta categoría son verbales. Por ejemplo: Al estar un cuerpo en estado sólido los átomos se encuentran unidos por la fuerza de cohesión, al aumentar la temperatura pasa a estado líquido y los átomos siguen unidos. Y al aumentar aún más la temperatura este se evapora y los átomos se esparcen en direcciones opuestas. Una segunda es lacónica: los átomos con el calor se dispersan o se unen volviendo al estado sólido [al enfriarse] (se ha tenido en cuenta la respuesta dada a la pregunta 2).

(a) Respuesta explicativa usando el modelo de bolitas (3 respuestas)



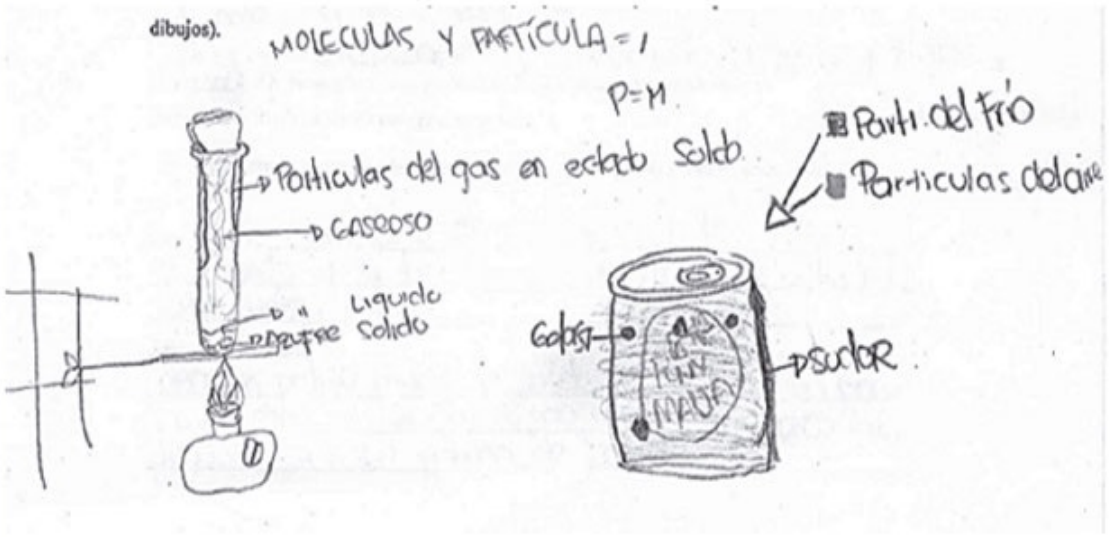
3. Cuando esta en Estado Solido estan las particulas unidas al calentarse pasa a estado liquido por la separacion de estas y cuando pasa a estado Gaseoso se separan mas y al cambiar de temperatura este estado Gaseoso no sigue en movimiento y se pega hacia. Paredes. esto ocurre por la separación de Particulas y por el cambio de temperatura.

Cuando está en estado sólido están las partículas unidas; al calentarse pasa a estado líquido por la separación de éstas y cuando pasa a estado gaseoso se separan más y al cambiar la temperatura este estado gaseoso no sigue en movimiento y se pega hacia [las] paredes. Esto ocurre por la separación de partículas y por el cambio de temperatura.

Figura 5.9a. Algunos resultados de la actividad en la unidad Estados de la Materia

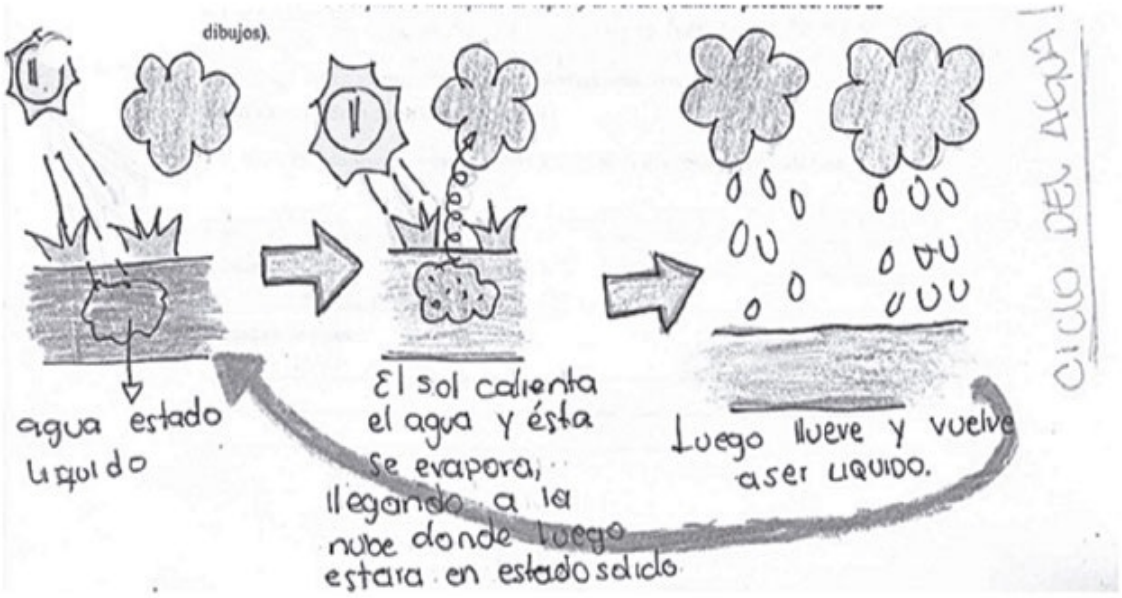
Las trece respuestas descriptivas presentan no obstante una gran variedad, aunque parecen situarse en niveles de pensamiento concreto. Cuatro acuden al ciclo del agua, en lo que equivale a recordar un ejemplo o instancia adicional de procesos macroscópicos y más familiares de cambios de estado (Figura 5.9c). Desde luego, ejemplificar no es explicar. Sin embargo, es evidente que estos estudiantes han ido más allá de la información dada. Algo similar se puede decir de otros cuatro grupos que interpretaron la palabra 'historia' en la consigna tomándola en su significado literario, mencionando procesos técnicos o caseros que involucran cambios de estado: Un niño iba a hacer el arroz pero no había agua así que usó cubos de hielo y los calentó a altas temperaturas, el hielo se volvió agua y se evaporó entonces el niño así entendió los estados de la materia. Es claro que tanto estas cuatro respuestas como las respuestas del tipo 'ciclo del agua' se refieren a contextos externos a la clase, interpretando la consigna en términos generales. En cambio, otras cuatro respuestas solo hablan de las sustancias que fueron objeto de estudio durante la clase, limitándose a atribuir su fusión o evaporación a la acción del mechero (mediante dibujos, o en la respuesta a la pregunta 3.2). Por último, una respuesta sugiere un modo de razonamiento que Piaget llamaría "infralógico": Se pueden pasar [las sustancias] de un estado a otro porque para eso fueron creadas las propiedades de la materia, ya que el sólido que es polvo se puede convertir en líquido o en gas. La conclusión general del análisis es que la generación de una explicación es un desafío considerable para los estudiantes en nuestra muestra (en el capítulo 7, nota 51, informamos sobre su tamaño, edad promedio, distribución de género). Otra conclusión que se puede extraer es que la enseñanza previa de la teoría corpuscular parece dejar una huella débil en la mayoría de los estudiantes, corroborando una gran cantidad de las investigaciones a las que nos referimos en el capítulo 2.

(b) Modelo analógico (ver texto)



Creemos que tiene que ver algo con lo que pasa con la pony malta porque cuando está a temperatura ambiente se le pegan las partículas del aire y cuando se mete a la nevera las partículas de aire que se pegaron a la lata se unen con las partículas del frio y al ocurrir este cambio tan brusco de temperatura se forma como una especie de neblina que pasa a gotas y después al sudor de la lata. Esto pasa con el tubito pero al contrario, porque es con calor en vez de frio.

(c) Modelo tipo 'ciclo de agua" (4 respuestas).



Figuras 5.9b y 5.9c

5.2.3.2 Explicando la disolución

La segunda unidad de la secuencia para la competencia de explicar mediante modelos formales, la unidad 24, pretende llevar un paso más allá el esfuerzo explicativo de las transformaciones de la materia por parte de los estudiantes. Si en la primera, sobre los cambios de estado, tenían plena autonomía para construir su historia explicativa y el correspondiente modelo de la estructura de la materia para los procesos observados, en esta se les sugiere construir su explicación desde el modelo atómico. En efecto, veamos lo que plantea la hoja de trabajo para la unidad (ver Apéndice 2). Las actividades 1 a 3 están dirigidas a la descripción de las observaciones realizadas sobre diversos procesos de disolución o no disolución, y en especial de la sorprendente propiedad de la disolución del cloruro de sodio en agua con respecto a la variación del volumen antes y después del proceso[45]. La actividad 4, titulada REFLEXIONES Y EXPLICACIONES, se inicia con un recuadro en un tipo de letra y de espaciamiento diferente al del resto del texto. La frase así destacada recuerda la idea esencial del modelo atómico: Los científicos piensan que todas las sustancias están constituidas por moléculas entre las cuales no hay nada. Con ello se espera activar los aprendizajes escolares previos relevantes, y así orientar la actividad explicativa en el único sentido que explica satisfactoriamente la disolución, y elevar el nivel de desafío cognitivo mucho más allá del pensamiento concreto.

En efecto, tras el recuadro, la hoja de trabajo plantea de lleno la tarea central de la unidad: ¿Según esta teoría, que ocurriría a las moléculas de la sal cuando esta se disuelve en agua? En la sección anterior hemos analizado en general la enorme dificultad cognitiva que representa aplicar la idea cualitativa básica de la concepción atomística para explicar y así comprender científicamente las transformaciones macroscópicas de la materia. Aquí elaboramos un poco más este análisis con respecto a lo que supone interpretar la información dada en el recuadro y utilizarla para responder la pregunta 4.1.

Responder con sentido la pregunta requiere relacionar de manera significativa los fenómenos observados con la hipótesis de los científicos expresada en el texto antecedente. Comprender ese texto exige ser capaz de operar mentalmente no solo con las representaciones imaginativas de los objetos visibles y tangibles,

sino con una descripción verbal de cómo se supone que son las cosas a un nivel de realidad inaccesible a los sentidos. No vemos las moléculas que, según la teoría científica, constituyen las sustancias percibidas, y por lo mismo no son imaginables. Para hablar de ellas es necesario construir una representación mental de lo que no es representable a partir de la percepción, de modo que podamos hacer inferencias a partir de las ideas expresadas en el texto. La realidad visible, que aparece ante nuestra vista como algo continuo, macizo, sin "huecos", debe ser sustituida por una "realidad" discontinua, "llena de vacío", en el cual se mueven o reposan las misteriosas moléculas. Tal "realidad irreal" solo puede ser construida y representada mediante conceptos significados mediante palabras[46]. En esta tarea los estudiantes han de operar en consecuencia sobre un modelo mental o teórico de la realidad, no sobre la realidad misma percibida, un modelo que puede ser sujeto tan solo a operaciones lógico-verbales. En este sentido, podemos decir que se trata de un modelo formal. En contraste, los "modelos concretos" de la estructura microscópica de la materia son tangibles; nos estamos refiriendo desde luego a los modelos formados por esferas macizas conectadas mediante barras rígidas —en el caso de los sólidos—, o adyacentes entre sí pero sin ligaduras rígidas —en el caso de los líquidos—, o simplemente dispersas —en el caso de los gases—. Volviendo a los modelos formales, la única manera de manipularlos —por supuesto mentalmente— es mediante operaciones formales, lo cual explica el nombre que hemos utilizado para referirnos a ellos.

La coordinación de varias operaciones formales aplicadas al modelo atómico —considerado como lo que propiamente es: una estructura teórica abstracta— permite comprender cómo es posible el fenómeno que se desea explicar: la disolución de la sal en el agua sin cambio de volumen. Estas operaciones consisten en concebir primero el estado inicial: por un lado las moléculas del agua y por otro las "moléculas de sal"[47], ocupando regiones separadas del espacio y relacionadas entre sí según sus respectivos estados de agregación (líquido la primera y sólido la segunda). Con posterioridad se concibe el estado final, en el que las moléculas de sal están unidas a las de agua en movimiento, ocupando los huecos que había entre estas, de modo que el volumen de agua no cambia. El proceso que lleva del estado inicial al final se puede explicar en términos de la diferencia entre las fuerzas que unen a las moléculas de sal en el cristal y a las fuerzas que unen las moléculas de agua y las moléculas de sal, siendo las últimas mayores que las primeras. Estas operaciones son lógico-verbales y formales, repetimos, aunque se pueden representar con propósitos didácticos en términos del modelo concreto y visual de esferas macizas, como el

que aparece en la Figura 5.10.

Como era de esperarse, solo unas pocas respuestas obtenidas a la pregunta mencionada se acercan a la anterior explicación, la más elaborada al alcance de los participantes teniendo en cuenta el conocimiento al que han sido expuestos sobre la estructura atómica. La que más se aproxima aparece en la Figura 5.11a. Además de la anterior, solo otra respuesta alude al espacio intermolecular, aunque de forma confusa. Algo menos de la mitad de las respuestas se limitan a hablar del carácter molecular de la sal (Figura 5.11b). Esto quizás tiene relación con el hecho de que la pregunta se refiere en particular solo a las moléculas de sal. Un poco menos de un tercio de los grupos aplicaron el modelo molecular a ambas sustancias (Figura 5.11c). Una sola respuesta es dualista, en cuanto combina la concepción corpuscular con la continuista, pues se considera a las moléculas como sumergidas en un medio líquido (Figura 5.11d).

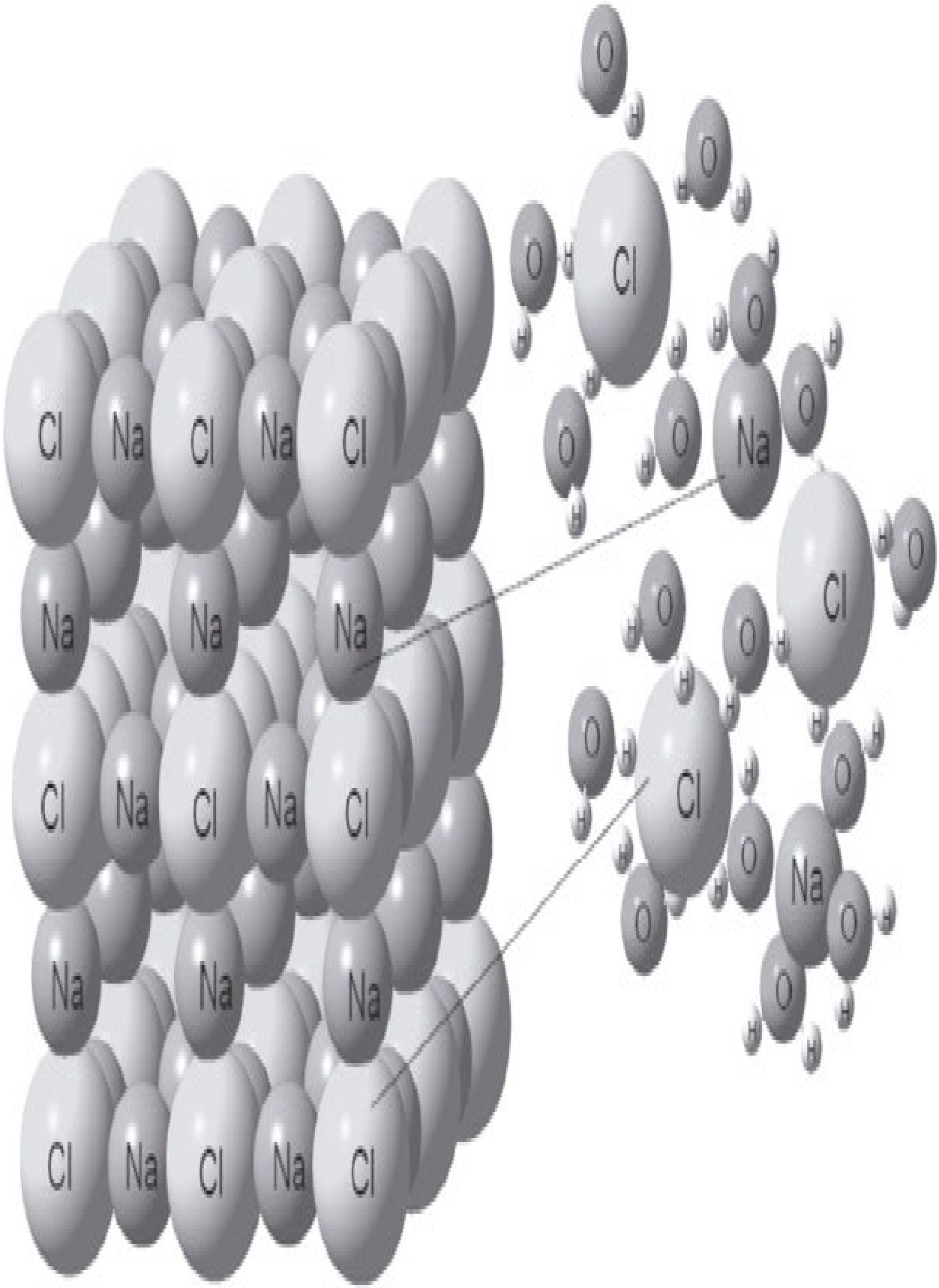

Cl
Na
Cl
Na
Cl
Na
Na
Na
Cl
Na
Cl
Na
Cl
Na
Na
Na
Cl
Na
Cl
Na
Cl
O
H
O
Cl
O
O
Na
O
O
O
Cl
O
O
O
Cl
O
O
Na
O
O
O

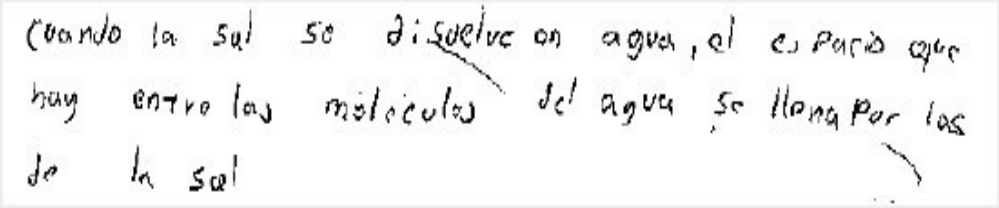
Figura 5.10. Representación didáctica del modelo molecular de la disolución de la sal

Podemos observar que los estudiantes, en el peor de los casos, se vieron forzados a interpretar y operar de forma verbal sobre la hipótesis aludida, transformándola y aplicándola a la situación. Esta transformación constituye el objetivo de la actividad, puesto que estas operaciones son características del pensamiento formal. Es decir, a pesar de la falta de profundidad de las narrativas explicativas y de la modelación, la misma naturaleza de la tarea les exige pensar proposicionalmente. El desafío de articular por escrito su argumentación también corresponde al nivel formal.

5.3 ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LAS ACTIVIDADES

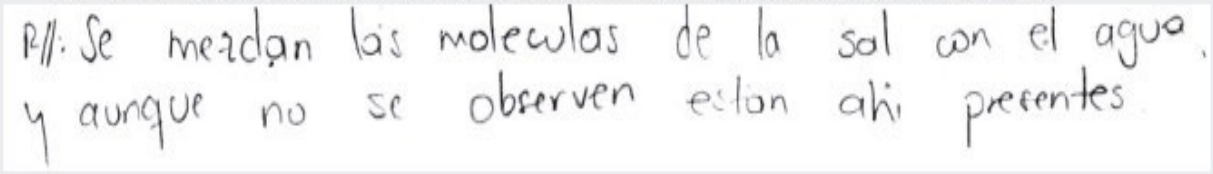
Para concluir, lo invitamos a analizar las actividades de clasificación y explicación que hemos presentado en este capítulo desde el punto de vista didáctico. Surgen varias inquietudes y preguntas que vale la pena discutir. Ante todo, podría parecer que las actividades fueron un fracaso, en especial las que hemos visto en 5.2, puesto que no muchos estudiantes llegaron a la respuesta correcta desde el punto de vista científico o al menos accedieron al nivel explicativo. Esta reacción indicaría que el interés del docente está centrado en el producto escrito de la actividad, en lo externo, cuando en realidad el producto esencial de las actividades de intervención en el desarrollo cognitivo es la impronta que queda en el cerebro plástico de los estudiantes. Por otra parte, no hay que olvidar la puesta en común metacognitiva que cierra la unidad. Es el momento en que el docente proporciona la realimentación sobre el desempeño de los diferentes grupos para consolidar sus competencias científicas; en las clases de ‘entrenamiento del cerebro’ esa realimentación se centra, ya lo hemos dicho, no en el contenido conceptual de la clase, sino en el esquema de razonamiento correspondiente. Por tanto, la discusión ha de centrarse en las unidades analizadas en 5.2, en la diferencia entre descripción y explicación, por ejemplo, comparando las respuestas de los diferentes grupos.

(a) Referencia al espacio intermolecular (2 respuestas)



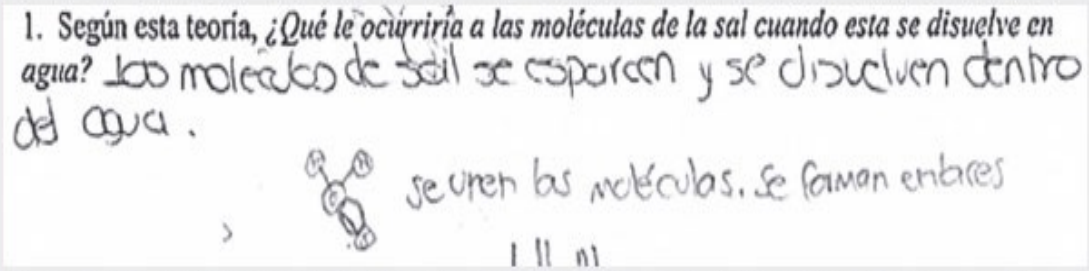
Cuando la sal se disuelve en agua, el espacio que hay entre las moléculas del agua se llena por las de la sal.

(b) Referencia únicamente a las moléculas de sal, no a las de agua (10 respuestas)



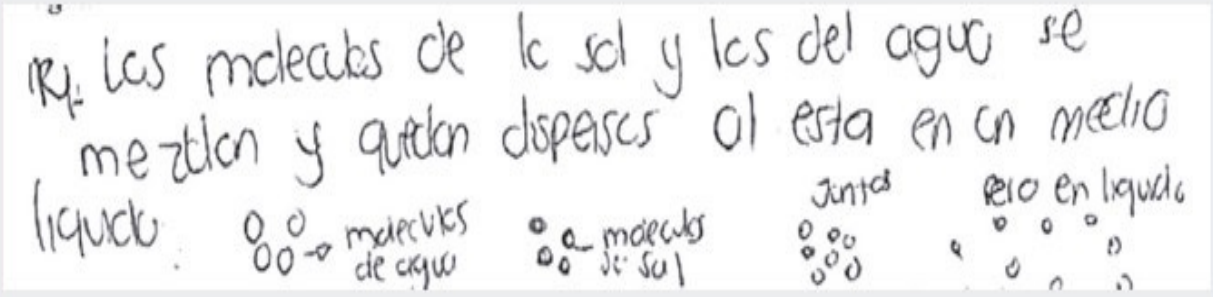
Se mezclan las moléculas de la sal con el agua y aunque no se observen están ahí presentes.

(c) Referencia a las moléculas de ambas sustancias (8 respuestas)



Las moléculas de sal se esparcen y se disuelven dentro del agua. // Se unen las moléculas. Se forman enlaces

(d) Modelo dualista: Interacción entre las moléculas de ambas sustancias, compatible con una concepción continuista de la materia (1 respuesta)



Las moléculas de la sal y las del agua se mezclan y quedan dispersas al estar en un medio líquido

Figura 5.11. Modelos construidos por los estudiantes para explicar la disolución de la sal (total de respuestas: 23; 2 respuestas no incluidas en ninguna de estas categorías)

¿Con qué propósitos y cómo utilizaría los materiales que hemos descrito en sus propias clases? Nuestra experiencia nos indica que los docentes, cuando los examinan por primera vez, inmediatamente se limitan a verlos como recursos valiosos para enseñar los respectivos contenidos curriculares. En efecto, de buenas a primeras la actividad del calentamiento de sustancias parece una práctica de laboratorio diseñada para enseñar los conceptos de fusión, evaporación, condensación y solidificación, que tienen un lugar destacado en el "currículo estándar" de ciencias naturales de cuarto a sexto de educación básica. De igual manera, la actividad de la disolución parece ser un simple recurso para enseñar los conceptos de soluto, solvente, etc. y quizás también para ilustrar la discontinuidad de la materia, uno de los contenidos fundamentales de la ciencia que se debe introducir en los grados sexto y séptimo. Pues es bien sabido que uno de los estándares básicos de competencias para los grados sexto y séptimo dice: "Establezco relaciones entre las características macroscópicas y microscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen" (MEN, 2004). Si ese fuera su caso, entonces cabe preguntarse hasta qué punto si establece como propósito esencial de las actividades la enseñanza de estos contenidos es compatible con el propósito para el que las unidades fueron diseñadas: contribuir al desarrollo cognitivo de sus estudiantes.

Una reflexión somera le permitirá comprender que, en un primer momento, el último objetivo indicado debe tener prioridad, y ello por dos razones. La primera es que, en caso contrario, la responsabilidad de conducir a los estudiantes hacia el modelo científico crea un clima evaluativo en el que lo importante es llegar a la respuesta correcta, disminuyendo así su potencialidad para estimular el desarrollo mental. El segundo motivo para priorizar el objetivo cognitivo es que la comprensión de los conceptos de la ciencia requiere que el estudiante haya estructurado su pensamiento formal; por ello no es suficiente la competencia didáctica del docente. Recordemos lo dicho en el capítulo 2: la dificultad más formidable que los estudiantes encuentran al enfrentarse con tales contenidos

estriba en las características inherentes a los contenidos y a los estudiantes; concretamente, a la diferencia entre el nivel de abstracción de los primeros y el desarrollo cognitivo de los segundos. Los conceptos científicos trascienden el pensamiento cotidiano, como se muestra por el carácter fuertemente contraintuitivo de las teorías científicas, contrario a las expectativas del sentido común.

Sin embargo, en un segundo momento, en las clases ‘normales’ dirigidas a la enseñanza y aprendizaje de los contenidos curriculares, el docente puede utilizar las observaciones y discusiones realizadas en la clase de Pensar con la Ciencia, de acuerdo con el último de los pilares de la propuesta: conexiones. Invitamos al lector a repasar la parte correspondiente de la sección 4.2.

Ahora bien, para acercarse al objetivo de promover con estas actividades la formación a largo plazo del pensamiento científico, se requiere que el docente las utilice de una manera adecuada a este objetivo. Es por esto que en el siguiente capítulo detallaremos las actitudes y capacidades docentes propicias para este efecto.

APÉNDICE 1:

HOJA DE TRABAJO PARA LA UNIDAD 23

Explicando los estados de la materia

Actividad 1. Observación de la primera sustancia: ácido esteárico.

Cuidadosamente observen lo que sucede cuando el profesor calienta la primera sustancia, que se llama ácido esteárico.

Discutan con sus compañeros lo que pasa durante el calentamiento. Describan en el espacio en blanco lo que sucede antes, durante y después del calentamiento. Algunas de las palabras que te pueden ayudar a describir lo observado son las siguientes:

fusión, ebullición, congelación, gas, sólido, líquido, condensación, evaporación, solidificación

Actividad 2. Ahora su grupo o su profesor calentará estas otras sustancias:

parafina, soldadura de estaño, azufre, yodo

•Pónganse de acuerdo sobre cómo van a describir lo que observan en cada caso:

2.1. Parafina:

2.2. Soldadura de estaño:

2.3. Azufre:

2.4. Yodo:

Actividad 3. Luego de haber visto cada sustancia en diferentes formas, contesta las siguientes preguntas:

3.1 ¿Cuáles son estas formas?

-

A estas formas se les puede llamar estados de la materia

-

3.2. Habrán observado que al finalizar las experiencias con el ácido esteárico, el yodo y el azufre, las sustancias se habían depositado en las paredes del tubo ¿Cómo pueden explicar esto?

3.3. Escriban una historia para explicar cómo es posible que las sustancias puedan transformarse del estado sólido al líquido o del líquido al vapor y al revés (También pueden servirse de dibujos).

APÉNDICE 2:

HOJA DE TRABAJO PARA LA UNIDAD 24

Explicando la disolución

Actividad 1. Cuidadosamente observen qué pasa cuando su profesor mezcla ácido esteárico con agua y posteriormente con acetona. Describan lo observado.

Algunas palabras que pueden usar: disolver, soluble, insoluble, solución, líquido, sólido, disolvente

Actividad 2. Comprueben la solubilidad de las otras sustancias en los diferentes solventes, de acuerdo con las siguientes tablas y describan lo observado.

Sal
Agua
Tíner

2.1. Sal (agua - tíner)

2.2. Azufre (agua)

Azufre
Agua

2.3 Ácido esteárico (removedor)

Ácido esteárico
Removedor

Contesten las siguientes preguntas, teniendo en cuenta la demostración del profesor, los experimentos que ustedes realizaron, y su experiencia:

2.4. ¿Qué sustancias son solubles en agua? (Traten de encontrar al menos dos ejemplos)

2.5. ¿Qué sustancias son insolubles en agua?

2.6. ¿Qué solventes disuelven el ácido esteárico?

Actividad 3. Observen nuevamente la disolución de la sal que hará el profesor, pero esta vez midiendo el volumen del agua antes y después de agregar la sal

3.1. ¿Qué le sucede al volumen del agua cuando se le adiciona sal?

Observen el calentamiento de la solución salina.

3.2. ¿Qué permanece en el fondo después de la evaporación?

3.3. ¿A dónde se fue el solvente (el agua)?

Actividad 4. REFLEXIONES Y EXPLICACIONES

Los científicos piensan que todas las sustancias están

constituidas por moléculas entre las cuales no hay nada.

4.1. Según esta teoría, ¿qué le ocurriría a las moléculas de la sal cuando esta se disuelve en agua? (si lo prefieren pueden explicar lo que piensan mediante dibujos)

4.2. ¿Cómo podrían explicar lo que sucede en las otras observaciones realizadas?

4.3.¿Cómo podrían explicar lo que sucedió con el volumen del agua en la actividad 3?

4.4. ¿Cómo podrían explicar que en la actividad 3 hayamos podido recuperar la sal?

CAPÍTULO 6

COMPETENCIAS DIDÁCTICAS PARA UN CURRÍCULO COGNITIVO

Es en y por la investigación como el oficio de maestro deja de ser un simple oficio y supera incluso el nivel de una vocación afectiva para adquirir la dignidad de toda profesión que constituye a la vez arte y ciencia, pues las ciencias del niño y de su formación son más que nunca terrenos inagotables.

(PIAGET, 2001, p. 150)

De una manera general puede decirse que cuanto más se trata de perfeccionar la escuela más dura es la tarea del maestro, y cuanto mejores son los métodos más difícil es su aplicación.

(PIAGET, 2001, p. 142)

Toda mejora de la calidad educativa pasa por la formación del docente (Barragán, 2014; MEN, 2013). ¿Qué debe saber, y saber hacer, el docente de ciencias para formar estudiantes científicamente competentes, a través de un currículo cognitivo con las tres componentes que hemos descrito? Las dos citas que encabezan el capítulo nos sugieren las dos dimensiones del conocimiento profesional del docente que lo habilitan para contribuir con eficacia a la formación científica de sus estudiantes: por una parte, las competencias científicas que desea para sus estudiantes y que por consiguiente él mismo necesita tener; por otra, las competencias didácticas que lo facultan para acercarse a realizar ese deseo en su práctica cotidiana. Las primeras lo cualifican, además, como un investigador de los problemas de su contexto, de los procesos de enseñanza y aprendizaje, etc. En este capítulo nos centramos en la descripción de las competencias didácticas para un currículo cognitivo, dejando para el siguiente una discusión breve acerca de los procesos de

formación profesional que conducen al perfeccionamiento de ambos tipos de competencias en el docente en ejercicio.

Es indudable que un currículo cognitivo requiere un cambio en el papel del docente. En la metodología convencional suele ser el de un dispensador de conocimientos, que se aceptan por su autoridad como hechos indiscutibles. Detrás de esta manera de concebir la profesión docente se encuentra la idea de que el conocimiento es como una especie de sustancia, que se puede trasvasar de la mente del docente a la del estudiante. Pero el conocimiento y las competencias intelectuales se adquieren en realidad mediante un proceso de construcción, tanto interna al estudiante como social. En un currículo cognitivo, a partir del reconocimiento de la necesidad de la actividad de los estudiantes para esa apropiación, individual y colectiva, el docente debe asumir otros papeles. Debe ser un motivador, que anima y da confianza a todos los estudiantes a pensar por su cuenta y riesgo, sin temor a equivocarse; debe ser mediador de su desarrollo cognitivo, por ejemplo a través de actividades como las que hemos compartido en este libro; por supuesto, debe también facilitarles la entrada en los mundos conceptuales de la ciencia, pero desde la comprensión de las razones y evidencias que los sustentan. En una palabra, debe hacer realidad el ideal de los estándares de competencias, de “aproximarse al conocimiento como científico natural” (MEN, 2004).

Desde luego, asumir estos papeles es todo un reto para el docente. Para ello requiere afinar y ampliar sus competencias docentes. Las características de un docente comprometido con un currículo cognitivo se pueden organizar en tres grandes categorías: sus principios, valores, actitudes y motivaciones como educador; las características referentes a sus creencias y conocimientos sobre la educación, los educandos, el currículo, etc.; por último sus habilidades prácticas, que le permiten desempeñarse según sus principios y en coherencia con sus creencias y saberes. En la Tabla 6.1 se resumen algunas de estas características docentes específicas para el currículo cognitivo.

Acerca de la primera categoría no hace falta decir mucho: si el lector ha llegado hasta aquí es presumible que su interés primordial como educador es desarrollar el potencial de sus estudiantes al máximo posible. En cambio, debemos ser algo más explícitos en cuanto a los conocimientos deseables sobre el funcionamiento y el desarrollo mental y emocional del estudiante, las diferencias interpersonales en sus características, el aprendizaje de los conceptos y modos de razonamiento científico, etc., cuya movilización en su labor profesional es fundamental para

estimular al máximo el desarrollo intelectual (sección 6.1). Pero es la tercera categoría la que amerita una atención particular. En la sección 6.2 proseguimos detallando las características indicadas en la Tabla 6.1, más relacionadas con sus acciones pedagógicas en general. Por último (sección 6.3), nos dedicaremos a las habilidades prácticas más específicas de las actividades dirigidas a mediar en el desarrollo intelectual. Advertimos que no pretendemos sintetizar “la base de conocimientos y habilidades” para la profesión docente (Shulman, 2001), aquello a lo que debería apuntar la formación inicial, en servicio y avanzada; nuestro propósito es destacar aquellos aspectos esenciales para acercarse a lo que se ha llamado un currículo cognitivo.

1. Tiene altas expectativas sobre TODOS los estudiantes, sin desconocer su diversidad individual y la
2. Enfatiza los procesos mentales superiores —razonar, comprender, aplicar, sintetizar, evaluar... —, r
3. Indaga, como un referente esencial del proceso formativo, los procesos mentales e ideas de sus estu
4. Inspira y motiva a los estudiantes a comprometerse con el mayor esfuerzo cognitivo que la formaci
5. Modela las acciones, actitudes y valores que quiere infundir: cuestionarse sin conformarse con la p
6. No suplanta a los estudiantes en lo que pueden hacer por sí mismos, no siendo complaciente con su
7. Es consciente de que su acompañamiento no puede sustituir la actividad mental constructiva del al
8. Centra la atención de los estudiantes en la estructura del tema o en las conexiones conceptuales, y r
9. Gestiona con soltura las dinámicas del trabajo grupal: organizar los equipos de trabajo, y el tiempo
10. Es flexible, y sabe adaptarse a diferentes condiciones de enseñanza: número y preparación previa

Tabla 6.1. Algunas características del docente en un aula centrada en la formación del pensamiento científico y de las competencias cognitivas

6.1 CREENCIAS Y CONOCIMIENTOS PEDAGÓGICOS Y PSICOLÓGICOS

En primer lugar, para implementar un currículo cognitivo exitoso es necesario que el docente esté convencido de que todos sus estudiantes pueden ser pensadores independientes, autónomos, críticos y efectivos, a pesar de las diferencias de interés, de facilidad o de rapidez de comprensión, y por supuesto de desarrollo cognitivo. Así, pues, ha de tener unas altas expectativas sobre lo que los educandos pueden lograr con actividades adecuadas a su nivel y en condiciones de aula apropiadas (Tabla 6.1, ítem 1). Pero desde luego estas expectativas han de ser a la vez realistas, acomodándose a las restricciones de la vida del aula, del centro escolar y de los contextos sociales, y a la diversidad entre los estudiantes. Esta acomodación supone el bagaje de conocimientos teóricos, pedagógicos y psicopedagógicos, que le ha proporcionado la reflexión sobre su experiencia profesional y la formación recibida. En especial, supone el conocimiento sobre las características cognitivas y afectivas del alumnado, tanto las individuales como las comunes según su edad, sexo, condición socioeconómica, étnica y cultural. Esta familiaridad es decisiva para enfrentar una de las más frustrantes situaciones para los docentes: la falta de motivación de aquellos estudiantes cuya “autoestima académica” es baja, que se ven a sí mismos como si estuvieran incapacitados por naturaleza para tener éxito escolar. Aunque la finalidad de las actividades del estilo Pensar con la Ciencia no es producir esa motivación, de hecho es uno de los efectos más inmediatos que producen. Ofrecen a aquellos estudiantes que albergan actitudes pesimistas sobre sus propias capacidades, abundantes oportunidades de tener éxito y de sentirse competentes, a la vez que tienen ocasión de estrechar sus relaciones con los compañeros.

Esta primera característica (Tabla 6.1, ítem 1) también se refiere al conocimiento de las dificultades para el aprendizaje que son específicas del contenido científico por aprender, entre las que destacan los saberes implícitos e intuitivos adquiridos en la experiencia cotidiana que pueden entrar en conflicto con tales contenidos, y cómo tratarlos para que contribuyan al aprendizaje significativo en lugar de ser un impedimento. De nuevo, la formación inicial y el desarrollo profesional del docente han de proporcionarle este conocimiento, que forma parte del “conocimiento didáctico de los contenidos” (Shulman, 2001), ese

conocimiento práctico especial que resulta de su mismo ejercicio profesional, realizado de la mejor manera posible, reflexionando sobre sus fracasos y sus éxitos; conocimiento que guía su actuación docente de manera tanto más efectiva cuanto más implícito sea. En otras palabras, es el conocimiento de la materia que le capacita para responder, al preparar y realizar sus clases, preguntas como: ¿Cómo los estudiantes comprenden (o no comprenden) tal tema?, ¿qué analogías, metáforas o formas de presentar el tema posibilitan la comprensión?, ¿qué materiales didácticos son más apropiados?, ¿cómo fomentar y evaluar los aprendizajes mediante un inteligente cuestionamiento a los estudiantes en el aula, sin caer en los extremos facilistas de plantear preguntas triviales o preguntas imposibles de contestar?

El docente comprometido con la evolución del pensamiento en sus estudiantes sabe diseñar actividades cognitivamente exigentes, en consonancia con las expectativas que abriga sobre sus capacidades actuales y futuras (Tabla 6.1, ítem 2). Usando el importante concepto de Vygotsky tratado en el capítulo 3, sabe crear una zona de desarrollo próximo en su aula para todos sus estudiantes. En lugar de una carrera de obstáculos para cumplir el programa, llenando sus memorias de datos y palabras que a duras penas comprenden y que pronto olvidarán pasado el examen, busca proporcionarles herramientas para que puedan elaborar sus propias comprensiones y aprender de manera significativa. Estas herramientas son las capacidades mentales superiores de búsqueda selectiva de información, lectura interpretativa e inferencial, comprensión y aplicación de conceptos, razonamiento lógico, resolución de problemas, análisis, síntesis, evaluación, argumentación, toma de decisiones, trabajo en equipo. Por supuesto, estas capacidades requieren para su ejercicio de los conocimientos específicos acerca de la situación en particular, del bagaje conceptual pertinente. Por ello el currículo cognitivo combina con armonía la enseñanza de los contenidos curriculares con la mediación en la puesta en marcha de estos procesos, mediante el cual se estimula el desarrollo cognitivo y psicosocial general.

Otro elemento importante de la base de conocimientos del profesional de la educación orientado en la dirección que este libro promueve se refiere a las finalidades de la educación en ciencias en la educación básica y media. Toda esta obra está basada en una concepción explícita sobre el valor educativo de la ciencia escolar para toda la población. En esta concepción, articulada teóricamente desde la psicología, ocupa un lugar primordial la idea de que las actividades como las incluidas en Pensar con la Ciencia son un vehículo para

afianzar las capacidades mentales superiores como las mencionadas en el párrafo precedente, que en conjunto constituyen lo que hemos llamado ‘aptitud científica’. Esta es una de las finalidades del currículo de ciencias en todas las sociedades contemporáneas; nuestra Ley General de Educación define como uno de los objetivos generales de la educación básica: “ampliar y profundizar en el razonamiento lógico y analítico para la interpretación y solución de los problemas de la ciencia, la tecnología y de la vida cotidiana” (Ley 115 de 1994, artículo 20, literal c).

Las características del docente señaladas en la Tabla 6.1 que nos restan por detallar se refieren más específicamente a las habilidades prácticas del docente en un aula para desarrollar el pensamiento: formas de gestionar y organizar el aula, de interactuar con sus estudiantes, y de diseñar, ejecutar y evaluar actividades de aprendizaje.

6.2 COMPETENCIAS DEL DOCENTE PARA LA PRÁCTICA DEL CURRÍCULO COGNITIVO

El desarrollo de las competencias intelectuales se puede asimilar en ciertos aspectos al de las competencias físicas. En ambos casos se necesita practicar regularmente con el acompañamiento de un experto en la competencia que el aprendiz quiere adquirir o fortalecer, y que además tenga la "competencia docente" para ayudarlo en el proceso de perfeccionamiento progresivo de la ejecución, sin sustituirlo como único protagonista de su formación. En efecto:

¿Cómo se aprende a patinar? Desde luego no solo leyendo las instrucciones y observando a los demás, aunque estas acciones no sean desdeñables. Pero fundamentalmente usted aprende patinando, y si es un buen alumno, patinando en forma reflexiva; es decir, prestando atención a lo que hace, sacando partido de sus fortalezas y superando sus debilidades. (Blythe, 1999, p. 41)

Pero, ¿cómo se puede patinar si todavía no sabemos patinar? Dando por sentado el imprescindible desarrollo sensorio-motriz, que nos permite efectuar y controlar los movimientos básicos que se coordinan en la acción de patinar, la labor del entrenador (coach) al comenzar el aprendizaje es semejante a la de una madre que estimula y ayuda a su hijo a dar los primeros pasos. Ha de suministrar al patinador en ciernes el necesario "andamiaje", que hace posible la integración de esos movimientos en esa totalidad indivisible que es el patinar, animar en las dificultades y fracasos, y sobre todo ha de ir corrigiendo de manera progresiva los fallos. El aumento de la pericia es el resultado de una constante lucha y esfuerzo para ir más allá del nivel ya logrado, analizando reflexivamente las deficiencias puntuales en la ejecución de los sucesivos intentos e imponiéndose una meta tras otra para superarlas con la práctica supervisada. En resumen, como dice el dicho, "a andar se aprende andando".

Es importante por tanto destacar el papel esencial de la realimentación sobre el desempeño, que es proporcionada al aprendiz por parte de quien domina ya la competencia. En su ausencia, es muy fácil que el resultado de la práctica sea

afianzar las ejecuciones deficientes. El papel fundamental del entrenador en la adquisición de la competencia estriba pues en ayudar al entrenado a apropiarse e internalizar los criterios de un buen desempeño, habilitando a su discípulo para que sea este quien se autoevalúe permanentemente y de manera casi automática. En consecuencia, y aplicando estas ideas al tema del libro, otra característica del docente en un currículo cognitivo es su competencia para efectuar esa evaluación diagnóstica continua, para indagar con la mayor exactitud posible el nivel de desarrollo cognitivo de sus estudiantes, sus procesos mentales e ideas previas sobre los contenidos científicos así como su evolución, como base de la realimentación que debe proporcionar a sus estudiantes (Tabla 6.1, ítem 3). Sin embargo, esta evaluación externa debe poco a poco ser sustituida por la autoevaluación, si queremos que nuestros estudiantes lleguen a ser autónomos en su aprendizaje y su desempeño (Tabla 6.1, ítem 7).

No obstante, como toda analogía, la que asimila el desarrollo de las competencias intelectuales con la adquisición de las competencias deportivas o físicas tiene limitaciones. Por ejemplo, los procesos mentales no son observables. No podemos hacer perceptibles a los demás el curso de nuestro pensamiento. Esta diferencia implica que el docente necesita inferir el nivel de comprensión del estudiante a partir de su interacción mutua y el análisis del desempeño del último. Otra diferencia fundamental es que las estructuras o redes conceptuales tienen una importancia decisiva en las competencias intelectuales, en comparación con lo que sucede en las actividades motrices. En consecuencia, el discurso verbal, en especial el texto escrito, juega un papel decisivo en su formación. Al hablar de redes conceptuales nos referimos a las ideas que capturan las conexiones subyacentes entre diversos fenómenos o situaciones que los relacionan estructuralmente, permitiendo comprenderlos y explicarlos como casos particulares, variaciones de una categoría general (un tipo de entidad o proceso abstracto), diferenciándolos a la vez de otros hechos. Por ejemplo, los conceptos de reacción y enlace químicos y otros relacionados cubren infinidad de procesos de transformación de la materia aparentemente inconexos y a la vez los distinguen de otros procesos. Se comprende por tanto la importancia de que el docente se centre con preferencia en estas estructuras y su integración en un cuadro global (Tabla 6.1, ítem 8). No obstante, los detalles concretos referentes a los fenómenos explicados mediante esas estructuras permiten dar sentido al discurso conceptual abstracto mediante el cual las representamos externa e internamente, y por tanto no se pueden dejar de lado.

En esta sección hemos discutido de forma general la formación de las

competencias intelectuales desde la analogía con la adquisición de competencias físicas. A pesar de las limitaciones que esta analogía tiene, la hemos traído a cuento para enfatizar dos puntos importantes del nuevo papel del docente como formador de competencias:

•Necesidad de centrar la influencia educativa, no tanto en la actividad del docente, como en la actividad reflexiva y constructiva del propio estudiante al afrontar situaciones problemáticas, “la vía regia para una educación en competencias” (Gómez, 2002 , p. 118).

•Necesidad de una práctica reflexiva abundante y variada, pero sobre todo supervisada, mediante una sucesión de tareas que supongan un desafío cognitivo ajustado al nivel de competencia ya logrado pero que exija su desarrollo ulterior —esto es, tareas en su zona de desarrollo próximo, que se desplaza de forma progresiva hacia niveles crecientes de exigencia cognitiva—, práctica en la que se evalúa continuamente el desempeño del alumno y se le ofrece realimentación inmediata.

En efecto, asumir la formación de competencias como finalidad primordial del currículo exige cambiar la relación docente-estudiante-conocimiento. En la enseñanza magisterial o tradicional el flujo del conocimiento es unidireccional; la comunicación va desde el docente hacia el estudiante, dejando la evaluación del estudiante como un acto posterior al proceso de enseñanza. Es como si el entrenador se limitara a explicar y mostrar al patinador en ciernes cómo se patina, dando así por concluida su labor docente y dejando el alumno perfeccionar en solitario su habilidad patinadora; solo al “final del período” volverían a tomar contacto, para calificar la habilidad adquirida por el segundo hasta ese momento con una sentencia definitiva. En la formación de competencias es imprescindible la comunicación bidireccional entre el docente y el estudiante, de modo que la actividad de este último sea interpretada por el docente para inferir el nivel de competencia logrado por el estudiante y determinar así el paso siguiente del proceso. Ello exige que el docente deje de estar a la caza de la respuesta correcta, y sepa escuchar las respuestas incorrectas

y preguntarse el porqué de esas respuestas.

Otro aspecto fundamental del concepto de zona de desarrollo próximo es la importancia decisiva de la interacción entre pares para la construcción colectiva e individual del conocimiento y de la capacidad de usarlo. Por tanto, la formación de competencias supone la constitución de “comunidades de aprendizaje” (Bereiter & Scardamalia, 1993). Es decir, ambientes de aula en los que los estudiantes están comprometidos con las actividades formativas, en los que se ve y se vive como algo natural que sean ellos quienes asumen la principal responsabilidad por el aprendizaje, individual y colectivo, colaborando entre sí en la resolución de problemas auténticos con la asistencia del docente. Ambientes en los que se ha institucionalizado como papel del último el de gestor y animador de una comunidad de pensadores en interacción sociocognitiva que razonan con autonomía, que “hablan ciencia” por cuenta propia, no el de proveedor de respuestas a las preguntas de los estudiantes ni de controlador del pensamiento de estos mediante la calificación. Desde luego, también es papel del docente estructurar las tareas de modo que estén a cargo de los estudiantes solo aquellas partes que se encuentran en su zona de desarrollo próximo, por lo que necesita un profundo “conocimiento didáctico de los contenidos”, al que nos referimos en 6.2.

Algunas de las características del docente comprometido con un currículo cognitivo están más específicamente asociadas a su tercera componente: las actividades de intervención o mediación en el desarrollo intelectual. Aunque esta mediación se puede efectuar en el contexto de otras áreas curriculares distintas a la de ciencias naturales y siguiendo modelos diferentes al incorporado en Pensar con la Ciencia, nos centraremos en este por razones obvias. En la última sección del capítulo veremos las características más peculiares del docente de ciencias naturales requeridas para ser mediador eficaz de este desarrollo.

6.3 CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES ESPECIALES COMO MEDIADOR DEL DESARROLLO COGNITIVO

En los párrafos que siguen entrelazaremos nuestra descripción de las características de un buen mediador en el desarrollo cognitivo con la descripción detallada de cómo actúa un docente durante las actividades Pensar con la Ciencia. De esta manera esperamos que la exposición no se quede en generalidades. Lo primero que se requiere del docente es que comprenda por qué es importante dedicar parte del escaso tiempo de aula a la construcción de las estructuras cognitivas básicas de los estudiantes; así mismo, debe haber integrado este conocimiento en el marco global del saber profesional, de modo que pueda armonizar su actuación como mediador en la evolución cognitiva del estudiante con la totalidad de su actuación docente. Este convencimiento le permitirá canalizar la motivación natural de los estudiantes hacia actividades que rompen con el esquema habitual, orientándola en dirección del exigente esfuerzo intelectual requerido en las actividades de "entrenamiento del cerebro", que luego se contagiará a las clases para "avanzar en el tema" (Tabla 6.1, ítem 4). No obstante, el lema "¡Lo que importa es pensar!" debe estar siempre en el primer plano de la conciencia de los estudiantes durante aquellas clases, para recordar que en ellas no existen respuestas equivocadas. Pues una de sus características fundamentales, como ya lo hemos dicho muchas veces, es la libertad que ha de tener cada equipo de trabajo para pensar por cuenta propia, sin tener que llegar a determinadas conclusiones.

En segundo lugar el docente debe modelar para sus estudiantes las actitudes metacognitivas: ser pensadores independientes, cuestionarse con un sano escepticismo las suposiciones dadas por sentadas, no conformarse con la primera respuesta que se venga a la mente (Tabla 6.1, ítem 5). Es decir, deben arriesgarse a avanzar conjeturas que luego serán sometidas a prueba y defendidas ante los contraargumentos de sus compañeros y del docente. De hecho, estas clases especiales son una oportunidad excelente para que los estudiantes aprendan que entre la certeza completa y el silencio absoluto hay alternativas intermedias, y que la discusión racional y desapasionada entre quienes las sostienen permite acercarse a la verdad. De igual manera, se debe insistir en el uso preciso del "vocabulario del pensamiento" (por ejemplo, las palabras claves que forman las diferentes unidades Pensar con la Ciencia), en lugar de palabras vagas y

coloquiales, de significado difuso.

Respecto al conocimiento de cada una de las actividades de intervención en el desarrollo cognitivo, es esencial la familiaridad con la competencia específica que se va a fomentar en la unidad, incluyendo el significado de las respectivas palabras claves y sus relaciones (por ejemplo, predicción, variable a fijar, variable de resultado, prueba bien diseñada, muestra, combinaciones, probabilidad, modelo formal, etc.), para poderlo expresar en un lenguaje sencillo, al alcance de sus estudiantes. Desde luego, se debe comprender hasta en sus menores detalles la situación problema a la que se enfrentarán los estudiantes en la unidad y cómo se disponen y manejan, para este efecto, los correspondientes materiales de laboratorio y/o los materiales escritos que contienen los datos con los que van a trabajar en la clase (en los casos en que no sea posible que los estudiantes los tomen por sí mismos). También se deben anticipar las dificultades más probables que van a encontrar los estudiantes, las preguntas que van a hacer y cómo conviene responderlas para que no se disipe el desafío cognitivo (Tabla 6.1, ítem 6). Es necesario preparar con cuidado la introducción de la actividad, relacionándola con las actividades anteriores y comunicando, tanto expositivamente como mediante la demostración con el equipo experimental, según sea oportuno, el planteamiento del problema específico, el reto que se va a enfrentar durante la actividad, hasta asegurarse de que todos los estudiantes, incluyendo los que tienen el menor nivel de desarrollo, lo han captado de manera adecuada. Así mismo, es necesario preparar la introducción del nuevo vocabulario científico, relacionándolo con el contenido de la actividad y la situación problema investigada.

Una vez comenzado el trabajo grupal de los estudiantes, según el modelo de clase sugerido en la sección 4.3, es esencial supervisar el trabajo en los grupos, de modo que los estudiantes menos adelantados participen y haya una discusión fluida de ideas entre todos. Así, el docente ha de propiciar una verdadera construcción social de posibles hipótesis de resolución al problema y de su evaluación a la luz de los datos obtenidos y de las ideas previas. Hay que resistir la fuerte la tentación de privilegiar las ideas de los estudiantes brillantes, lo que suele ocurrir de manera tácita. En este aspecto es clave organizar a los estudiantes en grupos heterogéneos, de modo que los más adelantados desempeñen el papel de mediadores en el desarrollo cognitivo de los menos adelantados, haciendo así posible la existencia de una zona de desarrollo próximo para los últimos. Lograr esta heterogeneidad y a la vez una buena empatía entre los miembros de cada equipo requiere astucia y firmeza para

romper los grupos naturales (Tabla 6.1, ítem 9). Muchos docentes no se sienten cómodos con esta forma de organización del espacio y del tiempo de clase, por lo que parte muy importante del aprendizaje profesional para formar estudiantes competentes es llegar a manejar con soltura el trabajo grupal.

Durante el trabajo en grupo el docente visita los distintos grupos, si es necesario por propia iniciativa, pues se debe dejar claro desde el principio que los estudiantes deben trabajar con autonomía, siguiendo la hoja de trabajo que plantea los desafíos cognitivos y guía su actividad. LA MÁS IMPORTANTE HABILIDAD DEL MEDIADOR ES: saber resistir el impulso espontáneo de disipar el conflicto cognitivo (Tabla 6.1, ítem 6), lo que hace completamente inútil la actividad para su objetivo de desarrollar la respectiva competencia, si responde directamente las preguntas de los estudiantes; no es fácil resistir este impulso, pues nuestra profesión nos condiciona a comportarnos como “buenas personas” con los estudiantes, siempre dispuestos a atender sus peticiones (Creemers, 2004, p. 79). En lugar de ello, el docente debe ofrecer una ayuda ajustada al nivel psicoevolutivo de cada estudiante, debe mantenerlos en su zona de desarrollo próximo, mediante contrapreguntas situadas en un nivel intermedio entre las preguntas cuya respuesta esté a su alcance inmediato y preguntas muy difíciles, en lo que se llama el “diálogo socrático”. Pero también puede ser necesario ofrecer algunas pistas a algún grupo, lo que requiere del docente una sensibilidad especial como mediador. Otra forma de disipar prematuramente el conflicto cognitivo es aceptar respuestas simplistas o perezosas. Por ejemplo, en la actividad “Explicando la disolución”, descrita al final del capítulo anterior, el docente debe animar a profundizar a los grupos que respondan a la pregunta 4.1 con enunciados como: “las moléculas de sal se disuelven en el agua”, haciéndoles ver que están repitiendo con otras palabras la información dada en el enunciado.

Este modelo de clase establece un clima emocional en el aula en el que se respeta el pensamiento de los compañeros, haciendo subir la autoestima de los menos adelantados. Es necesario que el docente no se ponga nervioso ante el aparente aumento de indisciplina que se produce en el trabajo en grupo. La reacción que debe tener el docente cuando los estudiantes se extrañan de que el docente no asuma el papel tradicional de dispensador de las respuestas correctas es insistir en lo característico de las clases para “entrenar el cerebro”, con frases como: ‘recuerden que ustedes son científicos’.

El docente requiere habilidad para manejar el tiempo de la clase y evitar que los

estudiantes se entretengan demasiado en el trabajo grupal (Tabla 6.1, ítem 10), sin preocuparse en exceso por llegar a consensos o terminar la actividad dentro de cada grupo. Cuando se acerque el final del período de clase, se debe recordar a los estudiantes que lo importante es haber enfrentado el problema en grupo, haber considerado y argumentado algunas hipótesis de solución; pero dado que las hojas de trabajo no serán objeto de evaluación para la asignación de la nota no pasa nada si les queda faltando una parte. Basta que todos los estudiantes hayan pensado un poco más allá del límite de su capacidad y se hayan aventurado más allá de la información dada. Lo que no debe faltar para concluir la clase es la reflexión metacognitiva en una puesta en común (Tabla 6.1, ítem 7). En esta fase es importante dirigirse a un estudiante determinado y plantear preguntas como: ¿Qué aprendiste?, ¿qué te pareció más difícil?, ¿qué fue lo más fácil?, ¿por qué...? (si estas preguntas se dirigen a toda la clase poco probable que susciten estas reflexiones; en cambio, si se dirigen a un estudiante en particular es más probable que los demás se las planteen también). Además se puede ayudar a algunos grupos a articular sus maneras respectivas de resolver el problema y luego compararlas. Conviene destacar la semejanza de las estrategias de pensamiento utilizadas con las que siguen los científicos en su trabajo, y afianzar la comprensión del vocabulario científico relacionado con esa competencia. El contraste entre las diversas soluciones dadas a los problemas por los distintos grupos facilita esta reflexión. En esta discusión también se incita a los estudiantes a establecer conexiones del trabajo realizado durante la clase con los temas tratados en las clases normales o con problemas de la vida cotidiana.

El docente puede usar según su criterio diversas estrategias didácticas complementarias como los diarios de pensamiento, los mapas mentales, la V de Gowin (Novak & Gowin, 1988), etc., para evaluar y consolidar las competencias practicadas. En cualquier caso, es recomendable que al terminar cada actividad el docente tome notas sobre los sucesos inesperados ocurridos para mejorar el trabajo futuro con la unidad, y verificar cuáles estudiantes requieren una ayuda especial.

Somos conscientes de que el desarrollo de muchas de las competencias científicas y didácticas requeridas para un currículo cognitivo que hemos intentado describir en este capítulo necesita procesos de formación inicial, en servicio y avanzada que no son comunes en nuestro medio. Por tanto, la viabilidad de este tipo de currículos está supeditada a la posibilidad de organizar tales procesos. En el último capítulo de nuestra obra haremos un breve recuento

de una exploración preliminar que hemos hecho al respecto.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

•Brubacher, J. W., Case, C., & Reagan, T. (2000) . ¿Cómo ser un docente reflexivo?: La construcción de una cultura de indagación en las escuelas. Barcelona: Gedisa (Orig.: Becoming a Reflective Educator) .

Contiene un grandísimo número de “minicasos” de las más diversas situaciones problemáticas, tanto personales como pedagógicas, enfrentadas por docentes en su práctica profesional en instituciones educativas norteamericanas. El análisis subraya el contraste entre las respuestas brindadas por los docentes principiantes y los docentes expertos, y el papel esencial que la reflexión acerca de estos episodios representa para el desarrollo profesional e institucional.

•Camargo, M., Calvo, G., Franco, M., Vergara, M., & Londoño, S. (2007). La formación de profesores en Colombia: necesidades y perspectivas . Bogotá: Universidad de la Sabana.

Reporta los resultados del proyecto de investigación Realidades y necesidades formativas de los docentes de la educación básica y media. El objetivo fue recoger la visión de una muestra de docentes colombianos sobre el tema, mostrando que en su opinión las actividades de formación permanente a su disposición no llegan a los niveles de satisfacción requeridos por las demandas sociales, en especial por la ausencia de una formación más práctica, que pueda vincularse al trabajo en el aula.

•Schön, D. (1992) . La formación de profesionales reflexivos: Hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje en las profesiones . Barcelona: Paidós (Orig.: Educating the reflective practitioner, 1987. Trad. L. Montero, J. M. Vez).

•Schön, D. (1998). El profesional reflexivo: ¿Cómo piensan los profesionales cuando actúan? Barcelona: Paidós. (Orig.: The reflective practitioner , How Professionals Think in Action, 1983).

Estas dos conocidas obras (que forman una unidad, aunque algunos capítulos son comunes) exponen con gran amplitud el tema de la reflexión en la acción, que ha inspirado una multitud de enfoques sobre el desarrollo profesional, no solo para la profesión docente sino en cualquier práctica profesional: medicina, arquitectura, derecho, etc. Se discute la complejidad y singularidad de las situaciones problemáticas que enfrentan los profesionales, marcadas por incertidumbres, complejidades, conflictos de valores, etc. Las competencias que exhiben los profesionales ante esas situaciones no pueden entenderse simplemente como la aplicación del conocimiento teórico de las ciencias; más bien se deberían describir como “habilidades artísticas”, aunque los autores describen las variadas estrategias usadas por los profesionales.

•Stenhouse, L. (1998) . La investigación como base de la enseñanza: selección de textos por J. Rudduck y D. Hopkins. Madrid: Morata. (Orig.: Research as a basis for teaching, 1987).

Antología de textos del renombrado Lawrence Stenhouse, quien fue uno de los principales adalides en los años setenta de la figura del docente como investigador de su propia práctica, y por tanto como principal responsable de su desarrollo profesional. Ofrece una defensa muy articulada y definida de la posición en el debate sobre el desarrollo curricular, que privilegia el realizado en el interior de las instituciones educativas mismas por encima del realizado por los investigadores académicos.

•Tishman, S., Perkins, D., & Jay, E. (2006) . Un aula para pensar: aprender y enseñar en una cultura del pensamiento (3a. ed.). Buenos Aires: Aique Editores.

(Orig.: The Thinking Classroom: Learning and Teaching in a Culture of Thinking , 1995)

Esta obra clásica defiende la estrategia de formar las competencias cognitivas permeando todas las asignaturas regulares con el lenguaje y los procesos de pensamiento, modelando las habilidades metacognitivas, etc. En una palabra, ofrece acertadas y prácticas sugerencias para las dos primeras componentes del currículo cognitivo que hemos descrito en el capítulo 3.

CAPÍTULO 7

¿Y CÓMO HACER REALIDAD UN CURRÍCULO COGNITIVO EN NUESTRAS AULAS?

La innovación en educación es uno

de los más espinosos desafíos

de la sociedad actual[48]

Casi sin lugar a dudas el lector se habrá estado interrogando, desde que comenzó la lectura de este trabajo, sobre las perspectivas de éxito que tiene en nuestro medio una innovación educativa tan profunda como la descrita. De hecho, somos conscientes de la justificada prevención frente a las propuestas innovadoras provenientes de cualquier otro contexto educativo que se pretenden trasplantar al nuestro. Así, pues, los lectores estarán deseosos de conocer algunos detalles acerca de los sondeos que hemos realizado con el ánimo de explorar las posibilidades de llevar a la práctica este novedoso enfoque educativo en nuestras instituciones. Al mismo tiempo le interesará conocer algunos detalles del trabajo de campo realizado, gracias al cual hemos podido ilustrar las ideas presentadas con ejemplos prácticos, tomados de clases reales dictadas por profesores colombianos que han participado en la aventura en la que nos hemos embarcado, que trabajan en diversas instituciones educativas situadas en variados municipios. Pues, como enfatizamos en la introducción, pretendemos ir más allá de la teoría para sugerir caminos asequibles de mejora en las prácticas escolares en ciencias en las aulas colombianas.

Por ello, es obligado en este último capítulo del libro hacer un breve recuento de la indagación exploratoria que hemos realizado sobre la viabilidad en nuestro sistema educativo del modelo de formación de competencias científicas expuesto. El camino metodológico para este efecto no podría ser otro que intentar transformar las prácticas escolares en unas pocas instituciones

educativas piloto en esta dirección, mediante lo que se denomina ‘investigación-acción participativa” (Elliot, 1990, 1993). Por tal motivo nos pusimos en el trabajo de escribir actividades del tipo mostrado en los capítulos 1 y 5 inspiradas en las que constituyen la colección producida por el equipo CASE en Inglaterra, contando desde luego con su permiso para su uso en esta indagación. Estas actividades fueron sometidas a una “evaluación formativa” durante los años lectivos 2003-2004 y 2004-2005 (calendario B), como describimos en 7.1. Al final del último año lectivo se obtuvo una colección similar a la original, aunque con importantes variaciones emanadas tanto de nuestro conocimiento del medio como de esa prueba piloto.

Es bien sabido que transformar perdurablemente las prácticas escolares es uno de los mayores desafíos de la educación en todos los países, como lo expresa Perkins en el epígrafe del capítulo. Estos procesos, bien sea que se limiten a una institución educativa en particular o que abarquen todo un sistema educativo, tienen como condición fundamental la transformación de los valores, creencias y conocimientos teóricos y prácticos de los docentes, aunque por supuesto también suponen cambios en la organización y la cultura escolares (Fullan & Hargreaves, 2006). Por esta razón, tras el proceso de diseño de las actividades y de escritura y evaluación inicial de los materiales Pensar con la Ciencia, el paso siguiente en la indagación que nos proponíamos hacer era diseñar un proceso de intervención en instituciones educativas interesadas en transformar sus prácticas en ciencias en la dirección de un currículo cognitivo. Esta tarea la realizamos en los años lectivos 2005-2006 y 2006-2007; en 7.2 y 7.3 haremos un breve recuento de esta intervención y de su evaluación, para terminar en 7.4 planteando algunas reflexiones conclusivas, que intentan ofrecer elementos de respuesta al interrogante que titula el capítulo final de esta nuestra “invitación a pensar sobre cómo potenciar el pensar”, que hemos intentado realizar en este libro.

7.1 DISEÑO DE ACTIVIDADES DE INTERVENCIÓN SOBRE EL DESARROLLO COGNITIVO ADAPTADAS AL CONTEXTO COLOMBIANO

Para el diseño práctico de las unidades de intervención partimos del análisis de los materiales elaborados y evaluados por el grupo CASE y publicados colectivamente en inglés en su tercera edición bajo el título Thinking Science. Para tener una experiencia de primera mano con estos materiales y en general con el modelo de intervención el primer autor realizó una estancia en el King's College, la universidad londinense a la que pertenece el grupo, en el mes de enero de 2003. Durante esa estancia, además de participar en los seminarios del grupo y en talleres de formación de docentes para la intervención en el desarrollo cognitivo, observó varias actividades de intervención en diversas instituciones educativas de secundaria.

El análisis de los materiales permitió seleccionar las actividades realizables en nuestras instituciones típicas con los ajustes convenientes por las diferencias culturales, socioeconómicas y curriculares. Por ejemplo, considerando el equipamiento de laboratorio accesible a las instituciones colombianas decidimos diseñar nuevas actividades para reemplazar algunas que requerían situaciones experimentales algo sofisticadas (en algunos casos esta selección se realizó como consecuencia del trabajo de campo). Algunas de estas unidades nuevas fueron el producto de los trabajos de grado de algunos estudiantes de las licenciaturas en Matemáticas y Física y en Biología y Química. Después procedimos a escribir una primera versión de los materiales de nuestras unidades, teniendo como referente el modelo didáctico del grupo CASE y las unidades seleccionadas. Elaboramos treinta y una unidades, algunas en dos versiones, una para el caso de que no fuera posible allegar los materiales de laboratorio requeridos, en las que se trabajaba con datos supuestos.

El diseño de las unidades y la redacción inicial de los materiales escritos fueron sometidos a una evaluación formativa, la cual, según M. Scriven, "constituye una estimación de la realización de la enseñanza y contiene en sí el importante valor de poder servir para su perfeccionamiento al facilitar la toma de decisiones durante la realización del proceso didáctico" (Cárdenas, Ladino & Zapata, 2003, p. 176). A la par de esta evaluación y el correspondiente rediseño de los

materiales y en algunos casos de las actividades mismas, se realizó también una evaluación global del programa, cuyo objetivo fue estimar el efecto acumulativo de las actividades en el desarrollo cognitivo determinado mediante valoraciones grupales, como describimos enseguida en un reporte condensado de la investigación realizada en los años 2003 a 2005 por los autores[49].

El pilotaje de las actividades se realizó en tres instituciones educativas privadas de la ciudad que cubren los estratos tres, cuatro y cinco, dos femeninas y una masculina, cuyos directivos y docentes accedieron a colaborar en este proceso[50]. Para efectos de la evaluación sumativa del proceso de intervención, uno de los cursos de grado séptimo desempeñó el papel de grupo de tratamiento, quedando los demás cursos del mismo grado como grupos de comparación o de control. En los tres colegios se comprobó la equivalencia de los grupos, en lo que respecta al nivel piagetiano de desarrollo cognitivo, en el momento de comenzar el pilotaje de las actividades (septiembre de 2003), mediante una valoración grupal de tal nivel a través de uno de los instrumentos de valoración del pensamiento formal de manera grupal a los que nos referimos en la nota 18 (página 34) del capítulo 2: Tareas de razonamiento científico: Peso y Volumen (Science Reasoning Tasks II: Weight and Heaviness), publicado por el Chelsea College (Shayer & Adey, 1986, cap. 4), y traducido al español por el primer autor de esta obra. Igualmente, al culminar el proceso de intervención al final del grado octavo (junio de 2005), se realizó una nueva valoración del nivel piagetiano de los estudiantes participantes mediante el instrumento Tareas de razonamiento científico: Equilibrio (Science Reasoning Task IV: Equilibrium in the balance). Ambas pruebas fueron realizadas por el primer autor a modo de entrevistas clínicas piagetianas (Inhelder & Piaget, 1972), pero por su carácter grupal la manipulación de los materiales es demostrada ante el grupo de estudiantes siguiendo un detallado y riguroso protocolo de aplicación. Cada estudiante reporta sus respuestas por escrito a los sucesivos ítems en un formato escrito ilustrado con figuras que corresponden a los materiales empleados en la prueba. Estas respuestas son categorizadas bajo los parámetros de un modelo cuantitativo estandarizado que acompaña al instrumento, generando una puntuación global para cada estudiante que estima aproximadamente su nivel piagetiano, según la escala que aparece en la Tabla 7.1.

En la Tabla 7.2 se comparan los resultados obtenidos en ambas valoraciones, la inicial (pretest) y la final (postest) en las tres instituciones y en los grupos de tratamiento y de control. Los grupos de tratamiento aumentaron su puntaje en mayor proporción que los de control (aunque en una institución las diferencias

no son significativas). Estos últimos dedicaron todas sus clases de ciencias al currículo normal, en lugar de recibir cada quince días aproximadamente una clase especial de “entrenamiento del cerebro”. Sin embargo, el centro de atención del proyecto no fue la evaluación sumativa de su “efecto” en el desarrollo cognitivo de los estudiantes que participaron en el estudio, teniendo en cuenta lo pequeño de la muestra, que no fue escogida de forma aleatoria, y otras muchas dificultades metodológicas que impiden efectuar atribuciones causales. El objetivo central del proyecto fue la evaluación formativa de las actividades, uno de los aspectos centrales de su diseño. De hecho, el desfase temporal entre las instituciones en la ejecución de las actividades permitió hacerles algunos ajustes intermedios en respuesta a las observaciones realizadas en la institución donde se aplicaron inicialmente.

Tabla 7.1 Escala de desarrollo cognitivo

Rango del puntaje agregado	Nivel de desarrollo equivalente	
<3	2A	Concreto inmaduro
3-4	2A/2B	Concreto intermedio
4-5	2B	Concreto maduro
5-6	2B*	Concreto avanzado
6-7	3A	Formal inmaduro
7-8	3A/3B	Formal maduro
8>	3B	Formal avanzado

Tabla 7.2 Resultados de las valoraciones del desarrollo cognitivo en los grupos de tratamiento y de comparación, incluyendo el "error estándar de la media". El valor de n señala el número de estudiantes que tomaron ambas pruebas en la institución y el grupo respectivo

Institución	Grupo	n	Pretest	Postest
1 (masculina)	Comparación	11	5,3 ± 0,35	6,0 ± 0,14
	Tratamiento	12	5,4 ± 0,16	6,4 ± 0,26
2 (femenina)	Comparación	28	4,4 ± 0,18	5,3 ± 0,13
	Tratamiento	29	4,3 ± 0,14	5,4 ± 0,16
3 (femenina)	Comparación	64	4,1 ± 0,13	4,8 ± 0,09
	Tratamiento	33	4,6 ± 0,15	5,6 ± 0,12

Las actividades fueron ensayadas en las condiciones habituales del aula y siguiendo el modelo didáctico explicado en los capítulos 4 y 6, utilizando los espacios de laboratorio existentes en las tres instituciones, bien equipados, durante el horario previsto para el curso de ciencias naturales del grado séptimo (en el primer año de la intervención) y octavo (en el segundo año de intervención). Salvo unos pocos estudiantes que se retiraron al término del primer año y unos cuantos que se matricularon en el grupo de intervención para el segundo año, los grupos de intervención y de control se conservaron intactos durante el proceso. En la institución 3 el docente fue el mismo en los dos años. En las otras dos instituciones hubo un cambio de docente en el grupo de tratamiento al término del primer año. En una de estas últimas, la docente en el grupo de intervención fue la coautora del libro, la profesora Claudia Solarte, en calidad de investigadora en el proyecto (en el segundo año del proyecto se retiró de la institución, aunque continuó su participación en el proyecto).

El investigador principal (el primer autor) asistió a todas las sesiones en las tres instituciones como observador, participando lo menos posible en el desarrollo de la clase pero estando disponible para resolver las dudas del docente e interactuando con algunos equipos de trabajo. Estos diálogos, a modo de minientrevistas, fueron registrados en videograbadora (por una asistente de investigación) para obtener datos para el análisis posterior de las actividades y su rediseño. También se usaron como datos las hojas trabajadas por los grupos, y los comentarios del docente. Los registros que aparecen en el capítulo 5 se tomaron de las primeras.

La preparación de las unidades por parte de los docentes se realizó conjuntamente bajo la dirección del investigador principal. Durante los encuentros para este efecto se discutieron los principios del modelo didáctico y se plantearon las modificaciones pertinentes de los materiales a partir de la experiencia obtenida al ensayar las actividades. En general, esta experiencia indicó la conveniencia de disminuir el nivel de desafío cognitivo de las actividades al constatar diferencias significativas entre nuestro medio educativo y el medio inglés. Por ejemplo, el nivel cognitivo de entrada que determinamos mediante la prueba inicial resultó ser apreciablemente menor que el inglés[51]; la experiencia que nuestros estudiantes adquieren con el trabajo de laboratorio es muy reducida; el modelo didáctico usual en Colombia difiere del modelo requerido para la intervención en Inglaterra; la formación inicial de nuestros

profesores de secundaria es muy diferente de la inglesa, pues en ese país los docentes han de ser especialistas en la disciplina que enseñan antes de recibir su habilitación mediante cursos de posgrado.

Culminado el proyecto, disponíamos de un modelo didáctico y de un material que queríamos poner a prueba en las condiciones normales del aula, no en las condiciones tan especiales como las descritas. En la siguiente sección diremos algo al respecto.

7.2 FORMACIÓN PARA LA INTERVENCIÓN EN EL DESARROLLO COGNITIVO EN EL MEDIO COLOMBIANO

Ensayar una innovación como la presente en una institución educativa privada dotada del equipamiento necesario, cuya buena marcha está garantizada es una cosa, y con estudiantes de estratos medios o medio altos, pero implementarla en una institución educativa oficial escasa de recursos, con estudiantes de estratos bajos, sometida a la burocracia estatal y a los frecuentes paros del magisterio es otra cosa. Y la dificultad se incrementa cuando no se hace bajo la mirada atenta de los diseñadores de la innovación sino por el docente que está en sus "primeros pinitos" con un modelo didáctico tan exigente como el que hemos presentado en este libro. Por todo ello consideramos que era obligado, en la siguiente fase de la exploración sobre la viabilidad de introducirlo en nuestro medio, realizar un proceso de intervención en instituciones oficiales situadas en entornos socioeconómicos difíciles orientado a facilitar su transformación en la dirección de este modelo en el área de ciencias. Por este motivo procedimos a plantear un nuevo proyecto dirigido a explorar la posibilidad de implementación de la innovación en instituciones representativas oficiales[52]. En el apéndice al final del capítulo se define con cierta precisión el término en negrillas en el contexto de una breve caracterización de las condiciones y el proceso del cambio escolar exitoso; la implementación del cambio se refiere a la fase central del proceso, tras su iniciación (fase inicial), y que requiere de una fase de consolidación hasta que el cambio llegue a "institucionalizarse".

Según el carácter de la innovación que se quiere emprender, el proceso de cambio escolar puede requerir de un acompañamiento por parte de asesores externos conocedores de la innovación y de un proceso específico de desarrollo profesional de los docentes participantes, a la vez interno y externo a la institución. No es difícil percibir que ese es el caso en la innovación que nos ocupa en este libro. Teniendo en consideración lo novedoso del proceso que necesitamos construir, cuyos objetivos difieren bastante de los objetivos típicos de las experiencias generalmente realizadas en Colombia de intervención institucional y de desarrollo profesional (nombre por cierto poco usado en nuestro medio), decidimos seguir, para el diseño y evaluación del que nos comprometimos a facilitar, la metodología de investigación-acción (Latorre, del Rincón & Arnal, 1996; Stenhouse, 1987, 1998). En nuestro caso, esto significa

que construimos en la acción misma el proceso de implementación, no desde presupuestos a priori, junto con los mismos directivos y docentes de las instituciones educativas participantes en el proceso. A partir de una revisión de la literatura y de un marco teórico inicial, tomado como hipótesis de trabajo, se planificaron acciones formativas y se llevaron a la práctica, evaluando su efecto sobre la marcha a través de una variedad de métodos; la reflexión sobre estos resultados, realizada en conjunto con los participantes como principales actores del cambio escolar y de su desarrollo profesional, condujo a la revisión de los planes, a nuevas evaluaciones y reflexiones, y así, sucesivamente, siguiendo el ciclo de la investigación-acción.

Los participantes provinieron de las instituciones educativas del sector oficial de los municipios no certificados de Pradera, El Cerrito y Florida[53], teniendo en cuenta las siguientes razones de conveniencia:

•Los bajos resultados generalizados de las pruebas Saber e ICFES en estos municipios.

•La participación de algunos de sus docentes en el programa de cualificación docente Programa de Formación en Ciencias Naturales , encomendado por la Secretaría de Educación Departamental del Valle del Cauca a la Universidad del Valle como actividad de extensión, realizado durante el año 2005, gracias a la cual fue posible la entrada a las instituciones.

•La alta cobertura de estudiantes por estas instituciones educativas.

•Dotación de un espacio de laboratorio para ciencias naturales apropiado en principio para la implementación del proyecto en las instituciones.

•Su vecindad a la ciudad de Cali, lugar de residencia y trabajo de los

investigadores.

•Disposición de las directivas para dar continuidad de los docentes participantes con los mismos grupos de estudiantes durante dos años lectivos consecutivamente en los grados 7° y 8° (en algunos pocos casos, en los grados 8° y 9°).

En los meses de diciembre del 2005 y enero de 2006 se efectuó la fase de "iniciación" del proceso (ver Apéndice), presentando el proyecto a las directivas y a los colectivos docentes en ciencias de las posibles instituciones y acordando con ellos los distintos aspectos de su logística. En especial, esta fase tuvo como objetivo principal asegurar el compromiso institucional por parte del rector. La intervención no se planteó como un "recibir" un programa educativo desde fuera, sino como una oportunidad de satisfacer una necesidad sentida por la institución.

La fase de implementación se realizó desde febrero del 2006, ya mediando el año lectivo 2005-2006 (calendario B), hasta julio del 2007, terminando el año lectivo 2006-2007. Comenzó con la participación en el primero de los talleres de formación para la intervención en el desarrollo cognitivo, que se realizaron bimensualmente hasta septiembre del 2007, cuando se realizó la evaluación final del proceso. En total, se efectuaron doce talleres de tres horas de duración cada uno, incluyendo el último taller de evaluación. Para el efecto, los docentes se trasladaron a la seccional de Palmira de la Universidad del Valle, situada en el centro de la región geográfica en la que se ubican las instituciones participantes. En estos talleres se combinaron elementos como:

•Diagnóstico de las concepciones, de las competencias científicas y didácticas y de las actitudes de los docentes mediante dos estrategias principales: i) cuestionario inicial; ii) análisis de las intervenciones claves de los docentes durante los talleres, que fueron grabados en video.

•Fortalecimiento de las competencias científicas de los mismos docentes mediante la ejecución de las actividades en condiciones que simulaban las que encontrarían al realizarlas con sus alumnos del aula, actuando los participantes en el papel de sus mismos estudiantes al afrontar los desafíos propuestos en las unidades de pensamiento.

•Observación y análisis de algunos segmentos de las unidades Pensar con la Ciencia previamente dirigidas por los docentes en sus instituciones y que fueron observadas por los investigadores al visitarlas (el otro gran componente del proceso), y registradas en video.

•Generación participativa de orientaciones para el manejo de los obstáculos y las circunstancias inesperadas que surgieron a lo largo del proceso, respondiendo a la evaluación formativa permanente de todo el proceso, según los lineamientos de la investigación-acción.

•Discusión y reflexión sobre la teoría psicopedagógica que sustenta el modelo didáctico subyacente en el programa; sin embargo, teniendo en cuenta la prioridad de las prácticas pedagógicas sobre la teoría a pesar de la indispensabilidad de esta para la innovación pedagógica y la centralidad del conocimiento profesional del propio docente (ver sección 2.4), se buscó invertir el orden acostumbrado en las actividades de formación en servicio, en el que lo primero es la teoría y después su aplicación.

•Transferencia de las competencias científicas y del modelo didáctico Pensar con la Ciencia a las clases normales, de modo que el currículo de ciencias en las instituciones se movilice hacia un currículo cognitivo.

•Construcción de actividades de intervención en el desarrollo cognitivo por los mismos docentes en la última fase del proceso.

Paralelamente a los talleres presenciales se hicieron regularmente visitas de acompañamiento a las instituciones participantes (al menos cuatro en cada año lectivo) para brindarles apoyo en la implementación del modelo: observaciones de clase, entrevistas individuales con docentes, estudiantes, directivos, etc. Estas visitas, además de su propósito formativo, sirvieron para adelantar los sucesivos ciclos de investigación-acción. Por ejemplo, se incluyó un elemento no previsto al comienzo: la modelación de las clases por parte de los investigadores en las aulas de las instituciones educativas participantes frente a los docentes, y la posterior discusión de los videos tomados y editados en un taller posterior. La duración de este proceso de interacción permanente con los docentes, tanto en los talleres presenciales como en sus instituciones, fue de veintidós meses, seguido luego del análisis de la documentación generada.

Veinticuatro docentes participaron en el primer taller, en febrero del 2006. Al término del primer año lectivo (julio del 2006) permanecían 18 profesores, y al término del segundo año (julio del 2007), había 10 docentes participando regularmente en el proyecto. La deserción se debió a diversos factores, entre los que destaca el traslado o retiro del docente, y la natural dificultad de mantener la participación a lo largo de un proceso necesariamente prolongado en el tiempo y bastante exigente en sus demandas cognitivas y didácticas (aunque los profesores que abandonaron el proyecto reconocieron que estaban a su alcance, si bien el hecho de que la asistencia a las actividades presenciales fuera en su tiempo libre, limitaba bastante sus posibilidades). También influyeron mucho las diversas culturas escolares de las instituciones participantes: algunos directivos docentes no pudieron hacer valer el compromiso adquirido al comienzo, suspendiendo su participación o reasignando los profesores a otros cursos. En la siguiente sección analizaremos en detalle estos obstáculos al presentar el balance general de los resultados de este proyecto y del estudio piloto reportado en la primera sección del capítulo.

De los diez profesores que permanecieron en el proyecto durante los dos años lectivos, solo tres tuvieron continuidad con los mismos estudiantes en grados sucesivos; los demás reiniciaron la secuencia de actividades con nuevos grupos-clase en el segundo año lectivo, por reorganización de los grupos en cada grado escolar o por reasignación de los profesores a otros grados. Por esta y otras causas (entre las que sobresale el diferente ritmo de progresión en el programa en las instituciones y las frecuentes interrupciones de la normalidad académica

debidas a los conflictos laborales y los movimientos de protesta del profesorado en las instituciones oficiales) no es posible reportar el número de estudiantes que se beneficiaron de la intervención a lo largo de todo el proceso. El mayor número de unidades de intervención realizadas por un grupo-clase fue catorce. El promedio de unidades realizadas por los 18 profesores que estuvieron al menos un año en el proyecto fue de 6,6. Los grupos atendidos en el primer año fueron unos 25. A algunos de estos grupos se les aplicó en el mes de febrero de 2006 el instrumento de valoración del desarrollo cognitivo Peso y Volumen (ver sección 7.1), obteniéndose resultados relativamente más bajos que los obtenidos en el primer proyecto, teniendo en cuenta la mayor edad promedio de esta población[54].

Para la evaluación cualitativa de la intervención, al comienzo del año lectivo 2007-2008 se hicieron observaciones no participantes de las clases normales de ciencias de los docentes, seguidas por entrevistas y cuestionarios a los docentes y a sus estudiantes, cuyo objetivo fue allegar algunos indicios sobre la incidencia del proceso en los modelos didácticos personales de los diez participantes que culminaron el proceso, comparándolos con los inferidos al comienzo del proceso y en el programa de formación en Ciencias Naturales realizado en el 2005. Como es de esperar, hubo casos en que no encontramos manifestaciones claras de una desestabilización del modelo tradicional, pero en otros casos sí se percibían (aunque es difícil atribuirla exclusivamente al proceso, pues de entrada los docentes ya diferían en su "perfil de modelos didácticos" y es imposible controlar las muchísimas variables extrañas actuantes). Nos limitaremos a transcribir y glosar unos cuantos pasajes tomados de las entrevistas individuales hacia el final del proceso y de la evaluación por escrito que los participantes realizaron individualmente tras su culminación, pasajes que describen las características del currículo cognitivo, tal como fue percibido por ellos, y a la vez se refieren a cómo la implementación del programa ha incidido en la transformación de su modelo didáctico.

Un tema recurrente expresado por los docentes en diversas ocasiones a lo largo de todo el proceso y al final fue haber encontrado las teorías en acción por primera vez en las numerosas actividades de formación en las que habían participado: "El proyecto me ha hecho ver de manera más clara, en la práctica, algunas de las ideas fundamentales de Piaget y Vygotsky, las cuales se leen y aceptan pero rara vez se concretan en el aula con resultados tangibles".

El contraste con los roles de estudiantes y docentes de ordinario presentes en las

prácticas convencionales se destaca en las siguientes citas:

•“Plantear situaciones problemas ayuda a que los estudiantes generen un pensamiento; los estimula a entender lo que está ocurriendo a su alrededor, a pensar, analizar y que ellos mismos propongan soluciones, que no se queden simplemente calladitos ahí”.

•“Desarrollar procesos experimentales hace que los estudiantes se motiven muchísimo; a los muchachos les gusta mucho indagar, investigar, experimentar cosas nuevas, buscar nuevos aspectos; que la clase no sea siempre lo mismo, el profesor hablando y hablando”.

La reflexión de un participante sobre su proceso de desarrollo profesional a lo largo del proyecto se plasma en el siguiente enunciado, que señala otro de los temas recurrentes:

•“Lo más difícil para mí al comienzo del programa fue no darles respuestas a los estudiantes a las preguntas, porque eso lo hace ya uno como una práctica tradicional: cada vez que un estudiante le hace una pregunta la tendencia es inmediatamente a darle la respuesta; con el programa yo aprendí que la idea no era darle la respuesta sino crear una estrategia para que los estudiantes ellos mismos llegaran a responder sus propias inquietudes”.

En este mismo sentido se pronuncia otro participante, señalando a la vez un importante obstáculo inherente a cualquier innovación didáctica que requiere un manejo cuidadoso y un compromiso institucional difícil de conseguir en nuestro medio, como comentaremos en la siguiente sección:

•“La manera de plantear las situaciones problema me ha ayudado mucho, aunque exige una gran cantidad de tiempo el preparar cada lección”.

El mismo docente señala con gran convencimiento, en respuesta a la pregunta del entrevistador sobre lo aprendido a lo largo del proceso:

•Sobre todo he aprendido mucho que a los estudiantes no se les debe dar la respuesta sino que ellos tienen que tratar de llegar a eso.

En los datos registrados se encuentran abundantes testimonios semejantes al anterior, que concuerdan con varias observaciones en las clases regulares realizadas para la evaluación del proceso.

Uno de los docentes participantes informó lo siguiente acerca de la respuesta de los alumnos ante el programa:

•“Lo que me llama la atención es que los estudiantes cada vez se interesan más fácil; usted les dice que vamos a trabajar ‘proyecto con la ciencia’, ellos se ponen felices, están preguntando constantemente ¿por qué no lo hemos vuelto a trabajar?, ¿qué está pasando? El trabajo con las guías que vienen en el proyecto son verdaderamente muy buenas, o sea apropiadas para las temáticas que se están abordando”.

Para concluir nuestra selección de testimonios, hemos incluido algunas citas que hablan por sí solas acerca de la asimilación del modelo didáctico para la intervención en el desarrollo cognitivo por parte de los docentes; en otras palabras, las siguientes citas indican hasta qué punto los docentes han intentado incorporarlo a sus clases normales:

•¿Por qué plantear situaciones problema? Porque creo que esa es la tarea de los científicos, es plantear problemas y no solamente plantear problemas sino además plantear hipótesis y buscar sus posibles soluciones y dentro del aula pues tiene una importancia plantear problemas porque si se desea hacer ciencia escolar, hacer ciencia escolar sería hacer más o menos o simuladamente el trabajo que hacen los científicos en el aula, entonces partir de una solución problémica pienso que es supremamente importante.

•Mover el conocimiento no es fácil y la idea tampoco es erradicar totalmente la idea previa, sino que el estudiante tenga la capacidad de contrastar las ideas científicas con las ideas que él tiene, las ideas preconcebidas o sus propios conceptos.

•El ejercicio de implementación del programa tuvo efectos tan fuertes en mis prácticas ordinarias, pues me movió a replantear las metodologías anteriores donde estaba ausente la intención de hacer pensar a mis alumnos. Mi prioridad antes de participar en el proyecto consistía en que comprendieran lo enseñado.

•[al organizar] el trabajo en grupo me parece que no se debe dejar, por ejemplo, que los estudiantes se organicen a su manera, porque ellos siempre van a buscar su grupito para la recocha o para el juego, sino que debe ser dirigido por el docente de acuerdo con las capacidades de los estudiantes: elegir que haya un monitor en cada grupito para que ese monitor se encargue de colaborarle a uno en el trabajo que se está desarrollando

•No es fácil construirlas [el tipo de actividades ejemplificadas en el proyecto] para nosotros los maestros; [no nos es fácil] inventar actividades por el estilo de estas para hacer pensar a nuestros estudiantes porque en nuestra formación inicial son estrategias poco trabajadas como el conflicto cognitivo, la técnica de metacognición, el conocimiento de las etapas de desarrollo del aprendizaje de los estudiantes de acuerdo con la edad. La enseñanza de las ciencias se ha centrado principalmente en la enseñanza de los contenidos especificados para cada grado

de escolaridad. Últimamente se habla de implementar los estándares de ciencias naturales, por ejemplo haciendo proyectos de investigación en el aula, pero no nos ofrecen mecanismos claros para desarrollar estas habilidades en nuestros estudiantes.

•En mi ejercicio de maestra de ciencias naturales, entendía que debía abordar el mayor número de contenidos propuestos para cada año lectivo, y aunque en esta enseñanza se diseñaban actividades para que el estudiante comprendiera mejor los aspectos teóricos, confieso que no tenía la intención expresa de enseñar a pensar a mis estudiantes.

Creemos que los apartes que hemos presentado de las opiniones de los participantes son suficientes para hacerse una idea de la potencialidad transformadora de lo expuesto en este libro. La reflexión colectiva sobre el proceso de adaptar a la propia cultura institucional el modelo de formar en las competencias científicas mediante actividades de intervención en el desarrollo cognitivo, similares a las que conforman el programa Pensar con la Ciencia, trasciende el fortalecimiento de estas competencias. Pues también contribuye a la cualificación de las prácticas docentes en la dirección a la que apuntan la casi totalidad de las propuestas didácticas actuales, dirección que hemos descrito en el capítulo 3 como la puesta en marcha de un currículo cognitivo.

Por supuesto, en las entrevistas y en las intervenciones de los docentes durante los talleres también salieron a la luz gran cantidad de preocupaciones sobre la viabilidad de implementar en toda su integridad la propuesta objeto de análisis en las condiciones normales de las instituciones donde laboran. En el siguiente apartado haremos un muy breve recuento de algunos de los obstáculos que se interponen en el camino de llevar a la práctica un currículo cognitivo.

7.3 DIFICULTADES PARA LA GENERALIZACIÓN DEL CURRÍCULO COGNITIVO Y ESTRATEGIAS PARA SUPERARLAS

Los testimonios reseñados y otros muchos que sería largo transcribir, además de nuestras observaciones en las aulas de los docentes en su trabajo cotidiano y la comparación del pensamiento de los docentes antes y después del proceso, muestran las posibilidades reales de transformar las actitudes y capacidades del docente en la dirección de un currículo cognitivo. Si bien este es más exigente tanto para los docentes como para los estudiantes, la mucha mayor satisfacción que otorga a unos como a otros compensa ese mayor esfuerzo. Pero si queremos que estos esfuerzos no sean actos quijotescos de docentes excepcionales o que trabajan en instituciones extraordinarias, sino lo ordinario en el sistema educativo oficial, el único accesible a la gran masa de nuestra población, sería preciso modificar algunas condiciones habituales en nuestras instituciones educativas, así como los enfoques típicos en el desarrollo profesional de su cuerpo docente.

En cuanto a lo primero, la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas educativas más deseables se compromete en nuestro medio por una amplia gama de factores políticos, sociológicos y pedagógicos desfavorables. Quizás el más importante es la falta de la autonomía real de las instituciones educativas; los reiterados comentarios de los participantes así lo manifiestan. En efecto, la autonomía efectiva de las instituciones requiere disponer de financiación suficiente para impulsar la innovación pedagógica de manera acorde con las circunstancias locales y con los idearios de su colectivo profesoral. Así sería posible superar impedimentos como la endémica escasez de los más elementales recursos de laboratorio en nuestras instituciones, uno de los obstáculos en la implementación de las unidades que los docentes señalaron, a pesar de ser conscientes de que las actividades propuestas requieren apenas un mínimo de necesidades locativas y de equipamiento, cuyos costos se podrían cubrir con unos pocos recursos extra.

Desde luego, también hubo unanimidad entre los asistentes en enfatizar la debilidad de los incentivos para la carrera docente, necesarios para compensar el mayor esfuerzo exigido por este tipo de actividades didácticas, así como el tamaño de los grupos y en general las difíciles condiciones de trabajo en las que se desempeñan, muy poco propicias para su involucramiento en procesos de

innovación pedagógica[55]. Nos parece superfluo incluir las manifestaciones de los participantes en este sentido, teniendo en cuenta que se escuchan con tanta frecuencia e insistencia en las reuniones de docentes del sector oficial de nuestro país.

Sin duda, superar los obstáculos sistémicos mencionados, que afectan a nuestro entero sistema educativo oficial, es una meta que requiere la voluntad política del Gobierno y la entera sociedad civil de mejorar la coherencia entre las reiteradas declaraciones en pro de la educación, muchas veces plasmadas en su ordenamiento normativo, con las concreciones efectivas de esos propósitos. En especial, dotar a las instituciones educativas de una mayor autonomía financiera para invertir en la formación del personal docente según las necesidades y oportunidades al alcance de aquellas requiere modificaciones de fondo en nuestra institucionalidad educativa y un incremento significativo del presupuesto destinado al sector[56].

Como era de prever, los docentes identificaron otros obstáculos formidables y todavía más difíciles de remover por cuanto suponen, por una parte, cambios estructurales profundos en nuestra sociedad que mejoren las precarias condiciones socioeconómicas y familiares de los estudiantes, y por otra parte, cambios de mentalidad en directivos y docentes para superar obstáculos como la resistencia a las innovaciones, la cultura escolar individualista y la tendencia al facilismo, que no son exclusivos de nuestro país.

Podríamos continuar en esta tónica de subrayar lo que se interpone en un currículo cognitivo pero las reflexiones de los participantes también subrayaron que, a pesar de los factores desfavorables, no están cerradas las posibilidades de implementar innovaciones puntuales en la dirección de desarrollar competencias intelectuales en sus estudiantes, siempre y cuando estén soportadas en un desarrollo profesional adecuado[57]. Su percepción de las características que confieren eficacia a estos últimos procesos coincide esencialmente con las que se encuentran en la literatura (Adey, 2004). En especial, destacaron con fuerza la necesidad de superar el divorcio entre la formación teórica y su traducción a la práctica, que frustra el cambio escolar pretendido en muchos programas de formación en servicio. Pues es frecuente que la “operativización” en el aula de los principios pedagógicos discutidos en las sesiones presenciales se deja enteramente bajo la responsabilidad del docente, que enfrenta en solitario el enorme reto de transformar su quehacer didáctico, casi siempre en contravía de lo que hacen la mayoría de sus colegas. La estrategia seguida para superar este

divorcio en los programas de desarrollo profesional más exitosos, y que hemos tratado de emular en nuestras circunstancias, consiste en apuntalar la incorporación a la práctica profesional docente de los principios pedagógicos mediante materiales didácticos escritos acompañados de orientaciones operativas y a la vez flexibles para su uso en el aula, y del acompañamiento al docente en la puesta en práctica de esas orientaciones (Adey, 2004). En otras palabras, un rasgo importante del desarrollo profesional efectivo es que el modelo didáctico innovador esté plasmado y representado en forma de ejemplares tangibles de actividades didácticas y los correspondientes materiales.

Entre las demás condiciones esenciales del desarrollo profesional que se encuentran en la literatura, cuya pertinencia fue puesta de manifiesto en nuestro trabajo, es importante destacar la necesidad de extender su duración, que debe ser al menos de año y medio a dos años, y la indispensabilidad de alternar entre su localización en las instituciones educativas mismas con la ejecución de actividades de formación en encuentros con profesores participantes de otras instituciones, las cuales permiten crear un sentido de pertenencia y aprender de las experiencias en otras instituciones. Seminarios cortos, por más intensivos que sean, realizados en sitios alejados del lugar de trabajo, no suelen producir cambios perdurables en las prácticas didácticas. De otro modo, es muy difícil incidir en el ajuste de los esquemas que dirigen la acción didáctica de los participantes. De hecho, la evaluación formativa realizada durante el proceso de desarrollo profesional reportado en la sección 7.2 puso de manifiesto diversos “obstáculos epistemológicos” (para usar el conocido concepto de Gaston Bachelard tratado en 2.3), creencias y esquemas de acción docente que se interponen en la plena comprensión de las que sustentan el currículo cognitivo, frenando su implementación. Entre ellos interesa destacar la presencia de un esquema didáctico con un fuerte arraigo en la casi totalidad de los docentes: el papel esencial del profesor es dar respuestas, resolver dudas; en una palabra, enseñar contenidos. Sin duda, este papel es una de las responsabilidades que caracterizan la función de la escuela. Pero la esencia de la propuesta pedagógica que hemos expuesto en esta obra es que dicho papel debe complementarse con otro papel de la misma importancia: propiciar de forma eficaz el desarrollo intelectual mediante estrategias como las de Pensar con la Ciencia. Así, pues, una de las tareas clave en el desarrollo profesional para un currículo cognitivo es inducir la comprensión operativa de la distinción entre los dos papeles, concretada en la distinción entre “clases regulares” y “clases de entrenamiento del cerebro”.

La anterior observación nos remite a la condición fundamental sin la cual es imposible implementar un currículo cognitivo en el sistema educativo de nuestro país:

No hay ni una sola de las cuestiones que hemos abordado en este cuadro de la educación (...) que no desemboque antes o después en el problema de la formación de los maestros. Las mejores reformas fracasarán si no se dispone de maestros en calidad y número suficientes. La psicología infantil puede multiplicar los datos sobre hechos y nuestros conocimientos sobre los mecanismos de desarrollo; sin embargo, estos hechos o ideas jamás llegarán a la escuela si los maestros no los han incorporado hasta traducirlos en realizaciones originales. (Piaget, 2001, p. 142)

Es evidente que la modificación de los esquemas didácticos ya arraigados en los docentes en activo es mucho más compleja que su asimilación durante la formación inicial. Por tanto, la generalización del modelo requiere una reestructuración del currículo de las licenciaturas, para incluir de manera explícita el fortalecimiento de las mismas competencias que han de contribuir a formar en sus futuros alumnos, al igual que el fortalecimiento de las competencias docentes requeridas para ese efecto. Pero tal reestructuración debe ser orientada por modelos teóricos sólidos de la formación en estas competencias, tanto en docentes como en alumnos. Creemos que el que hemos presentado en los capítulos anteriores constituye un aporte en esta dirección, convicción que nos ha movido a ponerlo en consideración de la comunidad educativa colombiana.

7.4 ALGUNAS REFLEXIONES CONCLUSIVAS

Pero lo que constituye el mensaje central de este libro, de interés para cualquier docente de ciencias situado en las realidades actuales del sistema social y educativo que nos ha tocado en suerte, mensaje que puede serle muy útil sin necesidad de cambiar ese sistema, se refiere a las condiciones para el aprendizaje significativo de los contenidos disciplinares: requiere mucho más que las competencias didácticas del docente, tanto generales como las relacionadas con el contenido específico enseñado. Sin desconocer la importancia de estas competencias, hemos tratado en este libro de argumentar sobre la indispensabilidad, para el aprendizaje real de las ciencias, del desarrollo de la aptitud científica o pensamiento formal. En efecto,

En realidad podemos considerar el pensamiento formal piagetiano como una caracterización psicológica del pensamiento científico. El pensamiento formal piagetiano no sería sino un análisis psicológico de los procesos y estructuras necesarios para enfrentarse a la realidad con la mentalidad de un científico. Razonar formalmente es razonar de un modo científico. (Pozo, 1996)

Así, pues, comprender la ciencia supone la capacidad de construir mundos posibles (los modelos científicos, como los discutidos en el capítulo 5), así como la de razonar hipotéticamente para contrastarlos con el comportamiento del mundo real. Por consiguiente, las dificultades que los estudiantes encuentran al enfrentarse con la ciencia estriban primordialmente en características intrínsecas tanto de los contenidos científicos como del desarrollo psicológico de los estudiantes, y no tanto en las estrategias didácticas empleadas por el profesor. Para remontar estas últimas dificultades, en especial en los alumnos más débiles, es indispensable avanzar hacia un currículo cognitivo, según lo que afirma Piaget (2001): Si el objetivo de la educación intelectual es formar inteligencias más que poblar la memoria, y formar investigadores y no solamente eruditos, en este punto hay una carencia manifiesta de la enseñanza tradicional (p. 62). Y en otro de sus pasajes más citados[58]:

El principal objetivo de la educación es crear hombres que sean capaces de hacer cosas nuevas, no simplemente de repetir lo que otras generaciones han hecho, hombres que sean creativos, inventivos y descubridores. El segundo objetivo de la educación es formar mentes críticas, que sepan verificar lo que se les ofrece sin aceptarlo incondicionalmente. El gran peligro de hoy son las frases hechas, las opiniones colectivas, las corrientes de pensamiento de serie. Tenemos que resistir individualmente, criticar, distinguir entre lo que está probado y lo que no lo está. De modo que necesitamos alumnos que sean activos, que aprendan pronto a descubrir las cosas por sí mismos, en parte a través de su propia actividad espontánea, en parte a través del material que preparemos para ellos; que aprendan pronto a distinguir lo que es verificable de lo que simplemente es la primera idea que se les ha ocurrido.

Porque estamos seguros de que los docentes colombianos compartimos la convicción expresada por Piaget en el anterior pasaje con tanta incisividad, nos hemos puesto en la tarea de escribir estas páginas. Para concluirlas, y tras el no muy alentador panorama trazado en la anterior sección, es preciso poner un toque de optimismo, a pesar de ser los primeros en reconocer que el camino hacia la generalización de un currículo cognitivo en nuestro país está sembrado de obstáculos. Hemos constatado el empeño de mejorar de muchísimas instituciones educativas colombianas y de muchísimos docentes comprometidos. Este fermento de cambio se vierte en innumerables propuestas de innovación educativa que asumen muchos de los principios que se han discutido en este libro, aunque revestidos de diversos lenguajes. Hemos querido ofrecer un grano de arena en ese aprendizaje colectivo.

Una última reflexión, retomando una idea expresada por James Tobin, quien recibió el Premio Nobel de Economía de 1981, que mencionamos en la introducción. Comenzó una conferencia sobre la socialdemocracia diciendo que un sistema que se precia de ser socialdemócrata debe garantizar como mínimo que los niños “jueguen en un campo nivelado”. Es decir, que no existan diferencias en las oportunidades que se brindan a niños de distintas clases sociales, de diferentes regiones o de distintas razas, para adquirir las capacidades que se necesitan para tener una vida satisfactoria, rica y productiva. Podemos extender esta aspiración más allá de las diferencias originadas en las condiciones

sociales, económicas y culturales, para incluir también las diferencias en los ritmos de desarrollo intelectual. El trabajo que hemos querido compartir intenta que esta aspiración no se quede en un sueño utópico. Como hemos visto en este último capítulo, no es fácil traducirla en innovaciones prácticas y al alcance de nuestras instituciones educativas, y a la vez con suficiente potencia para que efectivamente lleven a esa nivelación del campo de juego. No basta entonces con intuiciones vagas y desprovistas de respaldo teórico fuerte, que suelen caer en el activismo y son solo paños de agua tibia. Aprender ciencia es aprender un modo de pensar que es muy exigente cognitivamente, y que va en contravía tantas veces del sentido común. Por eso, actividades científicas escolares apropiadas, con el andamiaje ajustado al nivel de desarrollo de los estudiantes, son una palanca para que la educación obtenga su fin primordial: que el estudiante alcance un pleno desarrollo de la personalidad humana (Piaget, 1974).

No obstante, queremos cerrar con una invitación a soñar. ¿No podría conducirnos nuestra justa protesta, ante la situación educativa nacional y las condiciones sociales tan desfavorables para una proporción tan elevada de nuestra población, a soñar en un futuro mejor para todos nuestros niños, incluso los menos favorecidos por la lotería genética o por su crianza, y consecuentemente para nuestra sociedad? Pero no un sueño vano, sino un sueño que nos lleve a actuar, a poner una tras otra las pequeñas piedras que poco a poco nos llevarán a ese futuro.

APÉNDICE:

CONDICIONES Y PROCESOS DEL CAMBIO ESCOLAR

El cambio escolar exitoso y perdurable suele ser endógeno: surge en el interior del establecimiento educativo, motivado por el empeño de algunos docentes o directivos ‘soñadores’ pero con el suficiente ascendiente sobre sus colegas para involucrarlos poco a poco en la realización de sus sueños. Pero también se requiere que la visión de futuro valga la pena el esfuerzo que demanda: cambiamos para mejorar (razón por la cual es frecuente que esté ‘catalizado’ por un agente externo, como en el caso al que se refiere la sección 7.2). Hay otras muchas condiciones no tan obvias, que la literatura sobre el cambio escolar intenta dilucidar al examinar los múltiples fracasos y compararlos con los muy pocos casos exitosos. Entre los hallazgos de los investigadores, hay uno en el que queremos hacer énfasis: las historias de cambio escolar exitoso son diferentes de muchas maneras, pero tienen en común que se pueden distinguir en ellas como tres grandes etapas, en la que el cambio enfrenta desafíos peculiares a cada etapa. Se pone en marcha gracias al entusiasmo reflexivo de unos “iniciadores”, los soñadores de los que hemos hablado. Pero luego viene el trabajo duro, la implementación de la innovación, durante la cual se va transformando la vida en las aulas a medida que los docentes van cambiando sus creencias y van desarrollando nuevas competencias didácticas. Pero no se puede cantar victoria sino tras la consolidación o institucionalización de la innovación, hasta que ya no depende de los iniciadores del proceso o de asesores (internos o externos) y permea la vida del establecimiento como una norma no escrita. En la siguiente tabla se resumen estas tres fases, sintetizando aportes de Adey (2004), Perkins (2003) y Fullan y Hargreaves (2006).

Fase	Descripción, desafíos, resultados
INICIACIÓN	Percepción de la necesidad de realizar cambios en las prácticas pedagógicas institu
IMPLEMENTACIÓN	Despegue del proceso propiamente dicho de innovación en las prácticas de aula, qu
CONSOLIDACIÓN	La continuación y permanencia de los cambios curriculares y en las prácticas de au

BIBLIOGRAFÍA

59

Abell, S. K., & Lederman, N. G. (eds.). (2007). Handbook of Research on Science Education. New York: Routledge.

Acevedo, J. A. (2005). TIMSS y PISA. Dos proyectos internacionales de evaluación del aprendizaje escolar en ciencias. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2(3), 282-301.

*Adey, P. S. (1994). Aceleración cognitiva a través de la Enseñanza de la Ciencia. En: S. Maclure, & P. Davies (eds.), Aprender a pensar, pensar en aprender (pp. 117-133). Barcelona: Gedisa.

*Adey, P. S. (1999). La ciencia del pensamiento y las ciencias para el pensamiento: la aceleración cognitiva mediante la educación científica (CASE). Ginebra (Suiza): Unesco - Oficina Internacional de Educación. Recuperado de http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/publications/innodata/i

Adey, P. S. (2004). The Professional Development of Teachers: Practice and Theory. Dordrecht, The Netherland: Kluwer Academic Publishers.

Adey, P. S., & Shayer, M. (1990). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students. Journal of Research in Science Teaching, 27(3), 267-285.

Adey, P. S., & Shayer, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention programme in the high school science curriculum. Cognition and Instruction, 11(1), 1-29.

*Adey, P. S., & Shayer, M. (1994). Really Raising Standards. Cognitive intervention and academic achievement. London: Routledge.

Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (2001). Thinking Science CD-ROM Resource. Third edition. Cheltenham (UK): Nelson Thornes.

Arons, A. (1997). Teaching Introductory Physics. New York: John Wiley.

*Ausubel, D. P. (1982). Psicología educativa, «Un punto de vista cognoscitivo». México: Trillas.

Bachelard, G. (1988). La formación del espíritu científico. México: Siglo XXI.

Baker, L. (1991). Metacognición, lectura y educación científica. En: C. Minnick, & D. Alvermann (eds.), Una didáctica de las ciencias, procesos y aplicaciones. Orig.: 1991 (pp. 21-44). Buenos Aires: Aique.

*Baquero, R. (1999). Vigotsky y el aprendizaje escolar. Buenos Aires: Aique.

Baron, J. (2000). Thinking and Deciding (3a. ed.). Cambridge, U. K.: Cambridge University Press.

Barragán, L. (2014). Tras la excelencia docente: Cómo mejorar la calidad de la educación para todos los colombianos. Bogotá: Fundación Compartir.

Bereiter, C., & Scardamalia, M. (1993). Surpassing ourselves. An Inquiry into the Nature and the Implications of Expertise. Chicago: Open Court.

*Blanck, G. (1993). Vygotsky: El hombre y su causa. En L. C. Moll (ed.), Vygotsky y la Educación: Connotaciones y aplicaciones de la psicología sociohistórica en la Educación (pp. 45-74). Buenos Aires: Aique.

*Blanck, G. (2005). Prefacio. En: Vigotsky, L. S., Psicología pedagógica: un curso breve. (Edición original: 1926. Trad. Guillermo Blanck). Buenos Aires: Aique Editores, pp. 15-43.

Blythe, T. (1999). La Enseñanza para la comprensión: Guía para el docente. Buenos Aires: Paidós.

Boeha, B. B. (1990). Aristotle, alive and well in Papua New Guinea science classrooms. Physics Education, (25), 280-283.

Bowen, J., & Hobson, P. R. (2004). Teorías de la educación: Innovaciones importantes en el pensamiento educativo occidental. México: Limusa.

*Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking (eds.). (2000). How People Learn: Brain, Mind, Experience and School. Washington, D. C.: National Academy Press.

*Brigido, A. M. (2006). Sociología de la Educación: Temas y Perspectivas Fundamentales. Córdoba (Argentina): Editorial Brujas.

*Brubacher, J. W., Case, C., & Reagan, T. G. (2000). ¿Cómo ser un docente reflexivo?: La construcción de una cultura de indagación en las escuelas. (Orig.: Becoming a Reflective Educator). Barcelona: Gedisa.

*Bruer, J. T. (1995). Escuelas para pensar: Una ciencia del aprendizaje en el aula. Barcelona: Paidós.

*Camargo, M., Calvo, G., Franco, M., Vergara, M., & Londoño, S. (2007). La formación de profesores en Colombia: necesidades y perspectivas. Bogotá: Universidad de la Sabana.

Campanario, J. M., & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. Enseñanza de las Ciencias, 17(2), 179-192.

Cárdenas, F. A., Ladino, Y., & Zapata, P. N. (2003). Reflexiones acerca de la evaluación. En A. C. Zambrano (ed.), Educación y Formación del Pensamiento Científico (pp. 169-190). Bogotá: ICFES-UNIVERSIDAD DEL VALLE.

Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2(2), 183-208.

Carretero, M. (2004). Introducción a la psicología cognitiva (2.a ed.). Buenos Aires: Aique.

Carretero, M. (2005). Introducción. En L. S. Vygotsky, G. Blanck (Trad.), Psicología Pedagógica: un curso breve (pp. 11-14). Buenos Aires: Aique.

Carretero, M. (2006). Presentación. En W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (eds.), Cambio conceptual y educación. Buenos Aires: Aique.

*Chalmers, A. F. (1984). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Madrid: Siglo XXI.

*Chalmers, A. F. (1992). La ciencia y cómo se elabora. Madrid: Siglo XXI.

Costa, A. (ed.). (2001). Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking. Alexandria, Virginia, U.S.A.: Association for Supervision and Curriculum Development.

*Costa, A., & Kallick, B. (eds.) (2000). Discovering and Exploring Habits of Mind. Alexandria, Virginia, U.S.A.: Association for Supervision and Curriculum Development.

Creemers, B. (2004). Eficacia Educacional al nivel de enseñanza-aprendizaje. En L. J. Piñeros (ed.), Dimensiones del mejoramiento escolar: la escuela alza vuelo (pp. 51-103). Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Delval, J. (1997). Tesis sobre el constructivismo. En: M. J. Rodrigo, & J. Arnay (eds.), (pp. 15-24). Barcelona: Paidós.

Diamond, M. C. (2001). Response of the brain to enrichment. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 73(2), 211-220. http://doi.org/10.1590/S0001-37652001000200006

Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C., & May, A. (2006). Temporal and Spatial Dynamics of Brain Structure Changes during Extensive Learning. The Journal of Neuroscience, 26(23), 6314-6317. http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4628-05.2006

Elizondo, H. A. (ed.) (2001). La nueva escuela; I: Dirección, liderazgo y gestión escolar. México: Paidós.

Elliot, J. (1990). La investigación accion en educación. Madrid: Morata.

Elliot, J. (1993). El cambio educativo desde la Investigación-Acción (Orig.: Action Research for Educational Change). Madrid: Morata.

*Entwistle, N. (1988). La comprensión del aprendizaje en el aula. Barcelona: Paidós.

Feinstein, S. G. (2014). El cerebro del adolescente. En D. A. Sousa (ed.), S. Zayas (Trad.), Neurociencia educativa: Mente, cerebro y educación (Orig.: Educational Neuroscience) (pp. 59-89). Madrid: Narcea.

Fourez, G. (2005). Alfabetización Científica y Tecnológica: Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias (Orig.: Alphabétisation scientifique et technique: Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences, 1994). (E. Gómez, Trad.). Buenos Aires: Colihue.

Fraser, B. J., & Tobin, K. G. (eds.) (1998). International Handbook of Science Education. Londres: Kluwer Academic Publishers.

Fraser, B. J., Tobin, K. G., & McRobbie, C. (eds.). (2012). Second International Handbook of Science Education. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Fullan, M., & Hargreaves, A. (2006). La escuela que queremos (Orig.: What's worth fighting for in your school, 1996). (F. Villegas, Trad.). Buenos Aires: Amorrortu.

Furth, H. (1971). Las ideas de Piaget: su aplicación en el aula. (Orig.: Piaget for teachers). (A. Battro, Trad.). Buenos Aires, Argentina: Kapelusz.

Furth, H. (1989). La teoría piagetiana del conocimiento. En H. Silverman (ed.), Piaget, la Filosofía y las Ciencias Humanas (pp. 19-41). México: Fondo de Cultura Económica.

Gabel, D. (ed.). (1994). Handbook of Research on Science Teaching and Learning. Nueva York: MacMillan.

Gardner, H. (1994). Estructuras de la mente: La teoría de las inteligencias múltiples (2a. ed.). México: Fondo de Cultura Económica.

Giedd, J. N. (2008). The Teen Brain: Insights from Neuroimaging. Journal of Adolescent Health, 42(4), 335-343. http://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2008.01.007

Giere, R. (1992). Cognitive Models of Science. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Ginsburg, H., & Opper, S. (1977). Piaget y la teoría del desarrollo intelectual. Orig.: Piaget's Theory of Intellectual Development, An Introduction, 11ed., 1967. (A. Álvarez, Trad.). Madrid: Dossat.

*Gómez Buendía, H. (ed.). (1998). Educación: La agenda del siglo XXI. Bogotá: PNUD.

Gómez, J. H. (2002). Competencias: problemas conceptuales y cognitivos. En G. Bustamante (ed.), El concepto de competencia I: una mirada interdisciplinar (pp. 97-123). Bogotá: Sociedad Colombiana de Pedagogía.

*Gorman, R. M. (1975). Introducción a Piaget: una guía para maestros. Buenos Aires: Paidós.

Gutiérrez, R. (1987). El desarrollo mental. En B. Marcos (ed.), La enseñanza de las ciencias experimentales (pp. 129-160). Madrid: Narcea.

Inhelder, B., & Piaget, J. (1972). De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Buenos Aires: Paidós. (Orig.: De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent, 1955).

Inhelder, B., Sinclair, M., & Bovet, M. (1974). Aprendizaje y estructuras de conocimiento. Madrid: Morata. (Orig.: Apprentissage et structures de la connaissance, 1974).

Ivic, I. (1994). Lev Semionovich Vygotsky (1896-1934). Perspectivas: revista trimestral de educación comparada, 24(3-4), 773-799.

Jones, M., & Gott, R. (1998). Cognitive Acceleration through science education: alternative perspectives. International Journal of Science Education, 20(7), 755-768.

Kahneman, D. (2012). Pensar rápido, pensar despacio. (Orig.: Thinking, Fast and Slow, 2011). (J. Chamorro, Trad.). Barcelona: Random House Mondadori.

Kitchener, R. (1986). Piaget's Theory of Knowledge: Genetic Epistemology, & Scientific Reason. New Haven: Yale University Press.

Kuhn, T. S. (1975). La estructura de las revoluciones científicas. Madrid: Fondo de Cultura Económica.

*Labinowicz, E. (1998). Introducción a Piaget: Pensamiento, aprendizaje, enseñanza. México: Addison Wesley Longman.

Latorre, A., del Rincón, D., & Arnal, J. (1996). Bases metodológicas de la investigación educativa. Barcelona: Hurtado ediciones.

Lawson, A. E. (1989). Research on Advanced Reasoning, Concept Acquisition and a Theory of Science Instruction. En P. S. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (eds.), Adolescent Development and School Science (pp. 11-37). Londres: Falmer Press.

Leahey, T. H., & Harris, R. J. (2000). Aprendizaje y Cognición (Orig.: Learning and Cognition, 4ed, 1997). (A. Rubio, Trad.). Madrid: Prentice-Hall.

Leiguarda, R. C. (2008). Aportes de la neurociencia a la educación. Boletín de la Academia Nacional de Educación (Argentina), 72, 3-7.

Leo, E. L., & Galloway, D. (1996). Conceptual links between Cognitive Acceleration through Science Education and Motivational Style: a critique of Adey and Shayer. International Journal of Science Education, 18(1), 35-49. http://doi.org/10.1080/0950069960180103

*Maclure, S., & Davies, P. (eds.). (1994). Aprender a pensar, pensar en aprender. Barcelona: Gedisa.

Marina, J. A. (1993). Teoría de la Inteligencia Creadora. Barcelona: Anagrama.

Marín, N., & Uribe, C. (2015). La formación de competencias científicas desde dos visiones del alumno. Revista Educyt, 10(1), 92-105.

McKinsey, & Co. (2007). Cómo hicieron los sistemas educativos con mejor desempeño del mundo para alcanzar sus objetivo. London. Recuperado a partir de http://mckinseyonsociety.com/downloads/reports/Education/Como_hicieron_los_

Ministerio de Educación Nacional - MEN (1998). Ciencias naturales y educación ambiental: Lineamientos curriculares. MEN - Cooperativa Editorial Magisterio.

Ministerio de Educación Nacional - MEN (2004). Formar en Ciencias, El desafío! Serie Guías, No. 7. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.

Ministerio de Educación Nacional - MEN (2013). Sistema Colombiano de formación de educadores y lineamientos de política. Bogotá: MEN. Recuperado de http://www.colombiaaprende.edu.co/html/productos/1685/articles-338720_documento_final.pdf

Mora, F. (2013). Neuroeducación: solo se puede aprender aquello que se ama.

Madrid: Alianza.

Murillo Torrecilla, F. J. (coord.), Castañeda, E., Cueto, S., Donoso, J., Fabara, E., Hernández, M, L., ... Torres, P. (2007). Investigación iberoamericana sobre eficacia escolar. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Murillo Torrecilla, F. J. (2008). Los modelos multinivel como herramienta para la investigación educativa. Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación, 1, 45-62.

*Nickerson, R., Perkins, D., & Smith, E. (1994). Enseñar a pensar: Aspectos de la aptitud intelectual. (Orig.: The teaching of the thinking). Barcelona: Paidós.

Nieto Sampedro, M. (1996). Plasticidad Neural: una propiedad básica que subyace desde el aprendizaje a la reparación de lesiones. En F. Mora (ed.), El cerebro íntimo: ensayos sobre neurociencia (pp. 66-96). Barcelona: Ariel.

Norris, S., & Phillips, L. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. Science Education, 87, 224-240.

Novak, J. D., & Gowin, D. (1988). Aprendiendo a aprender. Barcelona: Martínez Roca.

Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1998). Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria. Trad. de Explaining science in the classroom. Madrid: Santillana.

Pascual-Castroviejo, I. (1996). Plasticidad cerebral. Revista de Neurología, 24(135), 1361-1366.

Perales, F. J., & Cañal, P. (eds.) (2000). Didáctica de las ciencias experimentales. Alcoy: Marfil.

Perkins, D. (1995). Outsmarting IQ: The Emerging Science of Learnable Intelligence. Nueva York: The Free Press.

Perkins, D. (2003). La escuela inteligente: del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente. (Orig.: Smart Schools: Better Thinking and Learning for Every Child, 1992). Barcelona: Gedisa.

Perkins, D. (2009). Making Learning Whole: How seven principles of teaching can transform education. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Pfundt, H., & Duit, R. (2009). Students' and Teachers' Conceptions and Science Education (Institute for Science Education.). Kiel. Recuperado de http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html

Piaget, J. (1969). Psicología de la inteligencia. (Orig.: La Psychologie de l'intelligence, 1947). (J. C. Foix, Trad.). Buenos Aires: Psique.

*Piaget, J. (1974). A dónde va la educación. Barcelona: Teide.

*Piaget, J. (1999). De la pedagogía. (J. Piatigorsky, Trad.). Buenos Aires: Paidós.

*Piaget, J. (2001). Psicología y pedagogía. Barcelona: Crítica.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1976). Génesis de las estructuras lógicas elementales, «Clasificaciones y seriaciones». Buenos Aires: Guadalupe.

*Piñeros, L. J. (ed.) (2004). La escuela alza vuelo. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Pozo, J. I. (1996). La psicología cognitiva y la educación científica. Revista Investigações em ensino de ciencias, 1(2), 110-131.

*Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2001). Aprender y enseñar ciencia (3a. ed.). Madrid: Morata.

Real Academia Española (2015). Definición de explicación. Recuperado de: http://dle.rae.es/?id=HJU0LSu

Resnick, L. B. (2001). Making America Smarter: The Real Goal of School Reform. En A. Costa (ed.), Developing Minds. A Resource Book for Teaching Thinking (3a. ed., pp. 3-6). Alexandria (Virginia): Association for Supervision and Curriculum Development.

Roberts, D. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. En S. K. Abell, & N. G. Lederman (eds.), Handbook of Research on Science Education (pp. 729-780). New York: Routledge.

Sanmartí, N. (2002). Un reto: mejorar la enseñanza de las ciencias. En Las ciencias en la escuela: teorías y prácticas (pp. 13-25). Caracas: Editorial Laboratorio Educativo, Graó.

Saunders, R. A., & Bingham-Newman, A. M. (2000). Perspectivas piagetianas en educación infantil. Madrid: Morata, 2a edición. (Orig.: Piagetian Perspective for Preschools. A Thinking Book for Teachers. 1984, Prentice-Hall).

*Schön, D. (1992). La formación de profesionales reflexivos. Hacia el nuevo diseño de enseñanza y aprendizaje. Madrid: Paidós.

*Schön, D. (1998). El profesional reflexivo: cómo piensan los profesionales cuando actúan. Barcelona: Paidós.

Shaffer, D. R. (2000). Psicología del desarrollo: infancia y adolescencia (5a ed.). México: Thomson.

Shayer, M. (1999). Cognitive acceleration through science education II: its effects and scope. International Journal of Science Education, 21‖(8), 883-902.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1981). Towards a Science of Science Teaching: Cognitive development and curriculum demand. Londres: Heinemann.

*Shayer, M., & Adey, P. S. (1986). La ciencia de enseñar Ciencia: Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículum. (Orig.: Towards a Science of Science Teaching: Cognitive development and curriculum demand, 1981. Madrid: Narcea).

Shayer, M., & Adey, P. (1992a). Accelerating the development of formal thinking II: Postproject effects on science achievement. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 81-92.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1992b). Accelerating the development of formal thinking in the middle and high school students III: Testing the permanence of effects. Journal of Research in Science Teaching, 29(10), 1101-1115.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: three years on after a two years intervention. Journal of Research in Science Teaching, 30(4), 351-366.

*Shayer, M., & Adey, P. (eds.) (2002). Learning Intelligence: Cognitive Acceleration Across the Curriculum from 5 to 15 years. Buckingham, UK: Open University Press.

*Shulman, L. S. (2001). Conocimiento y enseñanza (traducción de Knowledge and Teaching: Foundations for the new Reform, Harvard Educational Review, Vol. 57, No 1, 1987). Estudios Públicos, 83, 163-196.

*Soto, C. (2003). Metacognición, cambio conceptual y enseñanza de las ciencias. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

Sousa, D. A. (ed.). (2014). Neurociencia educativa: Mente, cerebro y educación. (Orig.: Educational Neuroscience). (S. Zayas, Trad.). Madrid: Narcea.

Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. Trends in Cognitive Sciences, 9(2), 69-74. http://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.005

Stenhouse, L. (1987). Investigación y desarrollo del currículum. (Orig.: An Introduction to Curriculum Research and Development, 1975). Madrid: Morata.

*Stenhouse, L. (1998). La investigación como base de la enseñanza. (Orig. Research as a Basis for Teaching, 1985). (G. Solana, Trad.). Madrid: Morata.

Stoll, L. (2004). ¿Qué es una escuela que mejora? En L. J. Piñeros (ed.), Dimensiones del mejoramiento escolar: la escuela alza vuelo (pp. 21-50). Bogotá: Convenio Andrés Bello.

*Tishman, S., Perkins, D., & Jay, E. (2006). Un aula para pensar: aprender y enseñar en una cultura del pensamiento (Orig.: The Thinking Classroom: Learning and Teaching in a Culture of Thinking, 1995) (3.a ed.). Buenos Aires: Aique.

Toulmin, S. (1972). Human understanding Vol I. The collective usage and evolution of concepts. Princeton: Princeton University Press.

Uribe, C. (2005). Enhancing scientific thinking and interest in science in Colombia through intervention in cognitive development. Presentado en Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science, Barcelona.

Uribe, C. (2009). Condiciones para el Desarrollo Profesional de los docentes de Ciencias Naturales en Colombia. Journal of Science Education, 10(Special Issue: Proceedings of the International Congress of Science Education: 10 years of the Journal of Science Education, Cartagena, Colombia, 15-18 de julio de 2009), 257-259.

Uribe, C. (2010). La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento: Desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

Uribe, C. (2012). Las fuentes de la didáctica de las ciencias experimentales y su estatuto epistemológico. Revista Educyt, 4, 16-31.

Uribe, C., Quintero, M., & Rodríguez, A. M. (2005). Intervención en el Desarrollo Cognitivo mediante las ciencias naturales: Comparación de dos casos. Enseñanza de las Ciencias, Número Extra (CD-ROM)((Comunicación presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Granada (España), 7 al 10 de Septiembre de 2005)).

Uribe, C., Quintero, M., & Rodríguez, A. M. (2006). Metacognición e

intervención en el desarrollo cognitivo mediante la educación en ciencias naturales. Journal of Science Education, 7(2), 82-87.

Uribe, C., & Solarte, M. C. (2007). «Pensar con la Ciencia»: Desarrollo de competencias científicas. Revista de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, 11, 69-82.

Uribe, C., & Solarte, M. C. (2008). Algunas condiciones para el desarrollo profesional de los docentes de ciencias naturales. Educación y Cultura, 80, 50-59.

Uribe, C., Solarte, M. C., & Torres, A. (2006). Una experiencia de formación en competencias científicas. Revista Internacional Magisterio, 20, 84-86.

Van der Veer, R. (2005). Presentación. En L. S. Vygotsky, G. Blanck (Trad.), Psicología Pedagógica: un curso breve (pp. 9-10). Buenos Aires: Aique.

Von Bertalanffy, L. (1993). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones (Orig.: General System Theory: Foundations, Development, Applications, 1968). (J. Almela, Trad.). México: Fondo de Cultura Económica.

Vygotsky, L. S. (1984). Aprendizaje y Desarrollo intelectual en la edad escolar. Infancia y aprendizaje, 27/28, 105-116.

Vygotsky, L. S. (2012). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores.

(Orig.: Mind in Society: the Development of Higher Psychological Processes, 1978). (M. Cole, ed.; S. Furió, Trad.). Barcelona: Austral.

Wandersee, J. H., Mintzes, J., & Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En D. Gabel (ed.), Handbook of Research on Science Teaching and Learning (pp. 177-210). New York: MacMillan.

Warburton, E., & Torff, B. (2005). The Effect of Perceived Learner Advantages on Teachers' Beliefs About Critical-Thinking Activities. Journal of Teacher Education, 56(1), 24-33.

Wellington, J. (2002). Teaching and Learning Secondary Science: Contemporary Issues and practical approaches. Londres: Routledge.

Wertsch, J. (1993). La voz de la racionalidad en un enfoque sociocultural de la mente. En Vygotsky y la educación: Connotaciones y aplicaciones de la psicología sociohistórica en la educación (pp. 135-152). Buenos Aires: Aique.

White, R. (2002). Research, theories of learning, principles of teaching and classroom practice: Examples and issues. En S. Amos, & R. Boohan (eds.), Teaching Science in Secondary Schools (pp. 263-276). Londres: Open University Press.

Woolfolk, A. (1999). Psicología educativa (7a ed.). México: Prentice-Hall.

*Zohar, A. (2004). Higher-order Thinking in Science Classrooms: Students'

Learning and Teachers' Professional Development. Dordrecht, The Netherland: Kluwer.

*Zubiría, M., & Zubiría, J. (1999). Fundamentos de pedagogía conceptual. Bogotá: Plaza & Janés.

NOTAS AL PIE

INTRODUCCIÓN

1Comentario de una docente perteneciente a una institución educativa oficial en un municipio no certificado del Valle del Cauca, que participó en uno de los proyectos de investigación-acción sobre los cuales se basa este libro. Aclaramos que utilizaremos el sustantivo ‘docente’ para referirnos tanto a maestros como a maestras; así mismo, hablaremos de estudiantes para referirnos a las niñas o niños escolarizados.

2Adey, P. (2004). The Professional Development of Teachers: Practice and Theory . Kluwer Academic Publishers: Dordrecht (Holanda), p. 3. La traducción del inglés es nuestra. El contexto en el que se ubica esta oración es muy significativo. El autor sostiene que “La educación es primordial y esencialmente un proceso social, que tiene lugar entre personas”, por lo cual las “utopías desescolarizantes”, que pretenden sustituir la interacción humana como el agente educador esencial, son eso, utopías. Por otra parte, la prioridad de la práctica sobre la teoría hace justicia al dicho: La práctica hace al maestro. Pero este dicho necesita interpretarse con cuidado. No puede entenderse como si bastara la mera práctica para hacerse un buen maestro. En efecto, uno de los principales consensos entre todos los teóricos de la enseñanza y del aprendizaje es que ambas actividades son mucho más complejas y difíciles de lo que se suele pensar.

3Esta literatura es vastísima. El primer autor realizó como parte de su investigación doctoral y, posteriormente, en un proyecto de investigación financiado por la Universidad del Valle, titulado “Mejoramiento de habilidades de pensamiento mediante los cursos de física y modelos implícitos de conocimiento en los docentes” (1a. fase) (código CI-7606; 2001-2003), una primera aproximación a esa literatura, que sirvió de base para adelantar la experiencia reportada en este libro.

4Adey, P., Shayer, M., & Yates, C. (2001). Thinking Science , Third edition. CD-

ROM version. Nelson Thornes (También disponible en versión impresa).

CONTENIDO DE LA OBRA

5Aludimos al título de una importante obra de referencia para los docentes que comparten el afán de impulsar el pensamiento avanzado, Escuelas para pensar: Una ciencia del aprendizaje en el aula (Bruer, 1995).

6En otras palabras, más allá de las desigualdades en las oportunidades educativas por razones étnicas y socioeconómicas, también hemos de tener en cuenta las diferencias que existen entre los estudiantes de una misma aula en una gran cantidad de “variables individuales”: ritmos de desarrollo intelectual, social, emocional; personalidad; estilos perceptivos y cognitivos, etc. Nótese que usamos la palabra ‘disposición’ abarcando no solo las inclinaciones afectivas hacia el conocimiento, sino también cualquiera de las variables individuales como las mencionadas.

CAPÍTULO 1

¡LO QUE IMPORTA ES PENSAR!

7El recuadro contiene la transcripción literal de lo registrado en video durante una observación de clase, en la cual una asistente de investigación seguía al docente al deambular por la clase. Las líneas con sangría en la transcripción (4 y 10) corresponden a frases dichas al mismo tiempo que la frase antecedente. No hemos utilizado ninguna convención especial para indicar la entonación y el lenguaje no verbal, con excepción de los textos entre llaves. Abreviaturas: M = Maestro; A = Alumno (los numerales identifican a los distintos alumnos que participaron en la discusión).

8Desafortunadamente hemos comprobado también la tendencia en los docentes a

reducir el valor educativo de la actividad a la simple enseñanza de los contenidos respectivos, de ordinario marginados en los currículos. Pero lo que aprendimos en nuestra excursión por la literatura sobre la formación en el pensamiento científico, y que queremos compartir con nuestros lectores, es que el valor educativo más profundo de este tipo de actividades estriba en el desarrollo de las estructuras mentales superiores.

CAPÍTULO 2

¿POR QUÉ LOS ESTUDIANTES APRENDEN POCA CIENCIA EN SECUNDARIA?

9TIMSS es el acrónimo de Trends in Mathematics and Science Study coordinado por la IAE, International Association for the Evaluation of Educational Achievement. PISA es el acrónimo de Programme for International Student Assessment, Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos , de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, cuya sigla en inglés es OECD. Estas últimas pruebas se aplican cada tres años, evaluando las competencias lingüística, matemática y científica. Las definiciones de estas competencias, en cuanto objetos de evaluación en la prueba, son, por fuerza, restrictivas: son construcciones de quienes diseñan esta prueba, lo que obligadamente deja por fuera muchos aspectos del desempeño cognitivo humano en los respectivos campos. Por tanto, los resultados de PISA, como sucede con cualquier otra evaluación del rendimiento escolar, de ninguna manera pueden hacer justicia al esfuerzo educativo mancomunado del docente y el estudiante. No obstante, también hay que reconocer la competencia técnica de los diseñadores de estas pruebas, en virtud de la cual gozan de una amplia credibilidad.

10 Cualquier descripción de las sofisticadas metodologías utilizadas en estos estudios requiere conocimientos estadísticos avanzados. Basta señalar que combinan la recolección y análisis de numerosos datos cuantitativos utilizando grandes muestras, con datos cualitativos obtenidos en estudios de caso de escuelas altamente eficaces y escuelas menos eficaces. Los datos cuantitativos se analizan en la actualidad utilizando modelos jerárquicos multinivel, que tienen

en cuenta la no independencia estadística en el rendimiento de los estudiantes que comparten una misma aula, por una parte, y por otra una misma escuela, e incluso un mismo sistema educativo (Murillo Torrecilla, 2008).

11 El concepto científico al que se refiere la expresión ‘interacción’ en este contexto es de suprema importancia. En física, se dice que existe una interacción entre dos objetos cuando actúan el uno sobre el otro, o en otras palabras, cuando ejercen entre sí una fuerza, una influencia mutua cada uno en el movimiento o en la forma del otro (Uribe, 2010). En un sentido muy similar hablamos en ciencias sociales de la interacción entre dos o más personas, y en psicología hablamos de la interacción del niño con su ambiente. Pero en el presente contexto se usa en un sentido algo diferente, para el que usaremos el adjetivo sistémica —del sustantivo sistema , un concepto procedente de la física pero que se ha transformado profundamente hasta convertirse en un nuevo paradigma científico (en contraste con el paradigma analítico, mecanicista, unidireccionalmente causal, de la ciencia clásica) (Von Bertalanffy, 1993, p. xv)—. Indica las relaciones y acciones entre todos los elementos o partes que forman un todo o sistema, en virtud de las cuales este es mucho más que la suma de sus partes. En adelante, cuando usemos la palabra ‘interacción’ sin el adjetivo ‘sistémica’ nos referimos al primer sentido, que denota una acción causal bidireccional.

12 La muestra analizada fue de 5.603 estudiantes de tercer grado de primaria (8-9 años), agrupados en 248 aulas de 98 escuelas de 9 países. Se utilizaron 17 instrumentos diferentes, desde pruebas de rendimiento cognitivo (en matemáticas y en lengua) y socioafectivo (autoconcepto), cuestionarios, entrevistas, informes de los docentes sobre cada estudiante, grupos focales, guías de observación, guías para el análisis de documentos, etc. Con estos instrumentos se obtuvieron datos para más de mil variables a partir de siete fuentes de información: estudiantes, familias, docentes del grado estudiado, el colectivo de docentes de cada institución, directivos, documentos escritos y observación directa.

13 Desde finales de los cincuenta la neurociencia ha tenido un progreso cada vez más acelerado, realizando avances espectaculares. Uno de los más importantes fue el descubrimiento de la plasticidad cerebral . Es decir, la modificabilidad o maleabilidad anatómica y fisiológica del sistema nervioso, manifestada por ejemplo en la sorprendente rehabilitación de pacientes con traumas cerebrales; en gran parte las funciones mediadas por los tejidos corticales destruidos acaban siendo asumidas por tejidos sanos (Pascual-Castroviejo, 1996). La plasticidad

cerebral es muy compleja, comprendiendo multitud de aspectos y mecanismos genéticos, bioquímicos, celulares y fisiológicos interrelacionados, que cada vez se conocen con más profundidad aunque desde luego todavía subsisten muchas lagunas. Entre estos mecanismos destaca la 'plasticidad sináptica', " la susceptibilidad de modificación del tipo, forma, número y función de las sinapsis y, por ende, de los circuitos neuronales " (Nieto Sampedro, 1996, p. 67). Tales modificaciones se producen en respuesta a la interacción del organismo con el ambiente social y físico, y en función de los retos que afronte. De esta manera la actividad del individuo y la experiencia son condición necesaria para el desenvolvimiento de sus potencialidades genéticas, mediante la complejización de sus redes neurales. Son muchos los hallazgos que confluyeron en este descubrimiento. Por ejemplo, los célebres estudios con roedores realizados en los primeros años 60 por la neurocientífica Marian Diamond y sus colaboradores, quienes observaron un aumento promedio de 7,6% en el peso de la corteza visual (debido a la mayor densidad de sus redes neurales y otras modificaciones microestructurales del tejido neural) en animales confinados en 'ambientes enriquecidos', con abundantes estímulos e interacciones sociales, en comparación con animales confinados en ambientes normales o empobrecidos (Diamond, 2001). En las últimas dos décadas, gracias a la resonancia magnética nuclear, se han confirmado estos hallazgos post mortem en estudios con humanos in vivo . Entre los muchísimos que cabe mencionar, nos limitamos al realizado en Alemania con estudiantes de medicina, quienes deben presentar un examen a mitad de carrera sobre todas las asignaturas estudiadas hasta entonces. Se observó en ellos un aumento estadísticamente significativo de la densidad de materia gris en el lóbulo parietal y en el hipocampo, una estructura cerebral esencial en el aprendizaje (Draganski et al., 2006).

14 Una aclaración terminológica importante: la psicología cognitiva no usa la palabra 'memoria' en el mismo sentido de los pedagogos críticos de la enseñanza tradicional —con razón tachada de memorística—, quienes sostienen que 'la utilización de la memoria representa un conocimiento inerte' (Carretero, 2004, p. 258). En psicología cognitiva se usa en un sentido importado de la informática, para designar los procesos mentales de almacenamiento y recuperación de la información.

15 Es verdad que la información puede mantenerse más allá de este límite en la memoria operativa si es continuamente repasada o reactivada, lo que se llama 'repaso de mantenimiento' (Leahey & Harris, 2000, p. 133 ss). Por ejemplo, cuando leemos un número de teléfono, y no podemos marcarlo de inmediato,

podemos retenerlo durante más tiempo si lo repetimos vocalmente una vez y otra, evitando así su olvido en la memoria operativa. Para la estabilización de los circuitos neurales que codifican los recuerdos en la memoria (a largo plazo) –o, dicho sin tecnicismos, para que se produzca el recableado cerebral que sustenta el aprendizaje–, se requiere un tipo muy diferente de repaso, que se denomina 'repaso elaborativo', muchísimo más laborioso que el repaso de mantenimiento. Lo que la neurociencia ha establecido sobre el proceso físico de fijación y consolidación de los recuerdos en términos de plasticidad cerebral, es que precisa establecer relaciones con otros recuerdos que ya están en la memoria a largo plazo, rememorarlos de manera espaciada al utilizarlos en distintos contextos, etc.

16 Howard Gardner (1994, p. 173ss), el influyente autor de la teoría de las inteligencias múltiples, recalca el soporte empírico de la descripción fenomenológica efectuada por Piaget del desarrollo intelectual en lo que respecta al dominio lógico-matemático y científico, que es el dominio en el que Piaget se enfocó en la mayor parte de sus estudios, y en el que nos centramos también nosotros en este libro.

17 En realidad podemos considerar el pensamiento formal piagetiano como una caracterización psicológica del pensamiento científico. El pensamiento formal piagetiano no sería sino un análisis psicológico de los procesos y estructuras necesarios para enfrentarse a la realidad con la mentalidad de un científico. Razonar formalmente es razonar de un modo científico (Pozo, 1996; véase también Pozo & Gómez Crespo, 2001, p. 76).

18 Se ha argumentado que los instrumentos del grupo de Lawson tienen validez limitada en cuanto medida del desarrollo cognitivo, por cuanto la tarea piagetiana se plantea mediante dibujos y descripciones verbales. En cambio, los diseñados en el Reino Unido por el grupo de Shayer, denominados "tareas de razonamiento científico" (Science Reasoning Tasks), se asemejan más a las entrevistas piagetianas por cuanto los participantes observan la manipulación y el comportamiento de materiales reales (como detallaremos en el capítulo 7, pues fueron utilizados en la experiencia reportada en este libro). Mediante estos instrumentos, y gracias al gran tamaño de las muestras, constituidas por alrededor de 14.000 niños desde los 6 hasta los 16 años, se establecieron curvas típicas del nivel piagetiano de desarrollo cognitivo en función de la edad para Inglaterra. Esta y otras investigaciones han demostrado que los adolescentes en general tardan mucho más de lo que pensaba Piaget en acceder establemente a

las competencias formales, con excepción de un pequeño porcentaje de adolescentes aventajados. Otros estudios sugieren que son pocos los adultos que razonan formalmente fuera de su campo de experticia (Carretero, 2004, pp. 217-220).

19 Esta fase se denomina ‘crítica’ en el sentido de que la instalación de cada sistema funcional (procesamiento visual en la corteza occipital y auditivo en la corteza temporal, control motor, discriminación fonética), demanda determinados tipos de estimulación durante una específica “ventana de oportunidad”, un cierto lapso de tiempo después del nacimiento, genéticamente establecido para cada sistema (Mora, 2013, pp. 35-39; Sousa, 2014, pp. 30-34). Si el organismo no recibe la estimulación requerida durante el período correspondiente (si, por ejemplo, al animal sano recién nacido se le ocluyen entre tanto los ojos), el animal quedará ciego irreversiblemente, pues ya no será posible que la corteza visual se auto-organice en respuesta a la estimulación visual. Así, pues, el cableado cerebral depende, en esencia, de los estímulos externos apropiados, los cuales dirigen la formación de los circuitos neuronales eliminando competitivamente las sinapsis y neuronas que poco se activan, y fortaleciendo las que se activan de forma repetida. En efecto, la maduración cerebral es el resultado de una inicial proliferación espontánea y muy rápida de neuronas y de sinapsis, seguida por una más lenta disminución selectiva de las neuronas y sinapsis en desuso dirigida por la interacción del organismo con su medio, hasta la relativa estabilización del número de neuronas y sinapsis en el adulto. Pero este proceso de poda neuronal y sináptica no se produce sincrónicamente en todo el cerebro. Cada región de la corteza tiene su propio “período de ensamblaje”. Esta asincronía es consecuencia de que las regiones más primarias preparan la información que será procesada en las regiones superiores, por ejemplo aquellas que integran información de los diferentes sentidos y la asocian con la información almacenada. Por otra parte, los mecanismos de la plasticidad cerebral subyacente al desarrollo cerebral durante el crecimiento del organismo son diferentes a los mecanismos de la plasticidad sináptica subyacente al aprendizaje del adulto (mientras aquella es principalmente resultado de la poda sináptica selectiva dependiente del uso, esta es en cambio resultado del reforzamiento sináptico en los circuitos que codifican lo aprendido). De allí la decisiva importancia de educar a niños y jóvenes en estos períodos críticos, mientras el cerebro es mucho más receptivo y maleable.

20 Sin embargo, al parecer esta ventana de oportunidad, que se abre hacia la pubertad, no sería un período crítico del desarrollo en el mismo sentido que los

descritos atrás para las funciones sensorio-motrices, por cuanto es imposible una ausencia total de estimulación de las funciones cognitivas superiores. De hecho, todavía es poco conocida a nivel neurobiológico (Mora, 2013, p. 38).

21 “A menudo me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias (...) no entienden que no se comprenda. No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana” (Bachelard, como se citó en Carrascosa, 2005, p. 188)

22 Por su formación como biólogo, Piaget adaptó muchos conceptos biológicos para construir su sistema de interpretación de los cambios en la conducta del niño a medida que crece, tanto fisiológica como psicológicamente. Uno de esos conceptos es el de asimilación, central en su teoría.

23 Los conceptos de asimilación y acomodación son suficientes para interpretar la reestructuración de los esquemas solo en el estadio sensorio-motriz. Para explicar la aparición de los esquemas operacionales Piaget utilizó otros pares conceptuales mucho menos conocidos: abstracción física y reflexiva, conocimiento figurativo y operativo, experiencia física y lógico-matemática, etc. Una exposición “simple” de estos conceptos se encuentra en Furth (1971), pero incluso el notable intento de este autor por hacer comprensible a Piaget requiere un gran esfuerzo. Por fortuna este aspecto de la teoría piagetiana es irrelevante para nuestros propósitos.

24 Una las muchas afirmaciones de Piaget en este sentido, que ya citamos en la sección 2.2.2, es la siguiente: “ todos los sujetos normales llegan, si no entre los 11/12 y los 14/15 sí en todos los casos entre los 15/20 años a las operaciones y a las estructuras formales” —como se citó en Gutiérrez (1987, p. 136), cursivas nuestras—. La cita proviene de La evolución intelectual entre la adolescencia y la edad adulta , una contribución de Piaget a la recopilación realizada por J. Delval (1979), Lecturas de psicología del niño, Vol II, Madrid: Alianza, pp. 209-213.

CAPÍTULO 3

EL DESARROLLO EN EL AULA DE LA APTITUD PARA PENSAR CIENTÍFICAMENTE

25 El primer comentario es de un docente en una escuela pública de Nashville, EE. UU. La segunda cita es de Sandra Marshall, psicóloga de la Universidad Estatal de San Diego. Citas tomadas de Bruer, 1995, p. 111 y p. 92.

26 En las últimas tres décadas han surgido una enorme cantidad de innovaciones educacionales enfocadas ex profeso en aumentar las aptitudes de pensamiento de los alumnos, que responden a diferentes conceptualizaciones de las mismas. Nickerson, Perkins y Smith (1994), en uno de los estudios globales más citados acerca de estas innovaciones, reseñan alrededor de veintiocho diferentes enfoques didácticos en esa dirección, implementados en Estados Unidos hasta mediados de los ochenta. Se han descrito en la literatura muchas otras innovaciones con la misma finalidad, diseñadas con posterioridad a 1985, año de publicación de esa obra en su idioma original (ver bibliografía comentada al final del capítulo).

27 Otros ejemplos de habilidades metacognitivas comprenden las estrategias para el abordaje sistemático de problemas y la toma de decisiones, las estrategias para favorecer la creatividad, las habilidades para organizar la recolección de información y su apropiación (incluyendo la lectura comprensiva y el uso de la tecnología), la comunicación efectiva oral y escrita, el pensamiento crítico.

28 “En general, los niños utilizan las habilidades o estrategias justo después de la instrucción, pero no las vuelven a usar más tarde de forma espontánea. Incluso son capaces de describir una estrategia de resolución de problemas o una estrategia memorística en sus propias palabras, pero no pueden utilizarla para solucionar problemas” (Bruer, 1995, p. 111ss). Para un recuento detalladado de las evaluaciones de los diversos enfoques de enseñanza del pensamiento, véase Nickerson et al. (1994). Una revisión global se encuentra en Resnick (2001) y en Woolfolk (1999, pp. 314-319).

29 Debe distinguirse este tipo de intervención educativa de las “intervenciones psicopedagógicas”, mediante las cuales se intentan remediar dificultades especiales, emocionales o cognitivas, como la dislexia, la discalculia, el déficit de atención, etc. Mientras las últimas están a cargo de profesionales

especializados en “educación especial”, las IDC que proponemos están a cargo del docente típico y se aplican en el aula en el horario habitual de clases.

30 Existe abundante bibliografía sobre el enriquecimiento instrumental: Nickerson et al. (1994), Perkins (1995), Adey y Shayer (1994), para su aplicación en nuestro medio consúltese el número 12 (Diciembre de 2004) de la Revista Internacional Magisterio: Educación y Pedagogía .

31 Por ejemplo, progresiones numéricas, organización de puntos, percepción analítica, orientación en el espacio, silogismos, clasificación, relaciones temporales, etcétera.

32 Este grupo había realizado en los años setenta la investigación mencionada en la sección 2.2.2, en la que se estimó el perfil de la población inglesa en lo que respecta al desarrollo cognitivo, y la brecha entre la demanda cognitiva intrínseca del currículo de ciencias y el nivel de desarrollo típico de la población estudiantil correspondiente. El paso siguiente de su programa de investigación abordó la pregunta: ¿Cómo disminuir en la práctica cotidiana del aula tal brecha mediante procesos de mediación en el desarrollo cognitivo? El resultado fue el programa Thinking Science.

33 Las tareas de pensamiento son retos intelectuales y contribuyen al desarrollo en la medida en que constituyen verdaderos problemas para el estudiante, en la medida en que despiertan su interés o lo motivan intrínsecamente. La importancia fundamental de este aspecto para activar los procesos de razonamiento y resolución de problemas se muestra en un experimento de Bransford et al. (2000). Se pidió a dos grupos estudiar pasajes de textos escolares sobre el valor nutritivo de algunos alimentos, la densidad del agua, la energía solar,..., para un examen posterior sobre el contenido de los textos. A los alumnos de un grupo solo se les pidió que recordasen tanto como pudiesen. A los otros se les pidió estudiar el material como si estuviesen preparando un viaje por el Amazonas. Antes del examen, se les pidió participar en otro ejercicio en apariencia no ligado con el primero. Se les invitó a imaginar que estaban planeando un viaje al desierto, y enunciar y analizar diez aspectos que deberían considerar. Mientras los del primer grupo no mencionaron la información estudiada, los segundos la utilizaron con éxito y de manera espontánea (Bruer, 1995, pp. 112-113).

34 Nuestro propósito de redactar un libro de un tamaño razonable no nos permite

detallar las abundantes evaluaciones cualitativas y los experimentos educativos que el grupo CASE ha publicado, que muestran un impacto muy significativo y perdurable en el desarrollo cognitivo, evidenciado como resultado de los diferentes programas de IDC adelantados por el grupo, primero en el área de ciencias para la básica secundaria y luego en otras áreas curriculares y en otros niveles educativos. El lector interesado puede consultar, además de la bibliografía comentada al final de este capítulo, las siguientes referencias técnicas: Adey y Shayer (1990, 1993); Shayer y Adey (1992a, 1992b, 1993). La objetividad científica requiere la revisión de la bibliografía sobre el trabajo del grupo CASE procedente de estudiosos ajenos al grupo, buscando sobre todo la que controvierta sus hallazgos. La bibliografía al respecto que hemos encontrado por lo general es muy positiva: ver, por ejemplo, Wellington (2002, pp. 95-96) y White (2002, p. 271). Perkins (2009, p. 121) comenta muy positivamente el efecto de "transferencia" que tiene la intervención en la mejora del rendimiento en matemáticas e inglés, que constituye una de las principales evidencias de que el trabajo de los estudiantes con las unidades Thinking Science incide sobre la arquitectura cognitiva, pues estos efectos son muy poco frecuentes en la investigación educativa. Tan solo unos cuantos trabajos manifiestan reservas sobre la conveniencia de generalizar el modelo a todos los estudiantes, sin tener en cuenta su "estilo motivacional" (Jones & Gott, 1998; Leo & Galloway, 1996). El artículo de Jones y Gott describe las dificultades logísticas y de actitud de los docentes que obstaculizaron la implementación del programa, en cinco instituciones inglesas, bajo el acompañamiento de la primera autora (quien había sido entrenada por el equipo CASE). Jones y Gott también argumentan, basados en los resultados obtenidos por los estudiantes de una de esas cinco instituciones en la evaluación externa al final de la enseñanza media realizada en Inglaterra, que las tesis del grupo CASE sobre los efectos en la capacidad de aprender del programa Thinking Science son discutibles. Shayer (1999), respondiendo a Jones y Gott, ofrece evidencias claras, a partir de datos que estos autores no tuvieron en cuenta, de que también los estudiantes de la institución "anómala" obtuvieron importantes beneficios cognitivos de la intervención.

35 Obra muy reconocida, que revisa sistemáticamente desde la perspectiva psicológica los diferentes enfoques del "enseñar a pensar" implementados hasta los primeros años de los ochenta y examina la información evaluativa disponible sobre su eficacia. Incluye una primera parte teórica, en la cual se estudia la inteligencia y su medición, la resolución de problemas, la creatividad, la metacognición y los errores del razonamiento.

36 Esta obra temprana de Vygotsky, inédita hasta hace poco, es, sin embargo, “una obra central en la producción vygotskiana” (Carretero, 2005, p. 11). Destinada a la formación psicopedagógica de futuros docentes, si se lee teniendo en cuenta las abundantes notas del editor y traductor (Blanck) sigue conteniendo elementos muy útiles para esta función.

CAPÍTULO 4

PENSAR CON LA CIENCIA

37 “Thinking and problem solving will be the ‘new basics’ of the 21st century” (Resnick, 2001, p. 5).

38 Se podría utilizar el término ‘habilidades científicas’ u otro similar. La escogencia depende del marco conceptual desde el cual se estudie lo que subyace a la resolución eficiente de problemas. El concepto ‘competencia’ enfatiza la complejidad de la actuación humana en situaciones reales (Marín & Uribe, 2015), así como sus aspectos valorativos, lo que no sucede con la palabra ‘habilidad’. La justificación del empleo del adjetivo ‘científico’ para especificar la clase de competencias de las que hablaremos requeriría una amplia discusión epistemológica, pero la obviaremos por cuanto la descripción de la misma efectuada en el texto pondrá en evidencia la adecuación del término.

39 En el ejemplo del corredor, la distancia no puede ser directamente proporcional al tiempo. Si fuera así, un corredor de cien metros planos tardaría poco más de una hora en recorrer el maratón. La suposición planteada, de proporcionalidad directa, significa precisamente que el corredor se regula de tal manera que, si mantuviera la misma rapidez durante toda la carrera, recorrería una distancia proporcional al tiempo. Pero esta suposición constituye solo una hipótesis de trabajo: una posibilidad que asumimos como si fuera cierta , a fin de poder avanzar en el razonamiento.

40 El calificativo ‘formal’, que distingue este y otros esquemas de razonamiento, permite diferenciarlos de otra clase de esquemas operatorios, los “esquemas operatorios concretos”, los propios del llamado “pensamiento concreto”, según

lo expuesto en el capítulo 2.

41 Nuestra experiencia en las aulas de secundaria nos lleva a estar de acuerdo con los autores que han criticado el énfasis excesivo en la experimentación escolar (por ejemplo, Wellington, 2002), sin tener claros los beneficios educativos que produce y sin conceptualizar adecuadamente las relaciones entre la teoría y la práctica.

CAPÍTULO 5

CLASIFICAR Y EXPLICAR: DOS PALANCAS PARA ELEVAR EL NIVEL INTELECTUAL DE LOS ADOLESCENTES

42 La población de preadolescentes estuvo formada por 81 estudiantes de tres instituciones educativas privadas de Cali (dos de niñas y uno de niños) que participaron en la prueba piloto de nuestra adaptación de las actividades Pensar con la Ciencia al contexto colombiano (como será detallado en el capítulo 7). Estos sujetos trabajaron colaborativamente en equipos de tres estudiantes. El número agregado de equipos de trabajo fue de 25, sumando las tres instituciones participantes. La otra población la constituyeron 6 niños y 2 niñas que trabajaron de forma individual.

43 Por razones de seguridad y de tiempo, es preferible que el calentamiento de la primera sustancia, ácido esteárico, la haga el docente a modo de demostración. Si se dispone de suficiente equipo de laboratorio y de protección para los ojos, convendría que los siguientes ensayos sean realizados por los mismos estudiantes. Sin embargo, en caso contrario también los puede realizar el docente.

44 En otra tarea se muestran al niño dos vasos idénticos, con la misma cantidad de líquido. Se trasvasa el líquido contenido en uno de los vasos a otro recipiente de mayor diámetro y menor altura a la vista del niño. Se le pregunta ahora dónde hay más agua, o si los dos recipientes tienen la misma cantidad. Los niños que responden sistemáticamente que la cantidad de líquido no es la misma no conservan la cantidad de líquido. Sus explicaciones indican que llegan a esta

conclusión razonando con base en la diferencia de dimensiones lineales de la columna de líquido: comparan sus longitudes sin tener en cuenta el ancho o viceversa.

45 Complementando lo dicho en la sección 5.2.2.2, la actividad 3 de la unidad 24 les preguntaba: ¿ Qué le sucede al volumen del agua cuando se le adiciona sal? La casi totalidad de los estudiantes reflejó en su contestación lo que realmente sucedió, teniendo en cuenta la precisión del experimento. En efecto, la mayoría de las respuestas coincidieron en la proposición: “Queda igual”. Únicamente un 5% de la muestra se desvió de lo esperado, quizás debido a lo agudo del conflicto cognitivo entre las expectativas y lo observado.

46 La habitual representación visual de los átomos o moléculas mediante los modelos concretos constituidos por pequeñas esferas macizas (Figura 5.10) es tan solo un artificio didáctico, un mediador que permite al docente o al texto explicar el modelo atómico. Pero este es en esencia irrepresentable con la imaginación, porque las moléculas y los átomos no son entidades continuas. Al usar esos modelos el docente debe evitar trasplantar al ámbito microscópico el carácter continuo de la realidad sensible.

47 Es bien sabido que la explicación científica actualmente aceptada recurre a un modelo mucho más elaborado, que distingue dos tipos de partículas en esta situación: las moléculas polares de agua y los iones Na^+ y Cl^-. La interacción entre aquellas y estos rompe la estructura cristalina de la sal, transformando el sistema en un conjunto de “supermoléculas”, por así decir, formadas por iones de sodio ligados débilmente a los átomos electronegativos de oxígeno que constituyen las moléculas de agua, y por iones de cloro ligados a los átomos electropositivos de hidrógeno (ver la Figura 5.10 para una representación didáctica de este proceso).

CAPÍTULO 7

¿Y CÓMO HACER REALIDAD UN CURRÍCULO COGNITIVO EN NUESTRAS AULAS?

48 Perkins (2003). Cita original (p. 120): Educational innovation is one of the gristly challenges of contemporary society.

49 Colciencias y la Universidad del Valle cofinanciaron el proyecto de investigación Aceleración cognoscitiva mediante la Educación en Ciencias en el contexto local (contrato 256-2003), cuyo objetivo fue la adaptación del programa original a nuestro contexto y la evaluación del programa resultante. Habiendo presentado algunos resultados de este proyecto en Uribe (2005); Uribe, Quintero y Rodríguez (2005, 2006); Uribe, Solarte y Torres (2006); Uribe y Solarte (2007), el presente reporte contiene únicamente los datos esenciales para que los lectores conozcan el sustento empírico de nuestra propuesta.

50 Fueron ellas las instituciones Colegio María Auxiliadora, Colegio San José Champagnat y Colegio Juanambú, todas de Calendario B.

51 El promedio obtenido en la escala piagetiana para las niñas de ambas instituciones (N = 157, edad promedio 12 años 6 meses) fue de 4,3 (desviación estándar 0,87). Como referencia, el 73% de las niñas inglesas, cuya edad es 10 meses menor, tiene un puntaje superior a ese valor; el promedio para las niñas inglesas de 11 años y 8 meses de edad es de 5,04. En el caso de los varones, el 59% de los niños ingleses a esa misma edad (11 años y 8 meses) obtuvo un promedio mayor al de nuestra muestra (N = 31, promedio 5,2, desviación estándar 0,87, edad promedio 13 años 0 meses, 1 año 4 meses mayor que la población de referencia inglesa, cuyo promedio es 5,5). Las cifras para la población inglesa se han tomado de Adey et al. (2001).

52 Proyecto denominado Implementación en Municipios No certificados del Valle del Cauca del Programa de Desarrollo de Competencias Científicas “Pensar con la Ciencia” , cofinanciado por Colciencias y la Universidad del Valle (contrato 240-2005). En Uribe y Solarte (2008) y Uribe (2009) se presentan de manera más detallada los resultados de este proyecto.

53 Institución Educativa Jorge Isaacs e Institución Educativa Sagrado Corazón (municipio de El Cerrito), Institución Educativa Absalón Torres Camacho e Institución Educativa Regional Simón Bolívar (municipio de Florida), Institución Educativa Francisco Antonio Zea e Institución Educativa Ateneo (municipio de Pradera), e Institución Educativa Heraclio Uribe Uribe (municipio de Sevilla)

54 Tamaño de la muestra: 265 (140 niños y 125 niñas). La media ponderada del puntaje en la prueba fue 4,2 (desviación estándar 0,9). La edad promedio fue de 13 años y 5 meses. En la población inglesa a los 11 años 8 meses este puntaje corresponde al percentil 19 para ambos sexos, lo que significa que el 81% de los niños y niñas ingleses a una edad promedio inferior en 21 meses a la de nuestra muestra obtienen un mayor puntaje que el observado en los estudiantes participantes (ver nota 51 para comparar con los puntajes obtenidos en el primer proyecto; se aprecian con claridad las consecuencias de la diferencia del entorno socioeconómico y cultural)..

55 No queremos convertir esta sección en un rosario de malaventuras, pero consideramos indispensable insistir en lo ya dicho respecto a una de las causas del número reducido de actividades que se pudieron realizar a lo largo de dos años lectivos en las instituciones oficiales que participaron en el segundo proyecto, en contraste con la realización de las treinta unidades en las instituciones privadas que tan amablemente nos abrieron sus puertas en el primer proyecto: las frecuentes interrupciones de la normalidad académica, bien sea por motivos sindicales o por actividades extracurriculares.

56 Con frecuencia las administraciones educativas centrales en todos los países emprenden iniciativas de formación en servicio dirigidas a docentes de diferentes instituciones, diseñadas desde arriba, con la esperanza de que los participantes pongan en práctica lo aprendido al regresar a su trabajo. La experiencia muestra que estas acciones centralizadas transforman muy poco las prácticas escolares (Adey, 2004). La razón es que las innovaciones que se quieren efectuar de esta manera no se “institucionalizan”, pues no han surgido de un proceso de cambio escolar iniciado en la propia institución, adaptado a sus necesidades y posibilidades.

57 De hecho, una institución educativa oficial de la ciudad de Cali que atiende a estudiantes de zonas muy vulnerables, la I. E. Eustaquio Palacios, lleva implementando con éxito el programa desde el 2008, gracias al apoyo irrestricto de las directivas docentes y al entusiasmo y dedicación de los profesores, hasta el punto de haberlo institucionalizado. Cuando la primera cohorte de estudiantes que participó en el programa presentó las pruebas de Estado, la institución se situó por primera vez en el rango de desempeño superior. Aunque no es posible atribuir inequívocamente este resultado a un único factor, tanto el rector como el cuerpo profesoral están convencidos de la influencia del programa para este avance.

58 Comentario hecho en la Conference on Cognitive Studies and Curriculum Development , Cornell University, Marzo 1964, recogido por E. Duckworth en “ Piaget Rediscovered ”, en R. E. Ripple y V. Rockcastle (eds), (1964). Piaget Rediscovered , (Ithaca, N. Y.: Cornell University Department of Education), cita en p. 5. Traducción al español tomada de: Saunders y Bingham-Newman (2000, p. 73).

BIBLIOGRAFÍA

59 Se señalan con un asterisco (*) las referencias comentadas al final de algunos capítulos o las lecturas complementarias propuestas.

LOS AUTORES

CARLOS URIBE GARTNER

Docente de la Universidad del Valle, Departamento de Física. Físico, Universidad de Antioquia. Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, Universidad Autónoma de Barcelona.

Entre sus publicaciones se cuentan los libros: La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento: Desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana; Unidades didácticas para los cursos de Física Fundamental I y Física I.

Pertenece al grupo de investigación interinstitucional Ciencia, Acciones y Creencias UPN-UV, dentro del cual ha participado como asesor en proyectos de desarrollo profesional e innovación curricular llevados a cabo por instituciones educativas oficiales y privadas en Barranquilla, Cali, Palmira, Yumbo, Santander de Quilichao en convenio con la Universidad del Valle, bajo la modalidad de investigación-acción participativa.

Entre los proyectos de investigación que ha dirigido, se cuentan los reportados en el presente libro: Aceleración cognoscitiva mediante la Educación en Ciencias en el contexto local e Implementación en Municipios No certificados del Valle del Cauca del Programa de Desarrollo de Competencias Científicas “Pensar con la Ciencia”.

Participó en la discusión de los estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales. Miembro del grupo asesor del ICFES para el diseño de las pruebas Saber PRO en Ciencias Naturales. Participante en el proyecto Tunning - América Latina, dirigido por la Universidad de Deusto (España) y la Universidad de Gröningen (Holanda). Miembro del Centro de Innovación Educativa Regional del Suroccidente - CIER Sur, dentro del cual lidera el programa de investigación denominado Hacia un modelo metodológico para la evaluación de los programas que promueven la innovación educativa mediante la apropiación y uso educativo de las TIC en el contexto colombiano

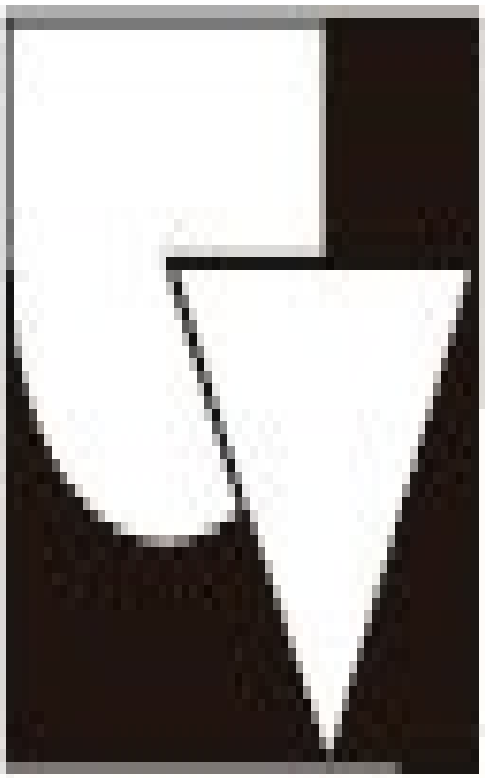
MARÍA CLAUDIA SOLARTE

Licenciada en Biología y Química, Universidad Santiago de Cali. Especialista y Magíster en Educación, énfasis en enseñanza de las ciencias, Universidad del Valle.

Docente de Educación Básica Secundaria (1993-2004). Docente, Universidad de San Buenaventura Cali, Facultad de Educación, Ciencias Naturales y Educación Ambiental (1998-2004); participó en la discusión de los estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales. Docente Universidad del Valle, Sede Palmira (2004-2006), en donde coordinó el programa de Licenciatura en Educación en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Coinvestigadora en los proyectos de investigación Aceleración cognoscitiva mediante la Educación en Ciencias en el contexto local e Implementación en Municipios No certificados del Valle del Cauca del Programa de Desarrollo de Competencias Científicas “Pensar con la Ciencia.

Actualmente es docente nombrada en el Instituto de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle, donde se ha desempeñado como coordinadora del programa ONDAS Valle desde el 2011, financiado a partir del 2013 por el Sistema General de Regalías (proyecto “Construcción de una cultura de ciencia, tecnología e innovación en niños, jóvenes, maestros y comunidad en el Departamento del Valle del Cauca”).



Universidad
del Valle

Programa Editorial

Ciudad Universitaria, Meléndez Cali, Colombia

Teléfonos: (+57) (2) 321 2227 - (+57) (2) 339 2470

http://programaeditorial.univalle.edu.co/

E-mail: programa.editorial@correounivalle.edu.co

Este libro fue impreso por

Velasquez Digital S.A.S.