



## En Sus Marcas, Listos, Ciencia!: De la investigación a la práctica en las clases de ciencias en la educación básica

ISBN  
978-0-309-37757-7

246 pages  
6x9  
2015

Sarah Michaels, Andrew W. Shouse, and Heidi A. Schweingruber; Board on Science Education; Center for Education; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council

 [More information](#)

 [Find similar titles](#)

 [Share this PDF](#)



### Visit the National Academies Press online and register for...

- ✓ Instant access to free PDF downloads of titles from the
  - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
  - NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
  - INSTITUTE OF MEDICINE
  - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
- ✓ 10% off print titles
- ✓ Custom notification of new releases in your field of interest
- ✓ Special offers and discounts

Distribution, posting, or copying of this PDF is strictly prohibited without written permission of the National Academies Press. Unless otherwise indicated, all materials in this PDF are copyrighted by the National Academy of Sciences. Request reprint permission for this book

# ¡EN SUS MARCAS, LISTOS, CIENCIA!

De la investigación a la práctica  
en las clases de ciencias en la  
educación básica

Sarah Michaels, Andrew W. Shouse  
y Heidi A. Schweingruber

*Centro de Educación del Consejo  
para la Educación Científica*

*División de Ciencias Sociales y  
del Comportamiento y Educación*

*Consejo Nacional de Investigación  
de las Academias Nacionales*



¡EN SUS MARCAS, LISTOS, CIENCIA!  
De la investigación a la práctica en las clases de ciencias en la educación básica

Sarah Michaels, Andrew W. Shouse y Heidi A. Schweingruber

Centro de Educación del Consejo para la Educación Científica  
División de Ciencias Sociales y del Comportamiento y Educación  
Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales

*Traducción y Revisión:*

Laura Valdivia, Pablo Saavedra y Andrea Lagarini  
Contact Chile Comunicaciones S.A.

*Editor de esta edición*

Patricio Felmer Aichele

*Comité Editorial*

Juan A. Asenjo, Juan Carlos Castilla y Diana Veneros

*Coordinador de esta edición*

Marcela Reyes Azancot

*Diseño gráfico*

Claudio Silva Castro

*Diseño de portada*

Juan Manuel Neira Lorca

I.S.B.N.: 978-956-8304-13-3.

1ª edición: febrero de 2014.

This is a translation of *Ready, Set, Science!: Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms* by Sarah Michaels, Andrew W. Shouse, and Heidi A. Schweingruber; National Research Council © 2007. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved. This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.

Spanish edition copyright 2013 by Academia Chilena de Ciencias.

Almirante Montt 454. Teléfono 24812840.

E-mail: [academiaciencia@123.cl](mailto:academiaciencia@123.cl) / Santiago de Chile.

Impreso por Graficandes ®. Santo Domingo 4593. Santiago de Chile.

# Grupo de observación de la enseñanza de las ciencias, desde el jardín infantil hasta octavo año volumen para el profesional

KEVIN J. CROWLEY, Departamento de Enseñanza y Aprendizaje, Universidad de Pittsburgh.

JANET ENGLISH, KOCE-TV, PBS, Huntington Beach, California.

HERMANA MARY GERTRUDE HENNESEY, St. Ann School, Stoughton, Wisconsin.

BRIAN J. REISER, Departamento de Ciencias del Aprendizaje, Northwestern University.

LEONA SCHAUBLE, Departamento de Enseñanza y Educación, Vanderbilt University.

DEBORAH SMITH, Escuela Básica Woodcreek para las matemáticas, las ciencias y la tecnología, Lansing, Michigan.

C. JEAN MOON, Directora, Consejo para la Educación Científica.

ANDREW W. SHOUSE, Director de Estudio, Oficial Superior del Programa.

HEIDI A. SCHWEINGRUBER, Oficial Superior del Programa.

VICTORIA N. WARD, Asistente Superior del Programa.

## Consejo para la educación científica

CARL E. WIEMAN (Presidente), Facultad de Física, Universidad de Colorado, Boulder.

ALICE M. AGOGINO, Facultad de Ingeniería, Universidad de California, Berkeley.

PHILIP BELL, Estudios Cognitivos en Educación, Universidad de Washington, Seattle.

WILLIAM BONVILLIAN, Oficina de Washington, Instituto de Tecnología de Massachusetts, Washington, DC.

JOHN BRANSFORD, Facultad de Currículo y Enseñanza, Universidad de Washington.

ADAM GAMORAN, Centro de Investigación Educativa de Wisconsin, Universidad de Wisconsin.

SHARON R. LONG, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Stanford.

BRETT D. MOUDLING, Oficina de Educación de Utah, Salt Lake City.

CARLO PARRAVANO, Instituto Merck para la Educación Científica, Merck & Co., Inc., Rahway, Nueva Jersey.

HELEN R. QUINN, Centro del acelerador lineal de Stanford, Universidad de Stanford.

SUSAN R. SINGER, Facultad de Biología, Carleton College.

JAMES P. SPILLANE, Facultad de Educación y Política Social, Northwestern University.

WILLIAM B. WOOD, Facultad de Biología Celular y del Desarrollo, Universidad de Colorado, Boulder.

C. JEAN MOON, Directora.

HEIDI A. SCHWEINGRUBER, Funcionario Superior del Programa.

ANDREW W. SHOUSE, Funcionario Superior del Programa.

MICHAEL A. FEDER, Funcionario del Programa.

THOMAS E. KELLER, Funcionario del Programa.

VICTORIA N. WARD, Asistente Superior del Programa.

# Contenidos

<i>Prefacio a la edición en español</i> . . . . .	xi
<i>Prólogo</i> . . . . .	xvii
<i>Prefacio</i> . . . . .	xxi

## Capítulo 1

<b>Una nueva perspectiva de las ciencias en la educación</b> . . . . .	1
La importancia de enseñar las ciencias de forma correcta . . . . .	2
Lo que los científicos realmente hacen . . . . .	4
El idioma de las ciencias . . . . .	5
Replantearse la capacidad de los niños de comprender conocimientos científicos . . . . .	7
<i>Clase de ciencias: vernos a nosotros mismos en las mediciones</i> . . . . .	10
<i>Clase de ciencias: medir y expresar la altura en un gráfico</i> . . . . .	12
Enseñar a partir de los conocimientos, intereses y experiencia . . . . .	15
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	17

## Capítulo 2

<b>Las cuatro ramas del aprendizaje científico</b> . . . . .	19
Las cuatro ramas . . . . .	20
<i>Clase de ciencias: la biodiversidad en el patio de un colegio urbano</i> . . . . .	24
Examinar las cuatro ramas en la enseñanza . . . . .	30
La naturaleza interrelacionada de las cuatro ramas . . . . .	34
Las ciencias como un modo de práctica: aprender y hacer actividades juntos . . . . .	36
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	38

### Capítulo 3

<b>Conocimiento de base y cambio conceptual</b> . . . . .	39
Identificar una base de comprensión en común en niños de corta edad . . . . .	40
Ver la naturaleza de formas novedosas . . . . .	43
Tipos de cambio conceptual. . . . .	44
Utilizar el conocimiento previo para darle sentido al mundo. . . . .	46
<i>Clase de ciencias: las moléculas en movimiento</i> . . . . .	48
Examinar el cambio conceptual en las moléculas en movimiento . . . . .	58
Construir la comprensión a lo largo de los años. . . . .	60
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	61

### Capítulo 4

<b>Organizar la educación de las ciencias en torno a los conceptos centrales</b> . . . . .	63
Desarrollar los conceptos centrales a lo largo del tiempo . . . . .	65
Los conceptos centrales con respecto a los estándares y parámetros de referencia . . . . .	66
Utilizar los conceptos centrales para instaurar progresiones de aprendizaje. . . . .	68
<i>Clase de ciencias: la caja misteriosa</i> . . . . .	71
Extender el debate científico . . . . .	75
<i>Clase de ciencias: las propiedades del aire (tercero a quinto básico)</i> . . . . .	77
Enseñar la teoría atómico-molecular a nivel de segundo ciclo de enseñanza básica . . . . .	81
<i>Clase de ciencias: la naturaleza de los gases (sexto a octavo básico)</i> . . . . .	85
Los beneficios de enfocarse en los conceptos centrales y en el progreso del aprendizaje. . . . .	90
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	92

### Capítulo 5

<b>Volver visible el pensamiento: diálogo y argumentación</b> . . . . .	93
Aprender por medio del diálogo y la argumentación . . . . .	94
Alentar el diálogo y el debate argumentativo en clases. . . . .	95
Debate orientado a adoptar posturas . . . . .	99

<i>Clase de ciencias: establecer las normas para el debate en clases</i> . . . . .	102
Apreciar las diferencias culturales, lingüísticas y experienciales . . . . .	104
Estrategias para la inclusión . . . . .	107
<i>Clase de ciencias: apoyo exitoso a la diversidad</i> . . . . .	112
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	116

## Capítulo 6

### **Volver visible el pensamiento: modelamiento**

<b>y representación</b> . . . . .	117
Las matemáticas . . . . .	119
Los datos . . . . .	120
Modelos a escala, diagramas y mapas . . . . .	122
Modelamiento y progresiones de aprendizaje . . . . .	123
<i>Clase de ciencias: representación de datos</i> . . . . .	128
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	134

## Capítulo 7

### **Aprender de las investigaciones científicas** . . . . .

Crear problemas significativos . . . . .	136
Estructurar en secuencias la enseñanza significativa . . . . .	137
Preparar y defender las explicaciones . . . . .	141
Redactar la función de los estudiantes . . . . .	144
<i>Clase de ciencias: diferencia entre masa y densidad</i> . . . . .	146
<i>Clase de ciencias: observar nuestro pensamiento científico</i> . . . . .	151
Fuentes de lectura complementaria . . . . .	158

## Capítulo 8

### **Un sistema que fomenta el aprendizaje de las ciencias** . . . . .

Los docentes como estudiantes . . . . .	161
Conocimiento sobre las ciencias . . . . .	164
La forma en que los estudiantes aprenden ciencias . . . . .	166
Saber cómo enseñar ciencias eficazmente . . . . .	167
Entregar a los profesores oportunidades para aprender . . . . .	168
Los siguientes pasos . . . . .	175



Notas .....	181
Anexo A: Preguntas para los docentes .....	187
Anexo B: Actividades de evaluación basados en una progresión de aprendizaje para la teoría atómico-molecular. ....	193
Anexo C: Diálogo productivo desde un punto de vista académico . . .	197
Anexo D: Resúmenes biográficos del grupo de supervisión y coautores. ....	199
Índice temático .....	205
Agradecimientos. ....	215
Créditos .....	217

# Prefacio a la edición en español

Este libro es un aporte de la Academia Chilena de Ciencias a la enseñanza y aprendizaje de la ciencia en nuestro país. Es reconocido en todo el mundo el valor de la ciencia en los más variados aspectos de la vida moderna por sus numerosas aplicaciones con las que convivimos a diario. Sin embargo, de mucho mayor importancia es el aporte de la ciencia como una estrategia de conocimiento humano, construido desde las bases de nuestras capacidades individuales y nuestra fuerza colectiva para enfrentar situaciones y cuestiones nuevas. Puesta de esta manera, la enseñanza de la ciencia no puede quedar atrapada en una serie de conceptos y hechos que los niños y niñas deben aprender, la enseñanza de la ciencia se debe abrir a la curiosidad, a los intereses de los niños y niñas y debe tener como propósito desarrollar a la persona presente en cada uno de ellos. Y como subproducto, los conceptos y los hechos adquieren sentido, son apropiados y liberados para ser usados en instancias de la vida ciudadana y en la vida profesional.

Este libro tiene como principal destinatario los jóvenes que con entusiasmo abrazan la carrera de pedagogía en educación básica, con las ganas y el anhelo de convertirse mañana en portadores de oportunidades para los niños y niñas que bajo su responsabilidad buscarán desarrollarse en el saber. También este libro está dirigido a los formadores de profesores, de quienes cada vez se espera más, con tan pocos recursos y materiales. Este libro pone a disposición ideas, métodos, estrategias y ejemplos, basados en investigaciones recientes, tendientes a entender qué es necesario entregar a los estudiantes, cómo aprenden los niños y niñas y tomando en cuenta el aporte necesario e indispensable de los propios científicos.

Frente a la realidad educacional chilena, a nuestra tradición de enseñanza de la ciencia a nivel de educación básica, que plantea que no es necesario prepararse para enseñar ciencias, pues para enseñar ciencia solo basta tener un buen texto, este libro pone de manifiesto la complejidad que la tarea: *las ciencias son complejas y aprender ciencias toma tiempo y práctica*. Pero también provee de ideas ordenadoras que permiten delinear el aprendizaje escolar y la formación de los futuros profesores.

La enseñanza de la ciencia se plantea desde cuatro ramas íntimamente relacionadas. En primer lugar *la comprensión de las explicaciones científicas*, donde se aloja lo que conocemos como los contenidos, pero se propone ir más allá, hasta entender las relaciones entre los conceptos centrales de la ciencias, su utilización para construir y criticar argumentos científicos, y

además el desarrollo de la capacidad de aplicar estos conocimientos en situaciones nuevas. En segundo lugar *la generación de evidencia científica*, donde se encuentra el desarrollo de las capacidades para formular preguntas, buscar evidencias, evaluar si ellas son suficientes para sustentar un argumento. Aquí es necesario desarrollar habilidades matemáticas y computacionales para representar, elaborar y procesar información relevante. En tercer lugar *la reflexión sobre el conocimiento científico*, es aquí donde se fragua la comprensión de la ciencia como forma de aprendizaje, que permite obtener conclusiones que representan lo mejor del conocimiento actual, pero que esta a prueba ante nuevas evidencias para ser modificada y perfeccionada. Aquí los estudiantes se involucran en verdaderas investigaciones científicas, en que aprenden las fuentes de la ciencia, sus justificaciones e incertidumbres. Por último *la participación provechosa en las ciencias*, donde se fomenta la participación en la comunidad científica formada por los compañeros del curso, de la escuela y más allá de ella. Aquí se desarrollan las habilidades de comunicación y de participación con pares, donde se ponen en juego las ideas, se escucha y se propone. Los estudiantes, al igual que los científicos comparten ideas y aprenden de las discusiones, interpretan datos en conjunto y abren nuevas líneas de investigación. Estas cuatro ramas definen un conjunto inspirador de ideas ordenadoras en la enseñanza de la ciencias escolar, pero también y muy importante, proveen de estas ideas a la formación de los profesores y profesoras de educación básica para emprender la demandante tarea de lograr que los niños y niñas aprendan ciencia.

Estas cuatro ramas se complementan con *los conceptos centrales de la ciencia*, otra idea ordenadora en torno a la cual se estructura el aprendizaje de la ciencia. Superando la división de la ciencia en las tradicionales formas de organización: biología, física y química, estas ideas permiten un desarrollo sostenido e integrado de los conocimientos fundamentales. Esta forma de concebir el aprendizaje de la ciencia para los niños y niñas es también extremadamente útil para la formación profesores, donde es necesario desarrollar los contenidos de manera integrada, enfatizando en las relaciones entre uno y otro concepto y abordándolo desde la perspectiva de las cuatro ramas mencionadas arriba. Este libro propone como conceptos fundamentales *la teoría atómico-molecular de la materia, la teoría de la evolución, la teoría celular y las leyes de la fuerza y movimiento de Newton*, entendiendo que estos pueden variar entre distintos programas escolares e incluso escuelas.

Con el concepto de las cuatro ramas de la enseñanza y aprendizaje y de las cuatro ideas centrales de la ciencia, este libro provee de una inspiradora secuencia de *Clases de Ciencias*, en las que se presentan en forma

práctica las nociones que se desarrollan en cada capítulo. En estas clases es posible percibir la complejidad de estas instancias de aprendizaje y a la vez las posibilidades que se abren cuando el profesor se encuentra preparado para ellas. Todas estas clases están basadas en casos reales. La complejidad de las ideas y las relaciones que se generan en estas clases contrasta con la simpleza de materiales necesarios para llevarlas a cabo, mostrando de manera elocuente que no está en los laboratorios modernos la clave de los aprendizajes de la ciencia. Junto a las clases de ciencias, este libro propone lecturas complementarias que permiten profundizar en los distintos aspectos relevantes del capítulo. Además en el Anexo A se presentan preguntas para los futuros profesores (docentes) que permiten concebir innumerables actividades de aprendizaje en el contexto universitario de la formación inicial.

La publicación de este libro se realiza en el contexto nacional de una mayor preocupación por la formación de los profesores, la que poco a poco va tomando fuerza y se va instalando como una nueva realidad, pero que requiere de grandes esfuerzos de los distintos actores nacionales para que en los años se obtengan los frutos deseados. Una de las componentes de esta nueva realidad se manifiesta en el programa INICIA con los estándares orientadores, las pruebas de egreso y los convenios de desempeño de apoyo a las universidades. Esta iniciativa, en pleno desarrollo, pone grandes desafíos a la formación de profesores de educación básica, definiendo su ámbito de acción de primero a sexto básico y en cuatro áreas clave de su responsabilidad: Lenguaje, Matemáticas, Ciencias Sociales y Ciencias Naturales. Ciertamente es un enorme desafío para las universidades proveer de oportunidades de aprendizaje que permitan la formación de un profesor en todas las complejas dimensiones de su quehacer y con las competencias disciplinares y pedagógicas para liderar el aprendizaje de los niños y niñas en las cuatro áreas mencionada arriba.

En el área de las ciencias naturales los estándares orientadores ponen desafíos quizás mayores. Una mirada a estos estándares muestra que los requerimientos para los nuevos profesores exceden de manera dramática lo que se ha comprimido usualmente en uno o dos cursos universitarios, en el entendido que después de todo para enseñar ciencia no es necesaria una preparación cuidadosa y compleja, pues basta con seguir un buen libro. De los estándares *'...el propósito formativo de esta área es desarrollar en los estudiantes egresados su comprensión del mundo natural, material y tecnológico, como también, estimular su interés por explicarse y entender el mundo que los rodea. Asimismo, se espera que como resultado de su aprendizaje en el área desarrollen habilidades de investigación y análisis de la realidad natural, tales como formularse preguntas y sacar conclusiones basadas en evidencia para tomar*

*decisiones informadas sobre el ambiente y la salud de sí mismos y de otros...'* y, en particular, el Estándar 9 expresa '*...El futuro profesor o profesora, sabe promover el desarrollo de actitudes y habilidades propias del pensamiento y quehacer científico, en concordancia con los contenidos y objetivos del currículo y con los intereses de los estudiantes. Puede diseñar actividades donde los estudiantes elaboren preguntas, hipótesis e interpretaciones. Está consciente de la importancia del trabajo colaborativo entre los estudiantes y diseña instancias para ello... es capaz de presentar a los estudiantes el conocimiento científico como explicaciones o interpretaciones de un fenómeno y no como una verdad inalterable*'.

El desafío de la formación de profesores y profesoras para enseñar ciencia es enorme cuando se contrasta con la escasez de formadores de profesores con estudios de doctorado, o incluso de magister, en educación científica, que sean capaces de llevar adelante las transformaciones que se requiere en este ámbito en las numerosas instituciones que ofrecen carreras de pedagogía en educación básica. Este desafío también se contrasta con la poca disponibilidad de libros que informen sobre estrategias de formación de profesores y de formación escolar, cuestión en que este libro hace un pequeño aporte. Esta escasez también se manifiesta en la falta de materiales de apoyo en distintos formatos, incluyendo audiovisuales, que ayuden a formar a un profesor o profesora de educación básica.

En este contexto de necesidades, este libro es también una invitación. La tarea formar profesores de ciencias a nivel de educación básica requiere conocimientos, experiencias y fortalezas presentes en los numerosos científicos que se desempeñan en las universidades y otras instituciones de investigación, y que han llevado el nombre de Chile a los mejores centros del mundo. Este libro invita a científicos entusiastas, jóvenes y no tan jóvenes, a sumarse a esta fascinante tarea. La experiencia muestra que las tareas son variadas y requieren de distintos niveles de compromiso, los que son perfectamente compatibles con una demandante carrera académica. Es necesario tejer una trama que vaya desde aquellos que crean la ciencia y quienes las enseñan, pasando por los formadores de profesores y expertos en instituciones de administración de la educación. El ejemplo del programa ECBI muestra de manera concreta los logros que es posible obtener cuando científicos se vuelcan en la tarea de la enseñanza de la ciencia. Este ejemplo también muestra la importancia del involucramiento de los científicos en los estamentos gubernamentales encargados del financiamiento de las iniciativas que fomentan el desarrollo de la educación en ciencias.

Un comentario es necesario hacer sobre la traducción de este libro, que originalmente está orientado a colaboradores de la educación, los que se encargan del apoyo a los profesores de ciencia en Estados Unidos. Por un lado, la lectura del libro permite darse cuenta muy temprano que el

contenido es del mayor interés de profesores en formación, formadores de profesores y ciertamente también de profesores en ejercicio. Por otro lado, la lectura del libro permite percibir desde un comienzo lo que podría constituir un problema de inadecuación cultural al presentar realidades de Estados Unidos, sin embargo es esta misma 'inadecuación cultural' la que le da una enorme riqueza que ayuda a pensar en las propias realidades culturales y en la diversidad que en nuestras propias aulas existe, en origen sociocultural, étnico y de velocidades de aprendizaje.

La versión en español de este interesante libro está orientada principalmente al medio nacional, pero no nos cabe duda que su interés supera las barreras nacionales por los temas fundamentales que trata. La realidad chilena no es muy distinta a la de muchos países de la región latinoamericana, por lo que ofrecemos esta obra también a todos aquellos que en sus países quieren mejorar su educación.

La edición de este libro ha sido posible gracias a un convenio de colaboración entre el Ministerio de Educación, a través del programa MECE-SUP, y la Academia Chilena de Ciencias, en el cual le cupo un rol crucial a Ricardo Reich, a quien agradecemos con especial énfasis. Agradecemos a Renato Orellana, quien nos dio a conocer este libro, su importancia e interés para los futuros profesores de nuestro país. También agradecemos al presidente de la Academia Chilena de Ciencias, profesor Juan A. Asenjo, por su permanente apoyo a las iniciativas de educación en la Academia, y a Marcela Reyes, coordinadora de la Academia, por la coordinación diligente del proceso de edición.

*Patricio Felmer*, Editor

Miembro de Número Academia Chilena de Ciencias  
Santiago, abril de 2014



# Prólogo

*¡En sus marcas, listos, ciencia!* vuelve accesible y útil el contenido de un importante estudio del Consejo Nacional de Investigación llamado *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8* ("Llevar las ciencias a la escuela: aprendizaje y enseñanza de las ciencias en la educación básica") orientado a un público clave: los profesionales de la educación científica que trabajan y apoyan a los profesores de enseñanza básica. Este libro representa un compromiso colectivo de las Academias Nacionales, su Consejo para la Educación Científica, el Instituto Merck para la Educación Científica (el auspiciador del presente volumen) y la *National Academies Press*, el cual apunta a poner a disposición de estos profesionales productos de las Academias Nacionales en formatos e idiomas que les puedan ser útiles en su trabajo.

En el contexto de este libro, el término "profesional de la educación" se refiere a un conjunto de personas que asisten a los profesores en la preparación de evaluaciones, contenidos científicos, materiales para la enseñanza, y experiencias de desarrollo profesional. Sus títulos profesionales pueden diferir según el distrito en el que trabajen. Generalmente, se les llama especialistas científicos, responsables de desarrollo curricular, supervisores de la enseñanza de las ciencias, profesores líderes en el campo de las ciencias o especialistas en desarrollo y evaluación profesional. Las personas que cumplen estas funciones, aunque no siempre estén en el aula misma, son imprescindibles cuando se tienen que tratar temas de educación científica con tanto con profesores como administradores; y a veces hasta con padres y miembros del directorio de la escuela.

Aunque *¡En sus marcas, listos, ciencia!* fue escrito para proveer información actualizada a los profesionales que se desempeñan en el segundo ciclo de educación básica, también puede ser del interés de profesores, administradores y hasta de padres. Todas las funciones relacionadas con la educación científica a nivel de escuela y distrito, al igual que los padres, la familia y los apoderados forman parte de un sistema que determina el interés que despertarán las ciencias en los estudiantes. El presente texto hace un aporte particularmente importante a la educación de las ciencias, pues le ofrece a este sistema una base común de conocimientos bien fundamentados sobre el aprendizaje y la enseñanza de la disciplina.

En *Taking Science to School*, el informe sobre el cual se basa el presente libro, se presentaba un conjunto de investigaciones actuales en las áreas de la psicología cognitiva y del desarrollo; la educación de las ciencias;



y la historia y la filosofía de las ciencias, con el fin de sintetizar lo que se sabe acerca de cómo los estudiantes en enseñanza básica aprenden ideas y de las maneras de poner en práctica las ciencias. En el prefacio a ese volumen se indica que esa síntesis de investigaciones "tiene el potencial de cambiar la educación de las ciencias de manera fundamental". Creemos que esta afirmación es aún más cierta hoy en día, casi a un año desde el lanzamiento del aquel informe.

La respuesta a este último libro por parte de la comunidad dedicada a la educación de las ciencias (tanto a nivel local como estatal y nacional), los encargados de las políticas y los investigadores educacionales ha sido notable. El informe ofrece un resumen de las investigaciones sobre aprendizaje y enseñanza, cuya falta se había hecho patente por demasiado tiempo en la educación de las ciencias. En el informe se redefine y se entrega un marco donde se define que es ser competente en las ciencias. En el corazón de *¡En sus marcas, listos, ciencia!* se encuentra tanto este marco, con su potencial para replantear las clases donde se enseñan las ciencias, como el sistema de funciones y acciones que sirven de apoyo para esas clases.

Este libro no pretende responder todas las preguntas sobre cómo implementar las ideas de *Taking Science to School* en las clases o en el sistema escolar, pero sí contestará a muchas. Se presentan distintos casos de enseñanza y aprendizaje en clases de ciencias con el fin de dirigir la atención del lector hacia las principales conclusiones y recomendaciones que se señalan en *Taking Science to School*, así como hacia la base investigativa sobre la que se apoyan estas conclusiones y recomendaciones. Es común oír que se debería llevar la investigación a la práctica; este es el objetivo de los casos de clases que aparecen en *¡En sus marcas, listos, ciencia!*

Una de las principales prioridades de los miembros y los funcionarios del consejo es difundir el conocimiento obtenido de los resultados de los estudios, los talleres y otras actividades del Comité de Educación Científica. Contar con estrategias de difusión eficaces para sus productos es esencial para cumplir con la misión central de las Academias Nacionales: asesorar a la nación con una voz independiente y basada en evidencia, con respecto a temas de suma importancia para las ciencias, la ingeniería y la medicina. Los profesores de ciencias son esenciales para la disciplina. *¡En sus marcas, listos, ciencia!* reconoce y, al mismo tiempo, honra la crucial contribución que hacen los docentes al área. En nuestra calidad de comité con una clara conexión con los profesores, los profesionales, los formadores de profesores, las facultades de pedagogía, los administradores y encargados, esperamos producir otros libros con estudio de caso basándonos en nuestra propia síntesis y en los informes recogidos en talleres.

Nos gustaría dar nuestro reconocimiento y agradecimiento a Carlo Parravano, la persona con la idea a partir de la cual nace este volumen. Gracias a sus muchos años de liderazgo como director del Instituto Merck para la Educación de Ciencias, el Sr. Parravano entiende el trabajo y la necesidad de información de los profesionales del área de la educación de las ciencias. De igual manera, por medio del Comité Nacional de Investigación, el Sr. Parravano sabe cómo las Academias Nacionales pueden contribuir a este trabajo. El Consejo para la Educación Científica agradece al Instituto Merck para la Educación Científica por auspiciar a *¡En sus marcas, listos, ciencia!* y por ayudarnos a dar un paso realmente importante en términos de difusión. Nuestro objetivo es que este estudio se convierta en la primera de muchas interpretaciones de trabajos más extensos dirigidos a los profesionales de la educación.

Carl E. Wieman, Presidente  
C. Jean Moon, Director del Consejo para la Educación Científica



# Prefacio

En la actualidad, la educación científica es una prioridad de la agenda nacional e internacional. Las redes internacionales de científicos buscan responder preguntas básicas sobre el mundo natural y construir tecnologías poderosas para mejorar la salud y el estándar de vida. Mientras tanto, los Estados Unidos y otros países están a duras penas buscando formas de fomentar y apoyar los esfuerzos en el ámbito de las ciencias. En los Estados Unidos, esto significa que los encargados de las políticas están pidiendo a los educadores que mejoren considerablemente la educación de las matemáticas y las ciencias. Se citan los puntajes en los exámenes internacionales, que evalúan la competencia científica, como evidencia del riesgo al que se ve expuesto Estados Unidos de obtener resultados inferiores respecto a otros países, incluidos algunos en vías de desarrollo. El requisito impuesto por la Ley "No Child Left Behind" (ningún niño rezagado), que desde el año escolar 2007-2008 obliga a los estados a evaluar el aprendizaje de las ciencias, pone de manifiesto la importancia que tiene para el país la educación científica.

Todo esto debe sonarles muy familiar a los docentes del área de las ciencias. Después del lanzamiento del Sputnik en 1958, los estadounidenses se empezaron a preocupar de que la Unión Soviética no los venciera en ciencias y tecnología. En 1982, la Comisión Nacional por la Excelencia en Educación advirtió que había un "resurgimiento de la mediocridad" e hizo un llamado para establecer "estándares más estrictos y cuantificables" tanto en ciencias como en matemáticas. Como respuesta a este y otros llamados a mejorar la educación científica, se crearon nuevos currículos, las iniciativas estatales y locales llevaron a cambios en la sala de clases, y los nuevos estándares y exigencias se orientaron al contenido que el alumno debe aprender en las clases de ciencias.

Estas reformas han tenido un importante impacto. Los puntajes en los exámenes de logros científicos han mejorado en las últimas décadas, especialmente en el caso de grupos minoritarios en desventaja. La investigación científica y otras áreas técnicas se han vuelto más diversas, a medida que las mujeres y otros miembros de grupos minoritarios que antes no tenían representación en las ciencias ahora reciben la educación necesaria como para poder desempeñarse en estas áreas de estudio. El permanente bajo nivel de las capacidades científicas de los estudiantes del país demuestra que todavía queda mucho por hacer.

¿Por qué la educación científica ha sido un tema preocupante por tanto tiempo? En palabras simples, son muchas las razones que vuelven a

la enseñanza y al aprendizaje de las ciencias una tarea demandante. En los Estados Unidos, el sistema educacional es altamente descentralizado, a diferencia de muchos países que cuentan con un currículo nacional. De estado a estado, e incluso en algunos distritos individuales, se puede apreciar que las escuelas trabajan de manera independiente y con diferentes estilos. Como resultado, se pueden observar grandes cambios y diferencias de una clase a otra, de una escuela a otra, y de un estado a otro, lo que vuelve más difícil replicar y difundir las iniciativas exitosas.

Además, muchos profesores de ciencias a nivel de enseñanza básica y media no han recibido la preparación y el respaldo que necesitan para llevar a cabo la labor asignada. Muchos de ellos no están familiarizados con todas las áreas de las ciencias que se espera que enseñen. A pesar de la inversión nacional en el desarrollo nuevos programas curriculares, no todos los profesores disponen de los materiales de calidad que necesitan. Además, los profesores rara vez tienen el tiempo y cuentan con el desarrollo profesional necesario para utilizar bien el nuevo currículo y para enseñar según los nuevos estándares.

En resumen, los profesores no han recibido el apoyo que necesitan para llevar a cabo el trabajo que se les ha asignado. Pese a los importantes avances en la educación científica, todavía queda mucho por hacer para que se reconozca el valor de lo que los profesores saben y hacen, y para brindarles las herramientas, los conocimientos y los recursos que necesitan. Después de todo, los profesores son el recurso más valioso de los cuenta la sociedad para mejorar la educación científica, y son los agentes de cambio más importantes en la educación.

Este libro ha sido diseñado para reconocer y apoyar el trabajo de los profesores y, al mismo tiempo, para explicar las repercusiones que tiene el nuevo conocimiento cuando se lleva a la práctica dentro de la sala de clases. *¡En sus marcas, listos, ciencia!* corresponde a un resumen de investigaciones pioneras recientes en las áreas de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Este libro ha sido diseñado para ayudar a los profesionales a entender los nuevos hallazgos de estos estudios y a cómo los pueden utilizar y llevar a la práctica.

El presente libro se basa en un informe publicado en diciembre del año 2006, que corresponde al trabajo de un comité de 14 personas del Consejo Nacional de Investigación, titulado *Taking Science to School*. Por un periodo de dos años, el comité llevó a cabo una revisión exhaustiva de la investigación reciente enfocada en la enseñanza y el aprendizaje en diferentes disciplinas académicas. Estas disciplinas incluyen la ciencia cognitiva, la psicología del desarrollo, la investigación en pedagogía, el diseño de entornos adecuados para el aprendizaje, la historia y la filoso-

fía de la ciencia, y los nuevos campos interdisciplinarios, tales como la neurobiología y los estudios socioculturales de la mente. El comité analizó la información reunida, identificó brechas y preguntas, y recolectó información con el fin de acortar tales brechas. Además, organizó tres reuniones públicas para averiguar más hechos, revisó investigaciones no publicadas y les asignó a expertos la tarea de preparar y presentar nuevos estudios y ensayos.

En las reuniones cuarta y quinta, el comité analizó y comentó en detalle los hallazgos y las conclusiones como parte del proceso de redacción de este informe.

Incluso antes de la primera reunión del comité, los directores del Instituto Merck para la Educación Científica se dieron cuenta de que el este informe que saldría de ella contendría información extremadamente útil para todos aquellos que, directa o indirectamente, estuviesen involucrados en la enseñanza de las ciencias. El director ejecutivo del Instituto Merck, Carlo Parravano, le preguntó al director del Consejo para la Educación Científica si existía la posibilidad de producir un libro que se basara en el informe del comité, pero que se enfocaría directamente en las necesidades de los profesionales de la educación científica. El Consejo para la Educación Científica y los dirigentes del Consejo Nacional de Investigación estuvieron de acuerdo en considerar que un libro así sería de gran valor, por lo que el Instituto Merck generosamente accedió a brindarle su apoyo al proyecto.

Este libro ha sido escrito para personas que tienen algún grado de influencia en lo que ocurre dentro de las aulas de clases de educación básica. Este grupo incluye profesores, claramente, al igual que a muchas otras personas. Los especialistas en ciencias, quienes trabajan con docentes, son un público objetivo particularmente importante. Estos individuos están en una posición ideal para implementar las ideas de este libro por medio de su trabajo tanto con los profesores como con los administradores de las escuelas. Pero este libro también está dirigido a otros individuos de gran importancia, como lo son los supervisores de programas curriculares, los expertos en desarrollo profesional docente, los formadores de profesores, los diseñadores de programas curriculares y evaluaciones, y los directores de escuela. Todos estos individuos trabajan en un sistema que determina lo que ocurre durante las clases. El objetivo principal que se busca con este libro es ayudar a todos aquellos dentro de este sistema a trabajar para conseguir las metas comunes.

Tal como el público objetivo de este libro está compuesto por diversos grupos, este libro puede utilizarse de diversas maneras. Su principal fin es ayudar a los docentes de ciencias en la educación básica a lidiar con el

creciente cuerpo de estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, y a considerar cómo llevarlo mejor a la práctica. Con este fin en mente, cada profesor puede usar este libro para estructurar y reflexionar sobre lo que ocurre en sus clases. Los grupos de estudio de docentes y los dirigentes de profesores pueden utilizarlo para guiar sus debates y el aprendizaje. Los encargados del desarrollo profesional y los profesores universitarios de pedagogía pueden utilizarlo para estructurar las experiencias y el conocimiento que los profesores llevan consigo a sus clases. El personal administrativo de las escuelas y los encargados de las políticas puede utilizarlo para determinar el tipo de apoyo que los profesores y otros pedagogos necesitan para cumplir con su labor. Los padres también podrán encontrar mucho en este libro de su interés, pues son ellos mismos los primeros profesores de sus hijos y tienen una importante influencia en la educación científica durante la enseñanza básica. En este libro no se entregan instrucciones paso a paso; más bien, se busca ofrecer a los profesionales lo mejor de las investigaciones y contextualizar los hallazgos en un entorno de clases normal.

Las personas vinculadas con la educación profesional que quieran utilizar este libro (por ejemplo, aquellos que participan en la formación de profesores de ciencia, en grupos de trabajo de profesores, en la formulación de programas curriculares y evaluaciones, y en reuniones de personal) pueden hacer uso de las preguntas en el Anexo A y de los ejemplos detallados en los Anexos B y C.

Este libro contiene las principales observaciones y conclusiones que se recogieron del estudio *Taking Science to School*. El trabajo del comité ha sido reorganizado y reestructurado específicamente para satisfacer al público profesional. Además, el libro contiene elementos que han sido diseñados para lograr que las conclusiones del comité sean lo más útiles posible para las clases. Destaca el hecho de que, en la mayoría de los capítulos, se incluyen historias que han sido diseñadas para concretizar de alguna manera los hallazgos encontrados en las investigaciones. La mayoría de las historias se basan en experiencias de clases que realmente ocurrieron (aunque en algunos casos los nombres de los estudiantes y los profesores y algunos de los detalles de las ocurrencias fueron modificados). Como resultado, estas narraciones ejemplifican las dificultades con las que los profesores deben lidiar día a día. Nos revelan cómo los profesores trabajan para seleccionar y diseñar actividades instructivas, rigurosas e interesantes; controlan y guían sus clases; dirigen debates productivos con grupos de estudiantes cultural y lingüísticamente variados; y ayudan a los estudiantes a expresar lo que piensan por medio de diferentes herramientas de representación.

Al formular este informe, el Comité para la Enseñanza de las Ciencias ha logrado destacar un punto importante desde el nivel de jardín infantil hasta octavo año de educación básica, que también tiene relevancia para este libro. En algunas áreas, las investigaciones actuales no han llegado a hallazgos lo suficientemente sólidos como para ofrecer una guía con información detallada y paso a paso sobre cómo mejorar la educación de las ciencias. Sin embargo, es imperativo progresar y sabemos lo suficiente para seguir adelante. Como resultado, el comité ofrece las denominadas "apuestas seguras", enfocadas en mejorar la educación científica. Estas apuestas se basan en investigaciones bien fundamentadas, pero se requiere documentación adicional por medio de estudios continuos y evaluaciones detalladas de las diferentes prácticas y sus cambios. Si se logran evaluar las iniciativas de las escuelas, los distritos y de los estados, estas apuestas se pueden convertir en alternativas bien documentadas y útiles tanto para la creación de políticas como para la enseñanza.

El mundo está cambiando mucho más rápido ahora que hace una par de décadas atrás. Los países que cuentan con profesionales científicamente competentes tienen una mayor probabilidad de posicionarse a nivel mundial que aquellos países que no cuentan con tales personas. Las buenas decisiones en asuntos tales como la investigación de las células madres, el cambio climático y las políticas energéticas requieren de personas que tengan una educación científica adecuada. La poca presencia de mujeres y minorías en el área de las ciencias en Estados Unidos sigue siendo un problema serio, especialmente debido a que estos grupos son cada vez más numerosos. La brecha entre los estudiantes de escasos recursos y los estudiantes convencionales en la educación científica sigue siendo un problema para los ideales de igualdad y oportunidad.

Las últimas investigaciones pueden ayudar a los profesores y a otros educadores a cumplir con muchas de las exigencias que se les imponen. Esta investigación apunta a un tipo de enseñanza de las ciencias que es muy distinto a la forma como se enseñan las ciencias hoy en día. Es hora de preparar la enseñanza de las ciencias para los desafíos del siglo XXI.





## CAPÍTULO 1

# Una nueva perspectiva de las ciencias en la educación

Joanna Fredericks temía convertirse en la profesora que había jurado nunca llegar a ser. Hacía un año y medio que había llegado a *Tubman Middle School* para enseñar ciencias, después de una exitosa carrera profesional en el área de los sistemas de información geográfica. A pesar de que había disfrutado su trabajo anterior, quería hacer algo que marcara una diferencia en la vida de los niños. Por esta razón, se inscribió en un programa de magíster en pedagogía en una universidad prestigiosa, obtuvo su certificación en enseñanza de ciencias para la educación básica y buscó un trabajo acorde en la ciudad en donde vivía.

Sus colegas en *Tubman Middle School* la consideraban como una profesora inteligente, energética y apasionada por su trabajo. Sin embargo, poco a poco, la enseñanza se le develaba como una labor mucho más difícil de lo que se había imaginado. Su distrito escolar, uno de los más grandes, más diversos y más pobres del estado, utilizaba un texto escolar que cubría muchos más temas de lo que era posible enseñar. Como resultado, el currículo traía mucho de todo y no profundizaba en nada, tal como muchos de los informes nacionales en ciencias han revelado con respecto a otros currículos. Sencillamente le era imposible enseñar todos los temas, el vocabulario y los experimentos descritos en el libro como para que sus estudiantes realmente comprendieran los conceptos que se les presentaban.

Aunque los estudiantes se mostraban interesados en las demostraciones sugeridas en el libro y en los experimentos que la Sra. Fredericks les mostraba, casi nunca tenían tiempo para estudiar los resultados, por lo que les resultaba difícil entenderlos. Asimismo, la Sra. Fredericks sabía que sus estudiantes debían lograr buenos resultados en los exámenes estatales de ciencias que debían rendir al final del octavo año, pero entre un 80% y 90% de ellos estaba reprobando las pruebas incluidas al final de cada capítulo del texto de estudio.

A medida que avanzaba el año, sus alumnos comenzaron a comportarse mal y a faltarse el respeto entre ellos. La Sra. Fredericks sabía que, en parte, el problema era que estaban aburridos, pero no sabía cómo hacer que sus clases fueran más interesantes sin verse obligada a dejar de lado el currículo. Mientras más pedía a sus alumnos que se sentaran y permanecieran callados mientras completaban la actividad, más desobedecían.

Ya en su segundo año como profesora, la Sra. Fredericks presentía que su peor pesadilla se estaba volviendo realidad. Se estaba convirtiendo en uno de esos profesores de ciencias que solo enseñan dos cosas a sus alumnos: que no les gusta la ciencia y que no son buenos en esta asignatura.

### *La importancia de enseñar las ciencias de forma correcta*

Las ciencias se han convertido en la piedra angular de la educación del siglo XXI. Esta realidad se torna evidente en la disposición de la Ley “No Child Left Behind” (ningún niño rezagado), en la cual se estipula que, a partir del año escolar 2007-2008, se deben realizar evaluaciones en ciencias junto a las evaluaciones de comprensión de lectura y matemáticas. Aparte de esta ley, todavía hay un sinnúmero de razones de por qué es importante enseñar las ciencias de forma correcta en los colegios y escuelas.

Las ciencias son un motor poderoso que puede mejorar la vida de las personas de manera sustancial. Equipos de científicos participan en la creación de curas para enfermedades, en la invención de tecnologías para distribuir agua potable a lugares áridos, en la construcción de sistemas para mejorar la seguridad nacional y en el diseño de modelos computacionales que ayudan a registrar el impacto de la humanidad en el medio ambiente. El estudio de estos temas, y muchos otros de igual importancia, seguirá siendo primordial tanto en el corto como en el largo plazo. Para generar una productividad científica se necesita una fuerza laboral conformada no solo por científicos, ingenieros y profesionales del área médica y de la salud, pero además por periodistas, docentes, políticos, y la amplia red de profesionales que contribuyen de manera crucial a las ciencias y a la empresa científica. Es sumamente importante que enseñemos bien las ciencias a los niños, ya que las ciencias son un factor crucial al momento de mantener y mejorar la calidad de vida.

Asimismo, las ciencias pueden entregar la base para un aprendizaje científico continuo, además de servir de apoyo para otras áreas académicas. Los estudiantes que aprenden a hablar con sus pares de manera

científica, como por ejemplo al buscar conexiones entre diferentes ideas y evidencia y al criticar las ideas de manera constructiva, pueden ocupar esas destrezas en otras áreas de estudio.

Las ciencias son importantes por otra razón que con frecuencia pasa desapercibida. Cuando tenemos aprendemos ciencia, contamos con un conjunto de conocimientos y estrategias que nos sirve para examinar la evidencia de manera sistemática, interpretarla y así controlar nuestro entorno. El conocimiento de las ciencias nos permite pensar de manera crítica y estructurar nuestras preguntas de manera productiva. Por el contrario, sin este tipo de conocimiento, dependemos de que otros sean los "expertos". Poseer conocimientos científicos nos confiere el poder para ser actores y no meros espectadores. En este sentido, las ciencias son más que un medio que nos permite avanzar en el ámbito laboral. Son un recurso que sirve para convertirnos en ciudadanos comprometidos y cruciales para la democracia.

El aumento de la importancia de las ciencias en el mundo moderno ha atraído aun más atención a la enseñanza de las ciencias en la educación básica y media. Durante la década de 1990, la instauración de estándares y puntos de referencia a nivel nacional dio paso a un debate a lo largo del país acerca de lo que los estudiantes debían aprender de las ciencias y sobre cómo el sistema educativo podía apoyar el aprendizaje de los estudiantes. Estos estándares y puntos de referencia nacionales sirvieron como base para los estándares estatales y como marcos para los currículos, los que han influenciado de manera significativa en lo que los alumnos aprenden en las clases de ciencias.

Estos cambios solo nos han dejado a medio camino de nuestra meta. Ha habido un gran progreso respecto a las investigaciones en pedagogía y procesos de aprendizaje en comparación con lo que se sabía cuando se fijaron los estándares. Ahora sabemos lo suficiente como para que los educadores, administradores y encargados de las políticas vuelvan a plantearse los aspectos claves de la enseñanza de las ciencias. También sabemos cómo utilizar los estándares, lo que nos ha ayudado a comprender cómo se deben diseñar. De acuerdo con su planteamiento original, los

#### *Cuatro razones para enseñar bien las ciencias*

1. Las ciencias son una herramienta que puede utilizarse para mejorar la calidad de vida a nivel mundial.
2. Las ciencias proveen una base para el desarrollo del lenguaje, la lógica y las habilidades de resolución de problemas en la sala de clases.
3. La democracia requiere que sus ciudadanos tomen decisiones personales, a nivel de la comunidad y a nivel nacional que incluyen información científica.
4. Para algunos estudiantes, las ciencias se transformarán en una vocación de por vida.

estándares nacionales proveen pautas muy amplias para el contenido que se debería estudiar en las clases de ciencia y cómo se debería enseñar. No obstante, no dan muchas pautas sobre cuáles son los temas más importantes. Ofrecen unos pocos ejemplos pedagógicos, por lo que no logran realmente entregar un modelo de enseñanza completo.

Las nuevas investigaciones apuntan a un tipo de enseñanza de las ciencias que es muy diferente a cómo se imparten hoy en día. Esta nueva perspectiva de la educación científica incluye diferentes maneras de ver las ciencias, diferentes maneras de concebir a los estudiantes y diferentes maneras de enseñar este tipo de conocimiento.

### *Lo que los científicos realmente hacen*

Durante las últimas décadas, historiadores, filósofos científicos y sociólogos han estudiado de cerca lo que realmente hacen los científicos, lo que con frecuencia entrega resultados sorprendentes. Desde el punto de vista convencional, el científico solitario, por lo general un hombre de tez blanca lucha heroicamente contra la naturaleza con el fin de comprender el mundo natural. A veces se considera a los científicos como aquellos que aplican el "método científico" para obtener resultados. Se les percibe como aislados del mundo real, trabajando en un reino abstracto y distante.

Los estudios de lo que realmente hacen los científicos desmienten estos estereotipos. Los científicos enfrentan los problemas de diferentes maneras y con diferentes ideas preconcebidas. No existe un único "método científico" que sea utilizado de manera universal por todos. Los científicos utilizan una amplia gama de métodos para desarrollar hipótesis, modelos y teorías formales e informales. También utilizan diferentes métodos para evaluar la productividad de sus teorías y para refinar sus modelos, explicaciones y propuestas. Utilizan una gama de técnicas para recolectar datos de manera sistemática y una variedad de herramientas para mejorar sus observaciones, mediciones y análisis de datos y representaciones.

En estudios también se ha demostrado que las ciencias son una herramienta fundamentalmente social. Los científicos hablan con frecuencia con sus colegas, tanto en un tono formal como informal. Las ciencias son dirigidas principalmente por grandes grupos o extensas redes de científicos. Un número cada vez mayor de mujeres y minorías ahora son científicos, a pesar de que aún no son tantos como para igualar su representación en la población. Los científicos intercambian correos electrónicos, debaten en conferencias, y representan y responden a ideas por medio

de publicaciones en revistas académicas y libros. Asimismo, utilizan una amplia variedad de herramientas culturales, incluyendo dispositivos tecnológicos, representaciones matemáticas y métodos de comunicación. Estas herramientas no solo determinan lo que los científicos ven, sino también los tipos de observaciones que hacen.

A pesar de que las diferentes áreas de las ciencias dependen de diversos procesos para llegar a teorías científicas, todas las áreas de las ciencias comparten ciertas características. Los datos y la evidencia se adjudican el primer lugar al momento de tomar decisiones. Cuando los datos bien fundamentados, es decir, que provienen de experimentos u observaciones, no coinciden con una hipótesis o teoría, esa idea debe modificarse o, de lo contrario, se debe abandonar y se deben buscar otras explicaciones que incorporen o tomen en cuenta la nueva evidencia. Las teorías, los modelos y las hipótesis nacen de la evidencia empírica, por lo que pueden ponerse a prueba y corregirse o expandirse de ser necesario. Los científicos crean y modifican los modelos, las hipótesis y las teorías para que estas incluyan el máximo de observaciones posibles.

### *El idioma de las ciencias*

En las ciencias, las palabras por lo general contienen un significado específico que puede ser diferente o más preciso que su significado cotidiano. Es importante que los docentes sepan distinguir el uso científico específico del cotidiano, con el fin de evitar confusiones.

Las teorías científicas, particularmente aquella que se leen "la teoría de...", como la teoría del electromagnetismo o la teoría de la termodinámica o la teoría de la mecánica de Newton, corresponden a una explicación que se ha sometido a procesos de comprobación adecuada.

Por medio de estos procesos de comprobación y el subsiguiente perfeccionamiento, la teoría se convierte en una descripción bien fundada y en una herramienta útil para predecir fenómenos en un área en particular. Cuando una teoría está bien establecida, es poco probable que nuevos datos dentro del área la desacrediten por completo. En vez de eso, la teoría se modifica y se corrige para incluir la nueva evidencia. Puede haber áreas en que la teoría puede aplicarse, pero aún no se ha puesto a prueba; en esas áreas, la teoría pasa a ser una hipótesis de trabajo. En efecto, los científicos utilizan el término "hipótesis" para indicar una idea que puede contribuir significativamente con explicaciones al desarrollo de una teoría científica. Además, utilizan y comprueban las hipótesis como parte del desarrollo y perfeccionamiento de modelos y escenarios que sirven, en conjunto, como herramientas para instaurar una teoría.

Fuera de la esfera científica, el término "teoría" tiene otras acepciones que difieren del significado que le acabamos de dar en los párrafos anteriores. Un uso alternativo proviene del lenguaje del día a día, en donde una "teoría" es sinónimo de "adivinar", "conjeturar", "especular", "predecir", o incluso "creer" (por ejemplo, "mi teoría es que el fútbol de playa se hará muy famoso" o "mi teoría es que mañana lloverá"). Tales "teorías", por lo general, son muy específicas y, a diferencia de las teorías científicas, no tienen un alcance conceptual amplio.

Un dato, o "datos" en su forma plural, es una observación o medición registrada para análisis posteriores. La observación o medición puede provenir de un sistema natural o de una situación experimental construida o diseñada. La observación, incluso en los cursos de enseñanza básica, puede ser directa o puede incluir ayudas tecnológicas o inferencias. Por ejemplo, los estudiantes pueden comenzar realizando una observación de fenómenos naturales sin la ayuda de herramientas, y luego progresar hasta el manejo de herramientas o instrumentos de medición simples, como microscopios.

La evidencia es el conjunto de datos u observaciones acumulados sobre un fenómeno. Cuando la base de la evidencia provee patrones recurrentes para una propiedad bien establecida, una correlación o una ocurrencia, esta pasa a ser la base de una afirmación científica. Las afirmaciones científicas, siempre basadas en la evidencia, pueden o no prevalecer en el tiempo. Es posible que algunas prueben ser falsas. Algunas se demuestran que siempre ocurren en cualquier contexto; los científicos las denominan afirmaciones de hecho (por ejemplo, el sol sale del este). Los hechos son considerados como evidencia y afirmaciones de fenómenos que se juntan para desarrollar y perfeccionar o desafiar explicaciones. Por ejemplo, el hecho de que ocurran terremotos se conoce hace mucho tiempo, pero la explicación de por qué ocurren tiene otro significado si uno incorpora las placas tectónicas dentro del marco teórico. El hecho de que existen diferentes tipos de terremotos (con epicentros superficiales o profundos) ayuda a dar una base sustancial y a expandir el poder explicativo de la teoría de la tectónica de placas.

El modo en que los científicos trabajan en el mundo real es muy similar a cómo los alumnos estudian en las clases de ciencias. A lo largo de este libro, examinamos diferentes clases de ciencias en donde los docentes se esfuerzan por estructurar la práctica científica de los estudiantes para que se parezca al trabajo que hacen los científicos. En este tipo de clases, los estudiantes participan en un proceso de razonamiento lógico sobre la evidencia; trabajan de manera cooperativa para explorar ideas; utilizan modelos matemáticos o mecánicos; desarrollan representacio-

nes de fenómenos; y trabajan con varias herramientas tecnológicas e intelectuales. Los estudiantes participan de cerca en debates rigurosos sobre las predicciones, la evidencia, las explicaciones y sobre las relaciones entre las hipótesis y los datos. Examinan, repasan y evalúan su propio conocimiento. La habilidad de evaluar el conocimiento ante la presencia de nueva información o marcos alternativos, y de alterar las ideas de manera acorde, es una práctica científica clave.

Por supuesto, los estudiantes no se comportan como un científico. Aún no tienen todos los conocimientos necesarios y no cuentan con experiencia en la práctica científica. Pero los estudiantes que entienden las ciencias como un proceso de construcción de teorías a partir de la evidencia, desarrollan muchas de las habilidades y prácticas que demuestran los científicos. Se les puede enseñar a aplicar su conocimiento a nuevos problemas o en contextos diferentes. Pueden establecer vínculos entre diferentes representaciones de un concepto. Pueden preguntarse a sí mismos por qué creen algo y qué tan seguros están de lo que creen. Pueden darse cuenta de que las ideas cambian con el paso del tiempo a medida que confrontan nueva evidencia o se utilizan nuevas herramientas o modelos para examinar los datos. Pueden aprender a hacer preguntas útiles y dignas de investigaciones, a desafiar una afirmación y saber qué fuentes consultar para aprender más sobre el un tema.

### ***Replantearse la capacidad de los niños de comprender conocimientos científicos***

En estudios se ha revelado una imagen completamente diferente de lo que los niños de corta edad son capaces de hacer. Los investigadores cognitivos han mejorado sus métodos para comprobar las capacidades de los niños. En el proceso, han descubierto un conjunto de habilidades de razonamiento y conocimiento mucho más copioso de lo que se esperaba para niños de corta edad. En los estudios se ha demostrado que incluso algunos niños en el jardín infantil ya cuentan con formas de pensamiento increíblemente sofisticadas sobre el mundo natural, basadas en experiencias directas con el entorno físico, tales como ver objetos caer y chocar, y observar animales y plantas. Los niños también aprenden acerca del mundo al conversar con sus familiares, mirar televisión, visitar parques o jugar afuera. Ellos aplican sus conocimientos cuando tratan de describir sus experiencias o persuadir a otros sobre lo que es correcto o incorrecto. Al tratar de entender e influenciar el mundo a su alrededor, desarrollan ideas sobre cómo el mundo funciona y el papel que cumplen en el mismo.





Las experiencias fuera de la escuela, influyen y dan forma al conocimiento y habilidades que los niños tienen y ocupan en las clases. Estas experiencias varían y con frecuencia resultan en conocimientos, habilidades e intereses que difieren entre ellos. Los niños que van a museos de ciencias naturales o a cursos de verano pueden llegar a tener una amplia experiencia investigando la naturaleza o temas científicos.

Los niños que conversan con sus padres sobre asuntos científicos son más propensos a saber más sobre las ciencias. Se ha demostrado en algunas investigaciones que incluso tener una pecera con peces como mascotas puede acelerar la comprensión de los niños acerca de algunos procesos biológicos. La variabilidad en los conocimientos y habilidades que los alumnos obtienen de estas experiencias extraescolares pueden aprovecharse de manera constructiva en una clase de ciencias bien estructurada.

La capacidad de los niños de corta edad de razonar de manera científica es mucho más avanzada de lo que se había pensado. Niños de todos los trasfondos culturales y socioeconómicos muestran evidencia de poseer habilidades sofisticadas de razonamiento. A pesar de que es posible que no todos tengan los conocimientos o la experiencia necesarios, sí son capaces de seguir una amplia gama de procesos de razonamientos simples y complejos. Estos procesos pueden formar la base del pensamiento científico. Así, los niños comienzan a ir a la escuela con un conjunto de ideas sobre el mundo físico, biológico y social. Si se pone más atención a lo que piensan y dicen los niños, se toma en serio sus ideas y se trata de entender la manera en que razonan, los docentes pueden tomar lo que los niños saben y son capaces de hacer como base sobre la cual asentar el aprendizaje. Sus ideas pueden ser más o menos cohesivas y, ciertamente, en niños muy pequeños estas pueden estar poco desarrolladas. No obstante, estas primeras ideas se pueden utilizar como el núcleo a partir del cual generar una mejor comprensión de las ciencias incluso durante los primeros años escolares.

Esta manera de concebir las capacidades y el conocimiento de los niños difiere profundamente de la visión de antaño. Gran parte de la educación de las ciencias se basa en la idea de que los niños más jóvenes

tienen deficiencias cognitivas específicas que no pueden superar. Una idea ampliamente aceptada es que los niños pasan por etapas cognitivas de manera natural y con poca intervención directa de adultos, desarrollando capacidades nuevas de manera gradual a medida que crecen. Como resultado, los docentes con frecuencia suponen que tienen que esperar a que los niños alcancen una cierta etapa en la que sean capaces de comprender ideas específicas o realizar actividades, en vez de tomar los conocimientos y habilidades que los niños traen consigo como base para construir nuevos conocimientos. La realidad, como queda demostrada en los siguientes estudios de caso, es que los niños ya desde el jardín infantil cuentan con la capacidad de pensar de maneras que pueden servir como una base para el razonamiento científico más sofisticado que luego aprenderán. A pesar de que aquí nos enfocamos en las mediciones, esta área es solo una de muchas otras que son igual de importantes. En ellas, los niños cuentan con habilidades sólidas y experiencias que sirven como base para futuros conocimientos, pero necesitan oportunidades de aprendizaje estructuradas para poder progresar. Los niños que salen del jardín infantil entran a la escuela con una comprensión muy débil de las razones por la cual se utilizan instrumentos o cómo saber si algo está bien medido. Medir les enseña a los estudiantes la importancia de generar datos que pueden describirse de maneras reproducibles (para que puedan ser verificados) y que pueden interpretarse de manera matemática y manipularse. Medir también ayuda a los niños a encontrar patrones en los datos, patrones que pasarían desapercibidos si siempre dependieran del sentido común.

Estos casos tienen el propósito de ilustrar cómo sería si los niños de corta edad participaran en ejercicios científicos; lo que sucede cuando se les desafía a que razonen acerca de un problema, cuando examinan un problema a la luz de lo que ya saben o han experimentado, y cuando trabajan en pos de comprender un problema entre todos. La práctica pedagógica que se detalla aquí se ha construido a partir de los conocimientos del profesor sobre la materia, las habilidades y conocimientos que el docente cree que tienen sus estudiantes y su capacidad de dirigir debates complejos y abiertos en la sala de clases.

Construir una base por medio de ejercicios de mediciones en el jardín infantil y en el primer año escolar dará frutos abundantes en los años de estudios posteriores, cuando los estudiantes sean capaces de razonar acerca de las mediciones y utilizar los resultados de maneras más sofisticadas.

# VERNOS A NOSOTROS MISMOS EN LAS MEDICIONES<sup>1</sup>

Como parte de una unidad llamada "Vernos a nosotros mismos en las mediciones", los estudiantes de jardín infantil a cargo de la profesora Julia Martínez estaban en proceso de medirse a sí mismos para crear un gráfico de alturas en tamaño real. Cada estudiante tenía una foto pequeña de sí mismo, y pegada a la pared había una huincha de medir. Antes de comenzar, la Sra. Martínez le dijo a sus alumnos que tenía una pregunta de medición importante, y que debían llegar a una decisión grupal:

"¿Deberíamos medir nuestra altura con o sin zapatos? Sentémonos en nuestros lugares y hablemos de esto como científicos. Primero pensemos cada uno sobre esto por un minuto y luego hablemos en grupo".

Los niños levantaron las manos.

"¡Tengo una idea!"

"¡Ya sé!"

La Sra. Martínez esperó a que hartas manos estuvieran en el aire. Luego dijo: "Todos tendrán la oportunidad de compartir sus ideas. Pero primero tenemos que escuchar atentamente a lo que los otros dicen, para que podamos tomar una decisión juntos".

La Sra. Martínez pidió a Alexandra su opinión.

"Creo que deberíamos hacerlo sin zapatos porque algunos de nuestros zapatos son más chicos y otros más grandes o altos. Eso no sería justo", dijo Alexandra.

"¿A qué te refieres con justo? ¿Puedes explicarnos mejor tu idea?"

"O sea, alguien puede ser más alto por sus zapatos pero no porque realmente sea más alto. Eso no sería justo".

"¿Alguien más quiere decir algo relacionado con la idea de Alexandra? ¿Hay alguien que no esté de acuerdo?"

"Yo no de acuerdo", dijo Ramón, que hablaba español en su casa y que recién comenzaba a aprender inglés. "Los zapatos iguales todos. Todos iguales de grandes". Midió la suela de sus zapatos y mostró dos dedos para indicar el tamaño. "No hace diferencia".

"Entonces déjame ver si entendí tu idea", dijo la Sra. Martínez. "¿Estás diciendo que como todos tenemos zapatos y todos son más o me-



nos del mismo tamaño, se suma la misma cantidad a la altura de todos por lo que sí sería justo? ¿Eso es lo que quieres decir? Ramón asintió con la cabeza.

"Creo que deberíamos sacarnos los zapatos porque algunos zapatos son más altos", dijo Damani. "¡Mire sus zapatos! Son mucho más altos". Apuntó hacia los zapatos de la Sra. Martínez, que tenían tacos de 5 centímetros de alto. "Los míos son bajos y los de Lexi son altos". En este momento muchos de los niños tenían sus pies en el aire para mostrar sus zapatos.

"Bueno, niños, parece que no estamos de acuerdo", dijo la Sra. Martínez. "Alexandra dice que no sería justo y Ramón dice que no habría diferencia alguna. Damani dice que sí hay una diferencia. ¿Cómo tomamos una decisión?"

Kataisha levantó la mano. "Podríamos medir todos los zapatos para saber si son todos de la misma altura. Pero se nota que no son todos iguales, así que no creo que tengamos que medirlos todos. Los de Lexi son bien grandes, pero los míos no tanto. Eso no sería justo".

Ramón dijo que había cambiado de parecer. Ahora estaba de acuerdo que era mejor medirnos sin zapatos. El resto de los alumnos estuvo de acuerdo. Después de 10 minutos de debate, el grupo llegó a un consenso.

En un principio, la Sra. Martínez había pensado que haciendo una votación se podría llegar a un arreglo, pero en vez de eso sus alumnos utilizaron la evidencia y un sentido de la justicia para llegar a una decisión. Fueron capaces de explicar sus razones con evidencia (la diferencia en altura de los zapatos) y desafiar la evidencia de otra persona con pruebas en contra. Fueron capaces de proponer un experimento sencillo para evaluar una afirmación en particular (medir todos los zapatos). Escucharon con mutuo respeto todas las opiniones, mostraron su acuerdo o desacuerdo e incluso cambiaron de parecer cuando se presentó una nueva evidencia. Fueron capaces de razonar sobre la idea de "una prueba justa", que en años futuros se puede extender y aplicar a la idea más sofisticada de variables constantes.



Los niños de corta edad aún necesitan asistencia a medida que acumulan y organizan lo que saben acerca de las ciencias. En la clase de la Sra. Martínez, los niños habían llegado con algo de conocimiento acerca de las mediciones, pero con muy poca comprensión sobre los métodos de medición estándares, los propósitos para llegar a una medición estándar, o las maneras de verificar la calidad de las mediciones (es decir, llegar a resultados replicables). En las ciencias, los adultos cumplen una función central al "promover la curiosidad y persistencia de los niños al dirigir su atención, estructurar sus experiencias, respaldar sus intentos de aprendizaje y regular la complejidad y dificultad de niveles de información para ellos"<sup>2</sup>. La Sra. Martínez presentó a sus alumnos un problema interesante. Utilizó varias técnicas pedagógicas para lograr que los niños escucharan a sus pares y tomaran en serio las ideas. Al ayudarlos a aclarar y explicar su razonamiento, aprovechó la experiencia con la que ya contaban los niños para enseñarles aún más sobre las mediciones y los guio por el camino de la buena práctica científica.

La Sra. Martínez ayudó a que los alumnos razonaran en conjunto, de manera similar a cómo se haría en una comunidad de científicos. Dio inicio a un debate, preocupándose de que se incluyeran diferentes observaciones. Al asegurarse de que todos tuvieran acceso a la conversación, incluyendo los estudiantes que estaban aprendiendo a hablar español, ayudó a que los niños sacaran provecho de un razonamiento grupal más complejo, en comparación al razonamiento al que llegarían los niños de manera individual. En conclusión, la clase de la Sra. Martínez fue capaz de lograr mucho más al debatir la respuesta a la pregunta de cómo se debía medir

# MEDIR Y EXPRESAR LA ALTURA EN UN GRÁFICO<sup>3</sup>

Los alumnos de primer año del profesor Robert Dolens estaban realizando una actividad similar a la de la clase de jardín infantil de la Sra. Martínez. Ellos también estaban midiendo y ubicando en un gráfico la altura, pero esta actividad incluía un paso más. El plan era medir la altura de todos los estudiantes de primer año del escuela y luego examinar los datos de cada clase por separado para posteriormente seguir con todos los cursos de primer año de la escuela.

El Sr. Dolens quería hacer hincapié en la importancia de explicar sus razones y respaldar sus ideas con evidencia. También quería que los alumnos encontraran maneras de hacer que la evidencia fuera visible para sus compañeros de curso, incluso antes de que pudieran empezar a escribir, para que pudieran discutirla en conjunto. Como una posible extensión de la actividad, el Sr. Dolens, quien tenía un amigo profesor en un curso de primer año en Anchorage, Alaska, había planificado intercambiar los gráficos de altura con el curso de su amigo como una manera de demostrar la importancia de compartir datos científicos.

El Sr. Dolens comenzó la actividad convocando a reunión a sus 25 alumnos. Les explicó que iban a recolectar información sobre sus propias alturas y las de todos los otros estudiantes de primero de la escuela. Pero primero, les dijo, tendrían que decidir cómo iban a medir, de qué tenían que preocuparse, qué herramientas debían utilizar y cómo se registrarían los datos. Comenzó por hacer la misma pregunta que hizo la Sra. Martínez: "¿Deberíamos medir nuestra altura con o sin zapatos?"

Antes de que sus alumnos pudiesen responder, el Sr. Dolens dijo: "Todavía no me responden. Solo piénsenlo por un momento. Mientras lo piensan, voy a llamar a algunos de ustedes para medir su altura".

El Sr. Dolens llamó a tres niñas y les pidió que se sacaran los zapatos. Las midió rápidamente con una huincha de medir y registró sus alturas en un lado de una gran hoja cuadrículada (ver ilustración 1-1). Luego llamó a tres niños y los midió con los zapatos puestos.

De manera inmediata los alumnos empezaron a gritar: "¡No es justo!"

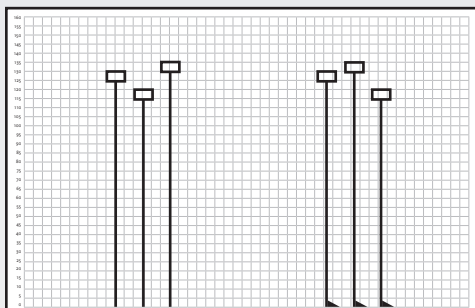


Ilustración 1-1. Altura de los alumnos registrada en un papel cuadrículado

"¡Tienen que sacarse los zapatos!"

El Sr. Dolens les recordó que este era el momento para pensar y observar, por lo que todavía no podían decir nada.

Finalmente, el Sr. Dolens organizó a los alumnos en grupos de a cuatro. Luego, dijo que cada grupo tenía que llegar a una respuesta para su pregunta y que tenían que seguir unas pocas reglas para encontrar la respuesta: debían usar datos para respaldar sus argumentos y debían basar sus decisiones en evidencia, ya sea tomando en cuenta los datos en el gráfico o incluyendo otros datos. Una vez que llegaron a un consenso, debían hacer una recomendación y registrar su decisión y la evidencia de respaldo en un papel. En cada grupo designó a un miembro encargado de comunicar los hallazgos, a otro de anotar y llevar un registro y a otro encargado de dirigir el grupo (su clase ya había realizado otras actividades utilizando estas funciones por miembro, y con frecuencia se mostraban como un reflejo de qué tan bien desempeñaban las funciones cada uno, para que así todos participaran).

"Manos a la obra científicos", dijo el Sr. Dolens. Todos en la clase comenzaron a trabajar.

Durante los dos días siguientes, en el horario para actividades de ciencias, la clase se enfocó en llegar a la respuesta de mediciones. Enviaron varias veces a un miembro del grupo a que mirara el gráfico en la pared y tomara apuntes. Dos grupos le pidieron permiso al Sr. Dolens para saber si podían tomar prestada la huincha de medir y volvieron a medir a las niñas con los zapatos puestos. Otro grupo midió

con cuidado el alto del taco de los zapatos de los niños. Se hablaba mucho acerca de si era mejor medir en centímetros o en pulgadas, algo que los alumnos habían estado practicando harto en las clases de matemáticas. Cada grupo terminó decidiendo que era mejor utilizar las pulgadas (seguramente porque es lo que había utilizado el Sr Dolens cuando midió a los niños). Un grupo se dio cuenta de que uno de los niños llevaba un par de zapatos diferente y le pidió que se parara al lado del gráfico para medirlo nuevamente. Ahora era un poco más alto, a pesar de que no lo era por mucho.

Finalmente, llegó el momento del "Congreso de Mediciones", como lo denominó el Sr. Dolens. Explicó a sus estudiantes cómo los cien-

tíficos se reúnen para explicar sus procesos de investigación y hallazgos, y luego responden las preguntas del público.

Cada grupo llegó a la actividad con documentos, una presentación visual en papel o un gráfico. Uno por uno, presentaron sus decisiones y sus argumentos. El primer grupo que presentó tenía a dos miembros designados para comunicar los resultados. Primero habló Shandra.

"Al principio no pudimos tomar ninguna decisión basándonos solo en el gráfico. Llegamos a la conclusión de que no se puede hacer de ambas maneras es decir, medir a unos niños con zapatos y a otros sin zapatos, porque no sería justo".

---

Tanto la Sra. Martínez como el Sr. Dolens sabían que si solo les decían a sus alumnos que midieran la altura utilizando una unidad de medición, como centímetros o pulgadas, no llegarían a entender mucho acerca de los principios de medición. Incluso los niños que al parecer utilizan reglas y escalas de manera correcta con frecuencia no entienden ideas centrales, como el punto cero, la iteración y las unidades constantes, por nombrar algunos ejemplos. Por el contrario, lo que es importante al momento de obtener resultados en las ciencias es contar con una teoría sólida de medición que incluya varios tipos de unidades y mediciones. Esto implica mucho más que solo comprender cómo medir las cosas.

Luego de varios ejercicios de medición, la Sra. Martínez y el Sr. Dolens guiaron a sus estudiantes para que descubrieran y exploraran los diferentes principios de medición, incluyendo:

**1. Unidades adecuadas**

Utilizar unidades de medición adecuadas según lo que se mide. Es probable que las unidades que son útiles para medir el largo de un estacionamiento no sean lo mejor si lo que se quiere es medir un cuaderno.

**2. Unidades idénticas**

Cuando decimos que una barra de chocolate mide 5 pulgadas de largo, significa que cada pulgada es exactamente igual.

**3. Convenciones de medición**

Las unidades estándares como los centímetros o las pulgadas existen gracias al resultado de los debates y acuerdos entre personas respecto a los problemas de medición. Dado que los niños se encontrarán con convenciones a la hora de estudiar ciencias, se les deben brindar oportunidades para que aprendan por qué y cómo se llegaron a establecer tales convenciones. Cuando los niños participan en el proceso de la formación de convenciones, se dan cuenta de la utilidad que tienen.

**4. Iteración**

Las mediciones son la aplicación repetitiva de una misma unidad.

## Clase de Ciencias

"Nos dimos cuenta que en el gráfico, Shandra y Jeremy terminaron siendo del mismo porte, pero en realidad no lo eran", dijo Coral. "Hicimos que se pararan espalda contra espalda sin zapatos y Shandra era más alta. Así que eso era una prueba, o sea, una evidencia. Entonces decidimos que no se podían utilizar ambas maneras".

"Pero no nos podríamos haber dado cuenta de eso solo con el gráfico", añadió Shandra. "No podíamos realmente darnos cuenta de si había alguna diferencia en el caso de los niños. Todos medían diferente, pero quizás sus zapatos no importaban".

El Sr. Dolens les dijo que no se entendía muy bien lo que querían decir con "que sus zapatos no importaban" y preguntó si ese alguien del grupo podía explicarlo. Gaby, otro miembro del grupo, dijo: "Lo que quiere decir es que quizás si todos nos dejáramos los zapatos puestos no importaría. Pero a partir del gráfico no lo podíamos saber". Apuntó al gráfico que había hecho el Sr. Dolens para mostrar que los niños tenían diferentes alturas.

Shandra habló de nuevo. "Ah, sí, y encontramos un problema. Dorian estaba con otros zapatos ahora, y cuando le dijimos que se parara al lado del gráfico vimos que era un poco más alto, así que pensamos que eso era un problema. Creemos que deberíamos medir sin zapatos, a pesar de que quizás pueda ser un poco difícil medir a todos en la escuela sin sus zapatos".

El siguiente grupo pasó adelante para presentar sus hallazgos. Habían medido el taco de los zapatos de los niños y vieron que eran prácticamente idénticos. Mostraron la evidencia en sus cartulinas. Habían dibujado el contorno de los zapatos de cada niño y registrado las mediciones. Midieron la parte de atrás del zapato, el largo desde el taco hasta la parte más alta del zapato, y luego desde la suela dentro del zapato hasta la suela que queda en contacto con el suelo. Según sus mediciones, el taco medía aproximadamente una pulgada en los zapatos de los tres niños, así que decidieron que sería más o menos lo mismo para el resto.

Cuando se les preguntó, admitieron que había sido difícil medir desde dentro del zapato hasta el extremo de la suela externa, así que habían medido con los dedos y habían hecho una estimación. Tampoco se habían dado cuenta que Dorian llevaba zapatos diferentes y que



ahora no medía lo mismo que lo que se indicaba en el gráfico.

Después de que cada grupo presentó sus hallazgos, todos recomendaban medir sin zapatos, excepto por un grupo. El Sr. Dolens les pidió a sus alumnos que llegaran a una conclusión grupal, tomando en cuenta que había que pedir a todos los estudiantes de primer año de la escuela que se sacaran sus zapatos, y qué es lo que harían si algunos de ellos se negaban a sacárselos.

Finalmente, un alumno propuso que medirían sin zapatos, y si un estudiante no quería sacarse los zapatos, podrían restar una pulgada a la altura de esa persona. Todos estuvieron de acuerdo con esta idea.

Todo este proceso de toma de decisiones había durado tres días, en comparación con los 10 minutos que se demoraron en la clase de la Sra. Martínez. Pero en la clase del Sr. Dolens, los alumnos habían tomado en consideración diferentes aspectos, y además habían respaldado sus ideas con evidencia recolectada con cuidado y por medio de un debate público razonable.

Varios meses después, los alumnos del Sr. Dolens intercambiaron sus datos de altura con los otros estudiantes de primer año de Anchorage, Alaska. Todos estaban muy emocionados cuando recibieron por correo los datos de altura de los niños de Alaska. ¡Resultó que los estudiantes de Alaska eran, en promedio, casi una pulgada más altos que los estudiantes en la clase del Sr. Dolens! Los resultados sorprendieron a todos y dieron lugar a varias ideas sobre qué es lo que podría haber causado que los estudiantes de Alaska fueran más altos. Algunos pensaban que quizás era el clima más helado, mientras otros decían que quizás tenía que ver con lo que comían. ¡Por lo menos un estudiante pensó que quizás los niños de Alaska se midieron con los zapatos puestos!

que si simplemente hubiesen respondido a la pregunta con un voto. Con frecuencia, los profesores se equivocan al creer que un voto es una buena manera de tomar decisiones científicas. En la clase de la Sra. Martínez, los alumnos fueron capaces de ir más allá solo con el hecho de ofrecer diferentes opiniones. Dieron razones para fundamentar sus opiniones y luego explicaron sus razones con evidencia.

### ***Enseñar a partir de los conocimientos, intereses y experiencia***

Ambos casos muestran la manera en que los profesores enseñan a partir de los conocimientos, los intereses y la experiencia que los estudiantes llevan consigo a la escuela. Las actividades permitieron que los alumnos del Sr. Dolens y de la Sra. Martínez construyeran conocimientos y habilidades a partir de ejercicios de mediciones. En años posteriores, estos mismos estudiantes tomarán este conocimiento y habilidad para interpretar los patrones de crecimiento en plantas y en la población.

Tanto en las clases de la Sra. Martínez como en las del Sr. Dolens, los alumnos propusieron y diseñaron investigaciones empíricas para proponer argumentos y afirmaciones acerca de las técnicas de medición adecuadas. En la clase del Sr. Dolens, los alumnos tuvieron que generar y presentar evidencia que respaldaran sus decisiones, recolectar datos (sobre la altura de los niños y los zapatos), estructurar los datos en afiches y explicar sus conclusiones a sus compañeros. Los alumnos en el público evaluaron las afirmaciones de sus pares, desafiaron supuestos, criticaron las conclusiones, y llegaron a un consenso entre todos tomando en consideración todas las evidencias y afirmaciones.

Los alumnos pudieron darse cuenta de que, en la práctica científica, la manera en que uno mide y observa tiene efecto en los datos que se recolectan y analizan y, por consiguiente, en los hallazgos. Los alumnos exploraron las razones tras medir de una manera coherente. De igual forma, investigaron las repercusiones de medir de manera incoherente o desigual. En ambas clases, los alumnos les presentaron la evidencia a sus compañeros, y en ocasiones cambiaron de parecer al evaluar la nueva evidencia o argumentos presentados que podían desacreditar sus afirmaciones previas. El Sr. Dolens les hizo saber a sus alumnos que al generar evidencia que respaldara sus afirmaciones, al examinar la evidencia de otros de cerca y al presentar las conclusiones a sus colegas, se estaban comportando como verdaderos científicos. Con la ayuda de afiches y gráficos ayudó a sus alumnos a consolidar las ideas y a hacerlas visibles. Esta representación pública de ideas puede volver a repetirse después, y se le puede pedir



a los alumnos que reflexionen acerca de cómo sus ideas siguieron siendo las mismas o cómo fueron cambiando con el tiempo. Esto ayuda a generar la norma de clases en la que se estipula que, en las ciencias, las ideas siempre están evolucionando según la nueva evidencia. Es importante que los estudiantes se alejen un poco de las explicaciones basadas en la evidencia y consideren la posibilidad de otras interpretaciones.

Al igual que los científicos, los estudiantes trabajaron como una comunidad en un problema, y también llegaron a una amplia gama de observaciones e interpretaciones. Tanto la Sra. Martínez como el Sr. Dolens hicieron que sus alumnos pensarán en un problema que era interesante y accesible. Cada alumno pudo participar, porque cada uno contaba con experiencias y conocimientos relevantes que podían usar para debatir. A diferencia de los científicos, los estudiantes todavía no sabían cómo presentar sus conclusiones en un lenguaje científico.

Por lo tanto, los profesores ayudaron a los estudiantes a explicar sus ideas para que todos las entendieran, para lo cual utilizaron afiches como material de apoyo visual y prepararon explicaciones orales. Esto hizo posible que los estudiantes debatieran, conjeturaran, tomaran decisiones y presentaran argumentos según la evidencia.

En formas destacables, pero más sutiles, ambos profesores seguían de cerca lo que sus alumnos pensaban, incluyendo lo que los frustraba ocasionalmente. Utilizaron técnicas para incitar la conversación para así asegurar que sus alumnos explicaran bien sus ideas y escucharan a sus compañeros. Tanto la Sra. Martínez como el Sr. Dolens pidieron a sus alumnos que explicaran mejor algunos comentarios o conclusiones que habían mencionado, cuando sentían que no se entendía bien.

Ayudar a los alumnos a explicar y divulgar sus ideas también sirvió de ayuda a la Sra. Martínez y al Sr. Dolens como profesores. Pudieron entender mejor lo que pensaban sus alumnos acerca de las mediciones y la presentación de los datos y pudieron guiarlos de mejor manera.

Para hacer esto de manera eficaz, ambos profesores tuvieron que establecer con cuidado normas para los debates, el trabajo y las presentaciones grupales. Durante meses, enfatizaron y modelaron la importancia de escuchar bien, trabajar con dedicación para que todos entendieran las ideas, y desafiar de manera respetuosa las ideas, no a las personas, con el respaldo de la evidencia. Con el tiempo, los estudiantes alcanzaron una comprensión en conjunto de las normas de participación en las ciencias. Aprendieron a construir y a presentar un argumento científico y a cómo participar en debates.

En este capítulo se presentan varios temas importantes que veremos en detalle a lo largo de este libro. Uno de estos temas es que los niños

tienen más capacidad de aprender sobre las ciencias que lo que habíamos pensado. Sus capacidades y conocimientos son un recurso que puede y debe utilizarse para enseñar más conocimientos durante las clases de ciencias.

Otro tema es que el aprendizaje de las ciencias puede modelarse de maneras importantes para que sea similar a cómo los científicos trabajan. Los niños van en buen camino respecto al aprendizaje de las ciencias cuando es posible comparar sus conocimientos y habilidades con lo que hacen los científicos.

Para lograr un cambio eficaz en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias se necesita un cambio drástico por parte de aquellos involucrados en el sistema de educación. Este libro insta a muchos profesionales que están encargados de la enseñanza de las ciencias en la educación básica a reexaminar su trabajo a la luz de los nuevos conocimientos sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Para que sea eficaz, el aprendizaje de las ciencias debe estar respaldado por un sistema de educación amplio y completo, que sirva de soporte y guía para la buena enseñanza.

Además de alentar y respaldar las prácticas pedagógicas complejas y que requieren un alto nivel de destreza y conocimientos de parte de los profesores, se deben considerar la evaluación de las ciencias, el desarrollo profesional y la administración escolar como partes esenciales del proceso de mejora de la educación de las ciencias. Muchos de los profesores que están, por sí solos, luchando por hacer bien su trabajo deberían tomar en cuenta esto. Para profesores como la Sra. Fredericks y sus contemporáneos, quienes con frecuencia trabajan con sistemas de apoyo inadecuados, este libro no resolverá todos sus problemas, pero puede ser de gran ayuda en las clases de ciencias, tanto a corto como a largo plazo.

### *Fuentes de lectura complementaria*

- BAZERMAN, C. (1988). *Shaping written knowledge: The genre and activity of the experimental article in science*. Madison: University of Wisconsin Press.
- BREWER, W.F., y SAMARAPUNGAN, A. (1991). Children's theories vs. scientific theories: Differences in reasoning or differences in knowledge. En R.R. Hoffman and D.S. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic processes* (pp. 209-232). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- GIERE, R.N. (1996). The scientist as adult. *Philosophy of Science*, 63, 538-541.
- HARRIS, P.L. (1994). Thinking by children and scientists: False analogies and neglected similarities. En L.A. Hirschfeld y S.A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 294-315). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Goals for science education. Capítulo 2 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 26-50). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- NERSESSIAN, N.J. (2005). Interpreting scientific and engineering practices: Integrating the cognitive, social, and cultural dimensions. En M. Gorman, R. Tweney, D. Gooding, and A. Kincannon (Eds.), *Scientific and technological thinking* (pp. 17-56). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

## CAPÍTULO 2

# Las cuatro ramas del aprendizaje científico

Al examinar más de cerca cómo los estudiantes aprenden ciencias, los investigadores, en estudios recientes, han revelado nuevas maneras de pensar acerca de lo que ocurre en clases.

Con frecuencia, los libros sobre la enseñanza de las ciencias demarcan una distinción bastante clara entre el contenido y los procesos científicos. Por un lado, el contenido se considera como el resultado acumulado de las ciencias: las observaciones, los hechos y las teorías que se espera que los estudiantes aprendan. Por el otro, los procesos se consideran como las habilidades científicas que se espera que un estudiante domine; entre estas habilidades se incluye diseñar un experimento, realizar mediciones o informar resultados.

No obstante, tras los argumentos de este libro se encuentra una nueva manera de pensar acerca de qué significa ser competente en ciencias y qué marco se ha de adoptar para desarrollar esta competencia. Este marco se afirma sobre una visión que concibe las ciencias como un cuerpo de conocimientos y una empresa de construcción de modelos basados en evidencia, la que constantemente extiende, refina y corrige el conocimiento. Este marco va más allá de la dicotomía entre el contenido o el conocimiento y las habilidades de proceso; en su lugar, reconoce que, en las ciencias, el contenido y los procesos van siempre de la mano.

El vínculo entre el contenido y el proceso es vital, pues los procesos científicos casi siempre ocurren cuando los estudiantes analizan contenido específico. Cuando los niños utilizan sus ideas sobre el mundo natural para diseñar investigaciones o debatir evidencia, fortalecen su comprensión tanto de los fenómenos como de los medios utilizados para investigar. Además, separar el contenido del proceso es incongruente con la forma como los científicos realmente trabajan en las ciencias.

En vez de demarcar una distinción entre el contenido y el proceso, definiremos y describiremos las cuatro "ramas" del aprendizaje, que inclu-

yen el conocimiento y las habilidades de razonamiento que los estudiantes deben adquirir para que se les considere competentes en las ciencias.

Estas ramas de aprendizaje también incorporan las prácticas científicas que los estudiantes necesitan dominar para demostrar sus conocimientos y habilidades.

Las ramas de competencia utilizan las contribuciones de los documentos de estándares para las ciencias, como los Parámetros de Referencia para la Alfabetización Científica y las Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias. Estos documentos sirven para definir las metas conceptuales de la educación científica y llaman a hacer hincapié en las ciencias como un modo de indagación. Las ramas de competencia otorgan un marco que sirve de guía al momento de considerar los elementos que conforman el conocimiento y la práctica científica. Pueden servirles a los docentes al momento de planificar sus clases y evaluar el aprendizaje de sus alumnos en referencia al sistema escolar en general. También pueden ser una herramienta útil para identificar el contenido científico al que se le está dando más importancia en un currículo, guía, texto escolar o evaluación.

### *Las cuatro ramas*

Las ramas presentan una nueva perspectiva acerca de lo que se aprende cuando se estudian las ciencias. Además, son un ejemplo tangible de la idea de conocimiento en uso: la idea de que el conocimiento que tienen los estudiantes no es estático. Por el contrario, los estudiantes llegan a clases con ciertas capacidades, las cuales sirven de base para construir más conocimientos a medida que cursan la educación básica y media. Además, adquieren experiencia tanto en las clases de ciencias como fuera. Ser competente implica usar las cuatro ramas para realizar y participar de manera exitosa en la práctica científica.

Otro aspecto importante de las ramas es que están entrelazadas, de igual forma que a las secciones trenzadas de una cuerda<sup>1</sup>. En estudios se ha sugerido que cada rama sirve de soporte para las otras, por lo que el progreso en una de las ramas fomenta el progreso en las otras. Por ejemplo, existe evidencia de que los estudiantes pueden aprender mucho más sobre el conocimiento conceptual de las ciencias cuando se les da la oportunidad de "hacer" ciencia. Asimismo, el razonamiento científico tiende a ser más fuerte en áreas que uno ya conoce. Cuando se ofrece a los alumnos la oportunidad de avanzar en las cuatro ramas en las clases, es mucho más probable que progresen en el aprendizaje de las ciencias.

Muchos de los profesores de ciencia interpretan las ramas a la luz del lenguaje y conceptos actuales de la enseñanza de las ciencias; por ejemplo, unir las ramas con el contenido, el proceso y la naturaleza de las ciencias, y con la participación, de forma pareja. Pero es importante notar que las ramas fueron formuladas porque el Comité para la Enseñanza de las Ciencias pensó que las suposiciones actuales acerca de lo que constituye el "contenido, proceso y naturaleza de las ciencias" eran inadecuadas. En ese sentido, las primeras tres ramas corrigen y expanden las ideas comunes acerca del contenido, los procesos y la naturaleza de las ciencias, con el propósito de reflejar mejor los hallazgos de las nuevas investigaciones y de hacer mayor hincapié en la aplicación de ideas.

### **Rama 1: comprensión de las explicaciones científicas**

Para ser competente en ciencias, los estudiantes deben conocer, utilizar e interpretar las explicaciones científicas del mundo natural. Deben entender las relaciones que existen entre los conceptos científicos centrales y utilizarlas para construir y criticar argumentos científicos. Esta rama incluye lo que normalmente se categoriza como contenido, pero se enfoca más en los conceptos y en los vínculos que hay entre ellos, que en hechos particulares. También incluye la capacidad de aplicar este conocimiento.

Por ejemplo, en vez de memorizar una definición de selección natural, un niño que demuestra ser capaz de dar explicaciones científicas debería ser capaz de aplicar el concepto en otros escenarios. Al encontrarse con una especie por primera vez, el niño podría idear una hipótesis sobre cómo la variación natural llevó a que ese organismo se adaptara a su entorno.

Parte de esta rama incluye aprender hechos, conceptos, principios, leyes, teorías y modelos científicos. Como se afirma en las *Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias*: "La comprensión de las ciencias requiere que un individuo integre una estructura compleja de muchos tipos de conocimientos, incluyendo ideas científicas, relaciones entre las ideas, razones detrás de estas relaciones, maneras de utilizar las ideas para explicar y predecir otros fenómenos naturales, y su aplicación en diferentes instancias"<sup>2</sup>.

### **Rama 2: generación de evidencia científica**

La evidencia está en el centro de la práctica científica. Ser competente en ciencias implica generar y evaluar la evidencia como parte de la construcción y perfeccionamiento de modelos y explicaciones sobre el mundo natural. Esta rama incluye aspectos que se considerarían usualmente como "procesos", pero se altera esta noción para hacer hincapié en la teoría y en las características de la construcción de modelos en las ciencias.

La rama 2 incluye las habilidades y los conocimientos necesarios para crear y perfeccionar modelos y explicaciones, diseñar y analizar investigaciones, y elaborar y defender argumentos con evidencia. Por ejemplo, esta rama incluye reconocer cuándo se cuenta con la evidencia suficiente como para llegar a una conclusión y determinar qué tipos de datos adicionales se necesitan.

Esta rama también incluye dominar herramientas conceptuales, matemáticas, físicas y computacionales para elaborar y evaluar enunciados de conocimiento. Por lo tanto, comprende una amplia gama de prácticas necesarias para diseñar y llevar a cabo una investigación científica.

Por ejemplo, elaborar preguntas, decidir qué medir, obtener mediciones, recolectar datos a partir de las mediciones, estructurar los datos, interpretar y evaluar los datos, y utilizar los resultados para desarrollar y perfeccionar los argumentos, modelos y teorías.

### **Rama 3: reflexión sobre el conocimiento científico**

Con el tiempo, el conocimiento científico que se adquiere hoy servirá de base para el que se aprenderá mañana. Los buenos estudiantes de ciencias comprenden que el conocimiento científico puede corregirse a medida que surge nueva evidencia. También vuelven a revisar sus propias ideas y reflexionan sobre ellas a medida que cambian con el tiempo. Esta rama incluye ideas por lo general consideradas como parte de la comprensión de la "naturaleza de las ciencias", tal como la historia de las ideas científicas. Sin embargo, se enfoca más en cómo se construye el conocimiento científico. Es decir, cómo la evidencia y los argumentos basados en esa evidencia son generados. También considera la capacidad de los estudiantes de reflexionar sobre lo aprendido.

La tercera rama va de la naturaleza de las ciencias a su práctica: se alienta a los estudiantes a aprender lo que es participar en experimentos científicos y comprender cómo se domina el juego de las ciencias. Esta rama se centra en lograr que los estudiantes conciban la ciencia como una forma de aprendizaje. El conocimiento científico es un tipo de conocimiento especial que cuenta con sus propias fuentes, justificaciones e incertidumbres. Los estudiantes son capaces de reconocer que las predicciones o explicaciones pueden corregirse a la luz de nueva evidencia, de nueva información o de un nuevo modelo. De esta manera, los estudiantes aprenden que pueden someter su propio conocimiento a análisis.

#### *Cuatro ramas del aprendizaje científico*

**Rama 1:** comprensión de las explicaciones científicas

**Rama 2:** generación de evidencia científica

**Rama 3:** reflexión sobre el conocimiento científico

**Rama 4:** participación provechosa en las ciencias

Cuando los alumnos comprenden la naturaleza y el progreso del conocimiento científico, saben que en las ciencias se deben buscar explicaciones centrales y las conexiones que existen entre ellas. Los estudiantes saben que es posible que haya varias interpretaciones del mismo fenómeno. Saben que las explicaciones son, a su vez, más valiosas, pues dan cuenta de la evidencia disponible de manera más acabada. También reconocen el valor de las explicaciones para generar preguntas de investigación nuevas y productivas.

#### **Rama 4: participación provechosa en las ciencias**

Las ciencias constituyen una empresa social regida por un conjunto de valores fundamentales y normas de participación. Ser competente en las ciencias implica participar hábilmente en una comunidad científica en la sala de clases y tener un dominio de las maneras productivas de representar ideas, utilizar herramientas y conversar con colegas sobre temas científicos. Esta rama se centra en que los estudiantes entiendan las normas adecuadas para presentar evidencia y argumentos científicos y que practiquen la interacción social productiva entre pares en el contexto de una investigación en una clase de ciencias. También incluye la motivación y actitudes que proveen una base para que los estudiantes participen de manera activa y productiva en una clase de ciencias. Esta rama pone en marcha a la ciencia dentro de un contexto social, enfatizando la importancia de trabajar científicamente como comunidad. Al igual que los científicos, los estudiantes de ciencias se benefician al compartir ideas con sus pares, interpretar los datos, y trabajar en conjunto para discernir qué información es más convincente.

Con frecuencia, los docentes ignoran esta rama, pero en investigaciones se ha demostrado que es un componente crucial para el aprendizaje científico, en especial para estudiantes de poblaciones que no están bien representadas en las ciencias. Los estudiantes consideran que las ciencias son valiosas e interesantes tienden a ser buenos estudiantes y a participar activamente en ellas. Creen que esforzarse de forma permanente en comprender las ciencias es lo que trae recompensas, es decir, no creen que solo algunas personas puedan comprender ciencias mientras que otros nunca lo lograrán.

Como primera instancia, la mejor manera de apreciar las cuatro ramas de la competencia científica y sus interconexiones es ver a alguien utilizarlas en clases, como se demuestra en el siguiente estudio de caso.





# LA BIODIVERSIDAD EN EL PATIO DE UN COLEGIO URBANO<sup>3</sup>

Gregory Walker fue profesor de una clase de quinto año en una escuela urbana compuesta en su mayoría por alumnos de bajos recursos, ubicada en el noroeste de Massachusetts, EE.UU. Era su cuarto año como profesor, y todavía estaba aprendiendo a liderar una clase y a planificar y orquestrar mejores actividades de aprendizaje para un grupo de estudiantes extremadamente heterogéneo.



Su distrito escolar se encontraba trabajando con dedicación para mejorar los logros de los estudiantes con el fin de cumplir con las exigencias de los exámenes estatales. Cerca de un 75 % de los estudiantes en el colegio cualificaban para almuerzos gratis o a menor precio. Se consideraba que su distrito tenía bajos resultados, por lo que estaba bajo el escrutinio del estado.

A pesar de estos desafíos, los profesores en el colegio del Sr. Walker tenían un espíritu de colaboración, eran entusiasta, estaban siempre dispuestos a abrir sus puertas a colegas y padres, y buscaban compartir sus éxitos con sus pares. Durante los últimos años, el colegio se había esforzado en mejorar los logros de alfabetización y matemáticas para obtener resultados sólidos. Ahora el colegio quería dar más importancia a las ciencias.

El distrito escolar había designado a un comité de profesores y a un especialista en desarrollo curricular para que trabajaran juntos durante un año y así llegaran a recomendaciones sobre las cuales construir un nuevo currículo para la enseñanza de las ciencias. Mientras tanto, se les pidió a los pro-

fesores que dieran su mejor esfuerzo para cumplir con los estándares estatales de las ciencias y que preparasen a los estudiantes de quinto año para los exámenes estatales de ciencias.

En sus clases, el Sr. Walker utilizaba un texto escolar que ya no estaba en vigencia y varios equipos de ciencias antiguos a los que les faltaban algunos componentes claves. Con frecuencia, se quedaba hasta tarde tratando de crear actividades científicas interesantes, pero siempre le daba la impresión de que no sabía lo suficiente como para "inventar" clases de ciencias que fueran memorables. No obstante, siempre tuvo el interés de enseñar la biodiversidad, un tema importante de los estándares nacionales y estatales, a pesar de que el tema no estaba bien desarrollado en su libro ni era adecuado respecto a los equipos de ciencia con los que contaba.

El interés del Sr. Walker por la biodiversidad no era infundado. En la universidad, había tomado un curso de biología de campo con una profesora muy carismática. Ella decía a sus estudiantes que la biodiversidad exigía el dominio de un mundo de detalles, mientras que la física, la química y los aspectos mecánicos de la biología con frecuencia requerían la comprensión de principios fundamentales y las habilidades necesarias para aplicarlos. La capacidad de enseñar biodiversidad, les decía, implicaba tener un conocimiento de las características y comportamientos que distinguen entre individuos, especies, géneros, familias, órdenes y clases. Requería ayudar a los estudiantes a adquirir tanto las herramientas como las tendencias para ver y caracterizar la variación dentro y entre especies. De igual forma, exigía un conocimiento integral de los tipos de ecosistemas y sus funciones. Finalmente, requería un conocimiento de la historia geológica, humana y evolutiva.

Por estas razones, esta clase, a pesar de que la ofrecía la facultad de biología, estaba diseñada para dotar a los estudiantes con técnicas pedagógicas para útiles enseñar biodiversidad. La profesora que impartía esta clase esperaba que, a su vez, sus estudiantes enseñaran sobre biodiversidad a otros.

El Sr. Walker decidió que muchas de las estrategias que había aprendido en esas clases po-

día utilizarlas en las clases de ciencias de quinto que debía comenzar a enseñar ese año.

Dado que gran parte de su curso universitario sobre la biodiversidad había sido dedicado a preparar una guía de campo local basada en excursiones de fin de semana a una estación de campo, él y una colega, la profesora de segundo año, Alicia Rivera, decidieron trabajar juntos para crear un proyecto de un año de duración en el cual se hiciera un registro de las plantas y animales encontrados en el patio del colegio. Para compensar por la falta de materiales científicos, él y la Sra. Rivera decidieron combinar el trabajo en terreno con algunas tecnologías simples, como un escáner y un computador que el Sr. Walker había traído de su casa, y así también utilizar el sitio web del colegio. Se imaginaron que, en un principio, la simple tarea de catalogar las especies en el patio del colegio tomaría gran parte del tiempo de los estudiantes. A medida que encontrarán menos especies, los estudiantes podrían comenzar a enfocarse en observar el comportamiento de las diferentes especies y los cambios en la densidad y distribución de sus poblaciones.

El curso universitario que el Sr. Walker había tomado le había permitido aprender que utilizar la biodiversidad como un tema central otorgaba la oportunidad de establecer principios biológicos fundamentales para el pensamiento evolucionista, tales como:

- Los organismos pueden describirse como conjuntos de atributos y se pueden distinguir (clasificar) según las variaciones de estos atributos.
- El cambio en los atributos seleccionados de los organismos (por ejemplo, la altura de una planta) se puede modelar de manera matemática, para que pueda realizarse un estudio comparativo de los patrones de cambio a nivel del organismo, un nivel interesante para estudiantes que hacen crecer sus propias plantas o cuidan a sus propios insectos.
- Las "historias naturales" de los organismos (por ejemplo, los ciclos de vida) se podrían describir y comparar.
- El crecimiento se puede considerar como un conjunto en diferentes niveles (genotipo, fenotipo, población).

- El crecimiento de una población también se puede modelar de manera matemática. La herencia y la selección transforman la distribución de los atributos seleccionados en poblaciones, lo que otorga significados concretos a las diferencias en los niveles de análisis.

Además, a modo de preparación, el Sr. Walker y la Sra. Rivera dedicaron tiempo para discutir acerca de la ciencia detrás de su investigación del patio del colegio. Buscaron guías de investigación en terreno y otros textos que les ayudaron entender la importancia del comportamiento tanto para las ciencias sociales como para las biológicas e implica comprender una serie de conceptos relacionados entre sí, donde se incluyen:

- Las descripciones de los comportamientos varían en sus niveles de detalle (por ejemplo desde micro a macro) y en el alcance de su aplicación (por ejemplo, comportamientos de individuos, grupos, poblaciones y especies).
- Todos los organismos cuentan con repertorios de comportamiento que son específicos a una especie. Uno puede identificar patrones constantes en los comportamientos. Algunos de ellos son automáticos y relativamente inflexibles; otros están bajo un control voluntario y son relativamente flexibles.
- La forma o funciones de los comportamientos puede cambiar a medida que el organismo crece. Algunas veces un comportamiento mantiene su forma mientras su función cambia; otras veces, los organismos desarrollan nuevos comportamientos para lograr una función similar.

El Sr. Walker y la Sra. Rivera reservaron un momento para hablar acerca de los recursos matemáticos útiles para modelar el comportamiento, incluyendo las representaciones de la frecuencia, la covarianza, la distribución, la función y los modelos de clasificación. El Sr. Walker utilizó los apuntes recogidos en sus clases universitarias sobre los modelos de dominio específico de comportamiento que se podían analizar y utilizar con los estudiantes, los que comprenden entre otras reglas, programas, etogramas y modelos de procesamiento de información.

La Sra. Rivera y el Sr. Walker también tenían a varios alumnos que hablaban español en sus

# Clase de Ciencias

hogares, y unos pocos que estaban comenzando a aprender a hablar inglés como segunda lengua.

Ambos profesores esperaban que el proyecto les resultara interesante tanto a los estudiantes angloparlantes como a los hispanohablantes, pues la meta era crear una guía de terreno bilingüe electrónica que sería actualizada continuamente.

El Sr. Walker y la Sra. Rivera comenzaron el proyecto dividiendo el patio del colegio de manera arbitraria. A los niños de segundo año les tocó el lado oeste, que incluía el patio delantero con pasto, un gran árbol, espacios de estacionamiento, un área de recreo exterior y una pequeña área boscosa húmeda en donde se forman charcos en la primavera que las ranas ocupan como hogar.

A los alumnos de quinto les fue asignado el lado este, el cual contaba con un camino peatonal de tierra en un lado y un barranco con pendiente hacia un riachuelo lodoso y con rocas en el otro.

A pesar de que las dos clases trabajarían por separado, acordaron seguir el mismo plan: primero debían identificar los árboles, luego los arbustos y después las flores. Los dos grupos se reunieron una tarde al mes para compartir lo que habían hecho y las cosas que habían encontrado. Estas "conferencias de biodiversidad" mensuales resultaron ser muy populares en ambas clases. El Sr. Walker y la Sra. Rivera se turnaron para llevar bocadillos a los estudiantes, los que recibieron el nombre de "colación para el pensamiento".

A modo de preparación para las reuniones mensuales, ambos grupos organizaban sus ideas para presentarlas, por lo general, por medio de afiches, esquemas en cartulinas o dibujos, y se esmeraban en explicar sus ideas de la manera más clara posible. Diseñaron diapositivas en PowerPoint (que comenzaron a llamar "informes provisionales"), "publicaciones al día", mapas, e incluso dibujos de las hojas e insectos que encontraban.

Durante los primeros meses, ambas clases catalogaron árboles, arbustos y flores. Se dieron cuenta que identificar los árboles era bastante fácil, pero lo alumnos de segundo año en especial encontraron que era más difícil identificar arbustos y flores. El Sr. Walker y la Sra. Rivera, en conversaciones privadas, debatieron

si es que era necesario o no que los estudiantes redactaran planes de muestreo explícitos.

Sugirieron que los estudiantes se organizaran para hacer un mapa de sus secciones del patio. Para tal fin, les proporcionaron papel cuadrulado para usar como matriz, pero no insistieron mucho en esta idea (ver ilustración 2-1 para un ejemplo de este primer mapa). Esperaban que la necesidad de contar con un plan más sistemático surgiera de las mismas dudas de los estudiantes.

Además de árboles y plantas, identificaron a unos pocos animales diferentes, entre las que se incluía a dos especies de ardillas, una especie de ardilla listada del este, varias especies de aves y muchos insectos diferentes. Tomaron prestadas unas cuantas guías de campo de la biblioteca local (la favorita fue la Guía de Campo de Peterson) para identificar a las diferentes plantas. Les costó diferenciar entre árboles pequeños y arbustos, como también les costó identificar los tipos de flores cuando estas aún no florecían. Estas dificultades pasaron a ser temas de intensas conversaciones.

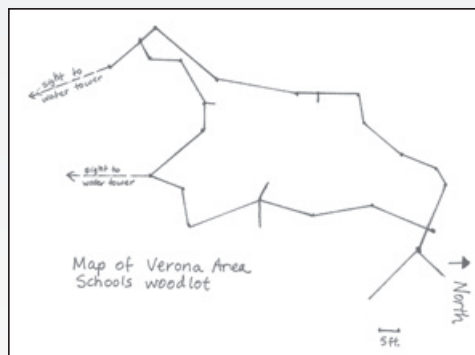


Ilustración 2-1. Este mapa es una representación general del camino por el bosque en el área de los colegios de Verona, antes de que los estudiantes idearan un plan sistemático para elaborar un mapa de la distribución y densidad de las especies comunes.

A medida que catalogaban las especies de plantas y animales, los estudiantes tuvieron que enfrentarse a diversos desafíos. A veces, era confuso utilizar las guías de campo como referencia, pues las plantas que encontraban en el patio se veían diferentes a las fotos de las mismas en el libro. El Sr. Walker y la Sra. Rivera aprovecharon esa instancia para alentar a los niños a leer el texto con explicaciones.

Cuando no estaban seguros si una planta era la misma que aparecía en el libro, los estudiantes buscaban otros materiales y libros con información sobre la misma planta. A su vez, este ejercicio llevaba a los estudiantes a encontrar información adicional a medida que juntaban pistas: ¿Dónde se encuentra esta planta usualmente? ¿Cuándo es que comienza a florecer? ¿Qué tan alta es?

Catalogar a los animales que encontraron en el patio fue especialmente difícil. ¿Cómo podían saber si es que estaban viendo a dos ardillas diferentes o si era la misma ardilla que veían por segunda vez? La respuesta llevó a una extensa conversación. El Sr. Walker explicó que lo que hacen los biólogos para identificar a los animales que estudian es poner un dispositivo de identificación en cada animal. Esto significa tener que capturar y retener al animal e incluso, a veces, anestesiarlo. En ocasiones, les ponen una pulsera de color en una de las patas o a veces los pintan con pintura no comestibles (por ejemplo, un punto verde en la pata trasera izquierda para una ardilla y un punto rojo en la pata izquierda de otra ardilla). Por supuesto, era imposible hacer esto en el patio del colegio. Sin embargo, les dijo, no todas las identificaciones necesitan intervenir al animal. Por ejemplo, los biólogos que estudian ballenas dependen de las fotografías que toman de ellas para identificarlas según los patrones de piojos que tienen en sus aletas.

Después de debatir por un largo tiempo, durante el cual se consideraron diferentes propuestas, los estudiantes decidieron que podrían hacer algo parecido a lo que hacen los biólogos que estudian ballenas. Después de un periodo de observación, preguntaron si alguno había notado a ardillas con diferentes características: colas frondosas o chascosas, ardillas con colas que son más oscuras o más claras que el pelaje en su cuerpo, pelaje negro o café, cicatrices o partes sin pelaje, etc. Los estudiantes dibujaron, tomaron fotografías y luego intentaron hacer un registro de las observaciones de los individuos en particular o especies, según estas características. Desde ahí en adelante, los estudiantes fueron capaces de crear sistemas de categorización bastante confiables, basados en las caracte-

rísticas que eran claves al momento de distinguirlas entre ellas.

Desde un comienzo, con sus observaciones, lecturas y colecciones, los estudiantes decidieron organizar sus áreas con más cuidado. Este interés por hacer un muestreo más sistemático fue el resultado de un debate extenso realizado durante una de las conferencias de biodiversidad mensuales. A pesar de que ambos profesores habían apoyado la idea de hacer una matriz del patio para guiar sus observaciones, los estudiantes no veían, en un principio, por qué era necesario tener un mapa o crear un plan sistemático. Ellos habían comenzado con una estrategia a lo "conejo de Duracell": observar, anotar todas las especies nuevas que encontraban, y seguir haciendo eso hasta que ya no quedaran más. Al comparar los resultados de las dos clases, y así comparar el lado este con el lado oeste del patio, los estudiantes se dieron cuenta de que debían ser más sistemáticos al identificar la distribución o densidad de las especies comunes. Para este fin, compartieron técnicas para hacer los mapas y algunas estrategias para tomar muestras que caracterizaran las áreas boscosas y con barranco (con la ayuda de brújulas y conteo de pasos). Asimismo, tomaron decisiones explícitas sobre dónde, cómo y qué iban a elegir para tomar muestras (ver ilustración 2-2).

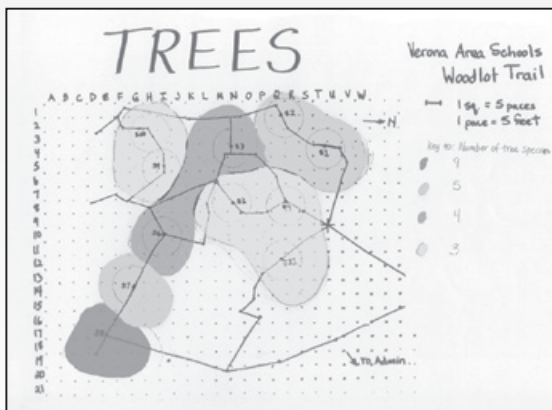


Ilustración 2-2. Este mapa es una representación general del camino por el bosque en el área de los colegios de Verona; las áreas marcadas muestran las diferentes especies de árboles en cada área del patio.

# Clase de Ciencias

Ya con mapas más precisos, comenzaron a especular acerca de las causas detrás de la variación en la flora y fauna. Se preguntaron si una especie crecía con frecuencia en un lugar dado debido a las otras cosas que crecían a su alrededor. Las detalladas observaciones que incluían sombras, la posición de una pendiente y la distancia que hay entre el camino y el lugar dónde está alterado el suelo cobraron un nuevo sentido. Los alumnos se dieron cuenta de que en un lado del patio había más árboles y que estos eran más grandes en comparación con los del otro lado del patio. Esta realidad llevó a que se plantearan varias posibles teorías que explicaran la causa: ¿se debía a la exposición al sol, a la calidad de la tierra o a la cantidad de agua? A su vez, esto llevó a que midieran de manera más sistemática la altura y circunferencia de los árboles. El Sr. Walker y la Sra. Rivera se dieron cuenta que la decisión de los estudiantes de utilizar mediciones sistemáticas debía estar motivada por sus propias teorías e investigaciones, para que así apreciaran cuándo una técnica es útil y necesaria.

Después de varios meses, aparecieron algunos estudiantes en cada una de las clases que resultaron ser muy hábiles para dibujar y retratar los detalles de las hojas de las plantas, los tallos leñosos y la corteza de los troncos. Los alumnos de segundo año llenaron cuadernos muy bien organizados con plantas aplastadas, y un grupo de cuatro niños juntó una colección de insectos, los que afirmaron con alfileres. En primavera, los estudiantes descubrieron renacuajos en los charcos que se habían formado en la tierra lodosa, y presenciaron con fascinación cómo los renacuajos se convertían en ranas.

Muchos niños que no hablaban inglés resultaron ser agudos observadores y fueron muy valorados por sus contribuciones artísticas. Otros estaban interesados en hacer dibujos y en asegurarse de que todos los comentarios estuvieran tanto en inglés como en español. La Sra. Rivera, que hablaba ambos idiomas, también ayudó en esta labor.

Poco a poco, surgieron grupos de interés. Uno de ellos se interesó principalmente en árboles: estimaron la edad midiendo su circunferencia y altura. Con el fin de superar el desafío de medir la altura de los árboles, el Sr. Walker trabajó con ellos para que los niños sabían sobre la ma-

temática de triángulos. Les enseñó a hacer un altímetro simple, el cual, junto con el teorema de Pitágoras, utilizaron para medir la altura de todos los árboles en el patio.

Esta instancia fue una oportunidad para que el grupo discutiera acerca de la variabilidad de las mediciones y el origen de los errores en ellas, lo que compartieron con sus compañeros de curso.

Otro grupo se interesó en la maleza, lo que resultó ser mucho más difícil de categorizar que los árboles y los arbustos. Después de semanas de debate, el grupo se dio cuenta de que el término "maleza" podría ser utilizado para describir cualquier planta que no se quería en el patio. Los estudiantes inventaron una frase que estamparon en una pancarta colgada en la pared de ambas clases: "La maleza de uno es la flor de otro y la cena de otro". Esto ayudó a los alumnos a darse cuenta de que la manera en que uno ve el mundo influye en la manera en que uno lo describe, lo que los alentó a aclarar sus supuestos y a trabajar por lograr un lenguaje y significados en común para el trabajo científico.

El interés de los estudiantes por el proyecto variaba mucho, y no todos se mostraban tan interesados por las actividades del curso. La Sra. Rivera y el Sr. Walker se esmeraron en lograr que los niños tuvieran conciencia de los diferentes aspectos de la investigación, para así ayudarlos a identificar los que más les podía interesar de la unidad. A algunos les atrajo la sostenibilidad y a otros la colección y estudio de insectos (vivos y muertos). A algunos les interesó utilizar herramientas como bases de datos en Excel y programas para dibujar. Los alumnos que recolectaron y estudiaron insectos mantuvieron su interés con el tiempo y poco a poco comenzaron a enfocarse en investigar su movimiento. Se centraron principalmente en el área junto al riachuelo, pues tenía más insectos y parecía verse menos afectada por la influencia de la gente en comparación con otras áreas del patio. Los alumnos estudiaron la locomoción de los insectos en el agua, en comparación con la locomoción en diferentes superficies terrestres, como en pasto, lodo y pavimento.

En un principio, los estudiantes en el grupo de insectos querían clasificarlos según ciertos atributos característicos, como el color y el tamaño.

No obstante, el Sr. Walker y la Sra. Rivera concluyeron que sería de ayuda guiar su atención hacia las características más importantes, como las partes de la boca de los insectos que parecían tener herramientas (palillos, pinzas, bombillas, etc.) específicas al tipo de comida ingerida, por lo que pidieron a los niños que investigaran qué tipo de comida puede tomarse con más facilidad con cierto tipo de "herramienta". Esto llevó a una interesante investigación sobre las "herramientas" que poseen los diferentes insectos.

Algunos alumnos en quinto año comenzaron a estudiar la historia de diferentes plantas desde que fueron plantadas en el patio. Para este fin, entrevistaron a residentes mayores que vivían cerca y visitaron el museo de historia de la localidad. Luego de una extensa investigación, determinaron que el árbol más alto y grande de todos los que se encontraban en el patio delantero era probablemente más viejo que el edificio del colegio.

Al final del año escolar, ambos grupos habían armado una guía de campo electrónica, con dibujos detallados, comentarios en inglés y español, y un mapa de la flora y fauna organizado tanto por cuadrantes como por una matriz más detallada en metros cuadrados.

En total, los niños identificaron 9 especies de árboles, 12 tipos de arbustos leñosos y 14 especies de flores plantadas. La guía de campo contenía 47 dibujos en detalles, con un capítulo aparte para árboles, arbustos, flores, maleza, animales e insectos. Ambas clases presentaron una versión impresa de sus guías de campo completas, para que quedara en la biblioteca. Presentaron su trabajo con diapositivas en PowerPoint en una asamblea general del colegio.

A pesar de que el Sr. Walker y la Sra. Rivera estaban felices con los resultados del proyecto de biodiversidad, sabían que este solo era el principio. Un amigo del Sr. Walker que trabajaba como paisajista examinó la guía de campo y detectó varios errores en la clasificación. Además, a pesar de la excelente presentación frente al colegio y de toda la información que habían recolectado, los alumnos habían quedado con muchas dudas. Todavía no sabían cuál era la razón detrás de las diferencias en la altura de los árboles. Habían descartado las diferencias

en la calidad de la tierra, pero no si tenía que ver con la edad o con la exposición al sol, o si es que se debía a la especie misma.

Para el inicio del siguiente año escolar, la Sra. Rivera y el Sr. Walker decidieron continuar avanzando con los contenidos del currículo, que ahora lo llamaban "La biodiversidad en el patio de un colegio urbano". Los alumnos del año anterior querían seguir avanzando con ese trabajo. Como respuesta, los profesores de tercer y sexto año preguntaron si podían participar en el proyecto del Sr. Walker y la Sra. Rivera.

El segundo año del proyecto comenzó con presentaciones de los estudiantes que habían creado la guía de campo el año anterior. El punto de partida fue el trabajo pendiente y las dudas que habían quedado de los alumnos de segundo y quinto año del año escolar anterior. A modo de presentación, la primera clase comprendió estas "dudas pendientes", como también una cuantas nuevas. Uno de los alumnos quería saber cuántos árboles de más de 18 metros había en el barrio. Otro quería integrar al mapa los árboles grandes en toda la ciudad utilizando tecnología de posicionamiento global o GPS.

Los dos profesores estaban al mismo tiempo entusiasmados por el éxito del año anterior y nerviosos por la falta de experiencia que tenían en este tema. Así que fue una experiencia de aprendizaje para todos. El Sr. Walker decidió pedir ayuda a los miembros de la facultad de biología de la universidad local. La respuesta lo sorprendió: muchos de los profesores universitarios y estudiantes avanzados mostraron interés en visitar el colegio para colaborar en el proyecto. Cuando llegaron los oradores invitados, los profesores tenían tantas preguntas como los estudiantes: inquirieron sobre métodos para responder a las preguntas de los estudiantes, además de solicitar información objetiva.

A pesar de que les preocupaba saber si serían capaces o no de supervisar todas estas actividades de manera adecuada, el Sr. Walker y la Sra. Rivera tenían de todos modos la impresión que estaban haciendo bien muchas de las cosas. La preocupación que sentían los llevó a buscar recursos que, de lo contrario, nunca habrían investigado.

El trabajo sobre biodiversidad del Sr. Walker y la Sra. Rivera se había convertido en un elemento clave para la enseñanza de las ciencias en su colegio, porque se enfocaba en preguntas de importancia cívica y mundial. Además, integraba diversos modos de indagación. Por ejemplo, favorecía el uso de herramientas y habilidades matemáticas, históricas, literarias y artísticas. Brindaba a los estudiantes la oportunidad de crear no solo un vínculo cercano y personal con la asignatura, sino que además brindaba la oportunidad de comprender que el aprendizaje científico se basa en investigaciones continuas y creativas: indagar, organizar, reflexionar, observar de manera sistemática, analizar datos, presentar hallazgos, debatir, crear modelos, teorizar y explicar. La parte más fascinante era que sus continuas investigaciones llevaban inevitablemente a más preguntas. El estudio de la biodiversidad ofreció un sinnúmero de oportunidades para el aprendizaje.

### *Examinar las cuatro ramas en la enseñanza*

El caso de "La biodiversidad en el patio de un colegio urbano" brinda un ejemplo de cómo las cuatro ramas del aprendizaje de las ciencias pueden relacionarse con la enseñanza, y cómo las habilidades y los conocimientos se construyen con el tiempo.

#### **Rama 1: comprensión de las explicaciones científicas**

Los alumnos del Sr. Walker y de la Sra. Rivera no comenzaron su estudio de la biodiversidad completamente desde cero. Todos tenían como base algunos conocimientos adquiridos como resultado de sus propios intereses personales y experiencias o interacciones previas con la naturaleza. También contaban con un sentido bien desarrollado de las regularidades, mecanismos y principios del mundo biológico, y el Sr. Walker y la Sra. Rivera supieron utilizar este conocimiento como base para enseñarles más.

En investigaciones se ha demostrado que los niños de muy corta edad, incluso aquellos menores de 3 años, son capaces de distinguir entre animales (pájaros) y artefactos (peluches), incluso cuando se ven similares. Es posible que esto se relacione con la habilidad de distinguir entre agentes intencionales y objetos inanimados, pues se reconoce a los animales porque son seres sociales con deseos, metas y otros estados emocionales y cognitivos que ayudan a explicar sus acciones.

Los niños pequeños tienden a no saber mucho acerca de los mecanismos que sirven de base para los procesos biológicos, como la digestión, el movimiento y la reproducción. No obstante, cuentan con la impresionante capacidad de identificar diferentes patrones en el mundo biológico.

Por ejemplo, comprenden que el alimento se transforma de manera tal que les da a los organismos la capacidad de crecer y moverse, y de que un organismo se deteriorará físicamente si no recibe alimento.

Así que sí entienden algunos de los procesos distintivos que son esenciales para la digestión.

Los niños también son capaces de reconocer aspectos específicos o patrones relacionados con los seres vivos, por ejemplo, que tienen una naturaleza específica y que forman parte de un sistema ordenado de grupos y categorías. Efectivamente, algunos aspectos de las creencias de los niños respecto a la biología son comunes entre diferentes culturas, lo que sugiere que las maneras de organizar el mundo viviente están profundamente arraigadas en el razonamiento de los seres humanos.

Con oportunidades como el curso "La biodiversidad en el patio de un colegio urbano", las ideas que tienen los niños acerca del mundo sufren un cambio drástico durante la enseñanza básica. Pasan de creer que las plantas y animales son especiales porque poseen "una fuerza vital" a concebirlos impulsados por actividades metabólicas. Además, tiene la oportunidad de explorar, organizar y modelar hábitats y ecosistemas. En el proceso, su comprensión conceptual de los seres vivos se somete a cambios importantes: comienzan a ver las interrelaciones entre los seres vivos en un sistema dinámico.

## **Rama 2: generación de evidencia científica**

A pesar de que eran niños de corta edad y muchos hablaban inglés como segundo idioma, gran parte de lo que los estudiantes en las clases del Sr. Walker y de la Sra. Rivera estaban haciendo era generar datos científicos. Hicieron un mapa del patio del colegio y desarrollaron maneras sistemáticas de tomar muestras de los diferentes tipos de animales y plantas. Recolectaron muestras de plantas e insectos, realizaron mediciones meticulosas, y llevaron un registro del tipo y densidad de las diferentes especies de plantas y animales. Dibujaron con esmero los tallos, hojas y brotes de las plantas, y con frecuencia las abrieron para explorar su interior. También recolectaron especímenes para estudiarlos en la sala de clase y realizar estudios de sostenibilidad de plantas en jarros con diferentes tipos de tierra, alimento y exposición solar. Crearon un laboratorio para examinar el ciclo de vida de las mariposas con orugas que encontraron en las hojas. Registraron estos cambios en cuadernos, esquemas para apuntes y gráficos de pared, y utilizaron estos documentos para graficar los cambios que ocurrían con el paso del tiempo.

Toda esta documentación se transformó en los "datos" ha razonar, cuestionar y debatir. Con estos datos, podían describir y debatir acer-





ca de los patrones de la vegetación y la relación entre la vida vegetal y la vida animal. Con sus mapas, gráficos y sus guías de campo siempre en desarrollo, podían hacer preguntas sobre la evidencia que habían recolectado y lo que significaba. Si necesitaban más evidencia, podían diseñar investigaciones para responder a preguntas específicas. Cuando los mapas del patio del colegio mostraron una densidad diferente de las plantas leñosas en otoño de un lado, recolectaron más evidencia sistemática de la altura de los árboles con la ayuda de altímetros artesanales. Encontraron, para su propia sorpresa, que los árboles en un lado del patio eran más altos que el promedio. Con una documentación detallada de la altura de los árboles, los estudiantes plantearon preguntas acerca de las causas de la diferencia en la altura de los árboles. ¿Se debía a una diferencia en la exposición al sol o al agua? ¿Se debía a que había diferentes especies de árboles?

¿O se debía a la edad de los árboles? Estas preguntas llevaron a una catalogación detallada de las especies como también a una investigación de la exposición a la luz solar, temperatura del terreno y humedad de la tierra. Las evidencias sólidas llevaron a más preguntas, lo que a su vez llevó a los estudiantes a generar más evidencia.

### **Rama 3: reflexión sobre el conocimiento científico**

Los estudiantes de los dos cursos tuvieron muchas oportunidades para reflexionar sobre sus nuevos conocimientos y sobre las dudas que surgían. Al explorar la pregunta de por qué los árboles en un lado del patio eran más altos, los estudiantes se dieron cuenta de las limitaciones de su evidencia con respecto a la edad de los árboles. Cuando informaron sobre sus hallazgos después de una actividad en terreno, se hicieron preguntas sobre la calidad y confiabilidad de los datos que estaban recolectando. Cada vez más solicitaban evidencias de los otros cuando proponían explicaciones informales.

A medida que se llevaba a cabo la guía de campo a lo largo del año, surgieron desacuerdos sobre la clasificación, los que debían resolverse. Los estudiantes se dieron cuenta de los errores que cometían de vez en cuando y prestaron atención a cómo corregirlos, y a cómo sus ideas cambiaban con el tiempo. El ejemplo más obvio de esto último fue el cambio

en la idea de los estudiantes acerca de las diferencias entre la maleza y las flores. La guía de campo se transformó en la "memoria colectiva" del grupo. Las actualizaciones hechas a la guía permitieron a todos recordar cómo el razonamiento puede cambiar drásticamente.

#### **Rama 4: participación provechosa en las ciencias**

Las prácticas científicas que se encuentran en el centro del trabajo de la biodiversidad se llevaron a cabo tanto en la sala de clases como fuera de ésta. Además del trabajo de campo en el patio del colegio (mapas, observación, bosquejos, gráfico de frecuencias), los estudiantes participaron activamente en debates sobre los datos, dudas, y sus conjeturas y planes para estudiar de manera sistemática las ideas. Además, trabajaron en grupos pequeños y con frecuencia participaron en sesiones de intercambio de información con otros grupos. Por supuesto, también se realizaban las conferencias mensuales de biodiversidad, moderadas por el Sr. Walker y la Sra. Rivera.

Tanto con el trabajo de campo como con el trabajo realizado en clases, los grupos dedicaron bastante tiempo a perfeccionar, corregir y publicar sus hallazgos para que pudieran compartirlo con otros, es decir, con otros cursos en el colegio, con expertos locales y con miembros de la comunidad.

Las reuniones mensuales de los dos grupos estaban diseñadas a semejanza de las conferencias científicas, y los estudiantes participaban seria-



mente y con respeto. La asistencia fue casi siempre 100 % durante estos días para ambos cursos, y los estudiantes pocas veces se portaban mal. Además, dedicaban mucho tiempo y esfuerzo a elaborar sus presentaciones.

Uno de los temas que más controversia causó durante las conferencias de biodiversidad fue la definición de "maleza".

Durante un largo periodo de tiempo, surgió la conclusión de que la definición de maleza era más un tema de interpretación y perspectiva que un hecho científico. El cambio ocurrió como resultado de los desacuerdos, la presentación sistemática de evidencia, los constantes esfuerzos de investigación (lo que incluyó entrevistas con estudiantes, adultos y jardineros) e incluso la ayuda de expertos externos. En un principio, algunos estudiantes propusieron hacer una encuesta en el colegio y zanjar el tema por medio de votos, pero otros argumentaron que podrían encontrar evidencia científica para establecer una respuesta definitiva. Resultó que este fue uno de los momentos más emocionantes de la investigación durante el año. Los temas de la confiabilidad de los datos, la concordancia y persuasión de los argumentos y el éxito de algunas de las líneas de investigación se convirtieron en los puntos centrales de las conferencias de biodiversidad posteriores.

### *La naturaleza interrelacionada de las cuatro ramas*

A pesar de que es posible separar las ramas para analizarlas, en la práctica las ramas están superpuestas. Una labor específica puede funcionar de diferentes maneras y formar parte de diferentes ramas al mismo tiempo.

Por ejemplo, en una de las conferencias de biodiversidad mensuales, una estudiante de quinto año, Carla, presentó un gráfico con plantaciones de árboles y cálculos de sus alturas en dos lados del colegio. Mientras mostraba el gráfico, Carla explicó que el grupo había determinado cómo medir la altura de los árboles utilizando triángulos y el teorema de Pitágoras. Pero el cálculo que hicieron de la altura de los árboles los dejó perplejos y con dudas sobre la precisión de los datos. Un alumno de entre el público preguntó si la diferencia podría deberse a la exposición al sol, porque él había encontrado con sus experimentos con flores silvestres (que crecían bajo diferentes condiciones) que algunas flores silvestres habían crecido más rápidamente y más grande cuando estaban expuestas a más sol. En este breve intercambio, los estudiantes presentaron explicaciones científicas, con sus propios datos como evidencia y reflexionaron acerca del nuevo conocimiento mientras participaban en prácticas científicas auténticas como presentadores y miembros del público. Las cuatro ramas estaban siendo utilizadas.

Es importante hacer hincapié en que las diferentes ramas se informan y benefician las unas a las otras. Las ramas dependen unas de otras, por lo que el progreso de los estudiantes en una rama beneficia o fomenta el progreso en las otras. En el caso de "La biodiversidad en el patio de un colegio urbano", uno puede notar cómo esta sinergia aumenta a lo largo de la investigación. Los conocimientos previos ayudan a los estudiantes a medida que comienzan las labores de observación y registro. Sus diferentes intereses los llevan a enfocarse en diferentes temas al inicio del trabajo de campo.

La recolección de datos (la rama 2) se convierte en evidencia que ellos utilizan para reflexionar y razonar (rama 3). Eso, a la vez, los alienta a hacer más preguntas y a buscar información de diferentes fuentes, lo que los lleva a una comprensión más profunda de los procesos biológicos que ocurren (rama 1). A medida que los alumnos cuentan con una mejor comprensión de los procesos biológicos, sus preguntas y la búsqueda de patrones y tendencias se vuelve cada vez más sofisticadas (rama 2), por lo que sus preguntas, a su vez, se tornan más específicas. Por ejemplo, cuando los estudiantes comprenden la relación entre las fuentes de alimentos y la densidad de la población, buscan mejores técnicas para registrar las poblaciones y la densidad en las diferentes partes del patio. Buscan herramientas más sofisticadas para registrar y graficar la densidad de ciertas plantas y medir la altura de las plantas leñosas (rama 2). A medida que sus herramientas se vuelven más sofisticadas, su evidencia cobra más valor y sus técnicas se tornan más sistemáticas (rama 2). Como resultado, debaten más acerca de las mediciones y conversan sobre la calidad y confiabilidad de los datos (rama 3). Con el tiempo, el razonamiento y la comprensión que adquieren sobre las tendencias y patrones se hace más sofisticado (rama 1) y sus preguntas de investigación son más acertadas. Mantienen conversaciones y debates más importantes acerca de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos para la recolección de datos y la utilidad de ciertas líneas de investigación (rama 3 y rama 4). A medida que sus preguntas se tornan más complejas y su comprensión de lo que se considera evidencia más sofisticada, el diseño de sus investigaciones se torna más adecuado y preciso (ramas 1, 2, 3 y 4).



Las técnicas que el Sr. Walker y la Sra. Rivera utilizaron para promover los debates de beneficios y desventajas con todo el grupo permitieron que todos descubrieran el razonamiento, los datos y los hallazgos de los otros (rama 4). Durante las conferencias de biodiversidad mensuales, los estudiantes tuvieron la oportunidad de criticar las propuestas y diseños de los otros con evidencia en contra y proponer sugerencias constructivas basada en los esfuerzos previos (ramas 3 y 4). Las investigaciones llevaron a una mayor comprensión del patio del colegio y de las maneras en que los biólogos y botanistas comprenden el mundo (ramas 1 y 3).

Como las diferentes actividades en clases se enfocan en diferentes ramas a diferentes momentos, la meta es tratar de juntarlas todas con regularidad.

### ***Las ciencias como un modo de práctica: aprender y hacer actividades juntos***

A lo largo de este libro, hablamos de "prácticas científicas" y hacemos referencia al tipo de enseñanza que integra las cuatro ramas bajo el nombre de "la práctica de la ciencia". ¿Por qué no utilizar el término "indagación" en su lugar? La ciencia como práctica implica hacer algo y aprender algo, de tal manera que la práctica y el aprendizaje no se puedan separar. Así, "práctica", tal como se utiliza en este libro, incluye a varias de las definiciones de diccionario del término. Se refiere a hacer algo de manera repetitiva con el fin de llegar a ser competente (tal como aprender a tocar la trompeta). Se refiere a aprender algo con tanta dedicación que pasa a ser como una segunda piel (como tratar de ahorrar). Y se refiere a utilizar el conocimiento de uno para cumplir un objetivo (como poner en práctica el derecho o en docencia).

Una forma particularmente importante de la práctica científica es la indagación científica. En años recientes, el término "indagación" ha llegado a tener diferentes significados al ser implementado en los currículos, textos escolares y clases. A fin de reflejar esta diversidad y ampliar el debate sobre la enseñanza y aprendizaje eficaz de las ciencias, el Comité para la Enseñanza de las Ciencias decidió enfatizar las prácticas científicas en vez de la práctica específica de la indagación desde el jardín infantil a octavo año. Esta decisión trae diferentes beneficios. Cuando nos referimos a la práctica científica también incluimos a la indagación y a otras actividades que se realizan en las clases de ciencias. Al enfocarse en las prácticas, también se pone el foco en la indagación en un contexto más amplio, el que puede revelar cuándo y por qué la indagación es eficaz.

Cuando los estudiantes participan en la práctica científica, forman parte de un marco social, utilizan el lenguaje científico, y trabajan con herramientas y representaciones científicas. De esta manera, la comprensión conceptual de los sistemas naturales está vinculada con la capacidad de desarrollar o evaluar enunciados de conocimiento, realizar investigaciones empíricas y construir explicaciones.

Esta perspectiva es una caracterización mucho más precisa de lo que constituyen las ciencias y la enseñanza eficaz de las ciencias, en comparación con la tendencia común de enseñar el contenido y el proceso por separado. Cuando los estudiantes aprenden las ciencias por medio de la práctica, adquieren conocimientos y explicaciones del mundo natural a medida que generan e interpretan la evidencia.

Al mismo tiempo, llegan a comprender la naturaleza y el desarrollo de los conocimientos científicos mientras participan en las ciencias como un proceso social.

El diverso grupo de profesionales que, en conjunto, construyen y respaldan la enseñanza científica de los niños puede utilizar las ramas de manera importante. A nivel de clases, el profesor puede analizar los recursos con los que cuenta, es decir, los textos escolares, los libros, los equipos de ciencias y los instrumentos de evaluación, para estimar cómo pueden servir para aplicar las cuatro ramas. Es probable que muchos de estos recursos no sirvan completamente para algunos de los aspectos importantes de las ramas. Tal vez algunos profesores estén en la posición de sacar provecho de los recursos al consultar la información disponible o encontrar oportunidades de desarrollo profesional locales. Sin embargo, para otros no es tan fácil. A pesar de sus sólidos conocimientos en las ciencias, la Sra. Fredericks sufría durante sus clases hasta que finalmente encontró apoyo por medio de una red informal de colegas que invirtieron tiempo y energía para aconsejarle sobre las mejores formas para enseñar ciencias.

Aun cuando las iniciativas de los profesores, como aquella de la Sra. Fredericks y sus colegas, son esenciales para lograr cambios significativos en la enseñanza de las ciencias durante la educación básica, no son suficiente. Si se quiere lograr un cambio significativo, tanto los profesionales dedicados al área curricular para las ciencias en el distrito como las oportunidades de desarrollo profesional y la evaluación de la docencia deben cumplir un papel importante. Tal como el profesor de aula, los profesionales de la educación a nivel escolar y de distrito deben examinar los recursos disponibles, incluyendo materiales pedagógicos para profesores, guías de distrito para programas curriculares y procesos de adopción de materiales. Pueden examinar, criticar y mejorar estos recur-

tos para incorporar mejor estas ramas. Pueden evaluar las oportunidades de aprendizaje profesional disponibles para los profesores por medio del sistema escolar, universidades locales, centros de ciencias y otros con el fin de identificar las maneras de mejorar lo que saben los profesores acerca de las ramas.

Las ramas ofrecen una base en común para planificar, reflexionar y mejorar la educación de las ciencias. En los siguientes capítulos se demostrará que los educadores que apuntan a integrar las ramas en su currículo de ciencias tienen mucho en común con sus alumnos. Los educadores, los investigadores, los administradores y los encargados de las políticas tendrán que encontrar maneras de mejorar su comprensión y otorgarse apoyo mutuo mientras exploran e integran este nuevo modelo de lo que significa para los niños aprender y participar en las ciencias.

### *Fuentes de lectura complementaria*

CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.

GOTWALS, A., Y SONGER, N. (2006). Measuring students' scientific content and inquiry reasoning. In *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences* (pp. 196-202). Bloomington, IN: International Society of the Learning Sciences.

LEHRER, R., SCHAUBLE, L., STROM, D., Y PLIGGE, M. (2001). Similarity of form and substance: Modeling material kind. En S. Carver y D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years in progress*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Goals for science education. Capítulo 2 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 26-50). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, and A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

STEWART, J., CARTIER, J.L., Y PASSMORE, C.M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. En National Research Council, *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom* (pp. 516-565). Committee on How People Learn, a Targeted Report for Teachers. M.S. Donovan and J.D. Bransford (Eds.). Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

## CAPÍTULO 3

# Conocimiento de base y cambio conceptual

Los hallazgos de las investigaciones recientes han revolucionado la forma como se concebía el desarrollo de la mente del niño desde la infancia hasta la adolescencia.

En los últimos 20 a 30 años, se ha demostrado por medio de investigaciones que los niños llegan a la escuela con una gran capacidad para el aprendizaje en general, y para el aprendizaje de las ciencias en particular. Incluso los niños en edad preescolar cuentan con una serie de ideas, marcos conceptuales y habilidades de razonamiento. Llegan a la escuela armados con "teorías" rudimentarias<sup>1</sup>, cuadros conceptuales y principios generales que les ayudan a dividir la realidad en diferentes campos y a organizar sus expectativas respecto a cómo funcionan las cosas. Su comprensión del mundo les ayuda a explicar fenómenos y resolver problemas. Los niños son capaces de llegar a razonamientos sorprendentemente sofisticados en sus primeros años escolares, y pueden apreciar elementos fundamentales de la naturaleza de las ciencias.

Para los educadores comprometidos con mejorar el aprendizaje de las ciencias a nivel escolar, esto es una buena noticia. Asimismo, nos lleva a plantear un número de preguntas que se explorarán a lo largo de este libro:

- ¿Cómo se puede identificar el conocimiento que los niños traen consigo al colegio?
- ¿Cómo se puede utilizar este conocimiento en formas que apoyen directamente el aprendizaje de las ciencias?
- ¿Cómo puede la diversidad (cultural, lingüística o personal) aprovecharse como un recurso, en vez de considerarse como un obstáculo?
- ¿Cómo se pueden integrar las cuatro ramas del aprendizaje de las ciencias para que cada una brinde conocimiento y realce a las otras?



Es posible apreciar elementos de las cuatro ramas del aprendizaje de las ciencias en las capacidades y el conocimiento que los niños traen consigo a la escuela. Eso significa que el marco de la cuatro ramas, descrito en el capítulo 2, puede y debería aplicarse tan pronto los niños comienzan su educación escolar.

En el presente capítulo, se presenta la primera rama en detalle, la que consiste en comprender las explicaciones científicas. Por lo tanto, se analizarán los conceptos (y las nociones alternativas) que los estudiantes poseen cuando comienzan su educación escolar.

Al completar la educación básica, y como resultado de la enseñanza, la experiencia y la maduración, los conceptos que saben los estudiantes evolucionan. Uno de los desafíos claves que se les presenta a los profesores es saber cómo mejor aprovechar la base de conocimientos y la comprensión del mundo que tienen los estudiantes. Pues, a partir de estos conocimientos, los profesores pueden ayudarles a confrontar sus errores conceptuales de forma productiva para que así los rectifiquen y comprendan bien tales ideas.

### ***Identificar una base de comprensión en común en niños de corta edad***

Los niños de todos los trasfondos culturales confrontan y aprenden acerca de un conjunto común de sistemas naturales o "dominios" en el área de las ciencias. Se han estudiado en detalle cuatro dominios con respecto a infantes y niños de corta edad. Estos dominios guardan una relación general con las disciplinas científicas: la mecánica simple de los cuerpos sólidos delimitados (física básica), el comportamiento de los agentes psicológicos (psicología básica), las acciones y la organización de los seres vivos (biología básica), y la composición y substancia de materiales (química básica). Estos dominios ofrecen una base sólida sobre la cual los niños pueden adquirir y perfeccionar habilidades y conocimientos científicos.

Los niños de corta edad suelen dar sentido a sus experiencias respecto a cada dominio de igual forma, sin importar la cultura; por ende, se puede esperar que la mayoría de los niños tengan algunas ideas y expectativas en común acerca de estos dominios. Por ejemplo, en biología, los niños pueden distinguir sin problema a los seres vivos de los objetos inertes, y entienden que las especies se adaptan a entornos biológicos que les permiten satisfacer sus necesidades de supervivencia. Estos son solo algunos ejemplos de la amplia comprensión básica que los niños de corta edad pueden recoger de sus propias experiencias en el mundo antes de comenzar su educación escolar formal.

Es interesante que, mientras todos los niños tienden a concebir cada dominio de forma similar, el tipo de razonamiento que ejercitan varía entre dominios de acuerdo con las funciones que cumpla el dominio.

Es decir, la manera de razonar es específica a un dominio. Por ejemplo, en física, cuando los niños observan una pelota rodar, entienden que la pelota no tiene el "deseo" de rodar por la rampa, ni que tampoco "quiere" chocar contra la pared. Por el contrario, en el dominio psicológico, los niños sí piensan que una persona o un animal tienen el deseo de bajar por la rampa para llegar a la comida que se encuentra abajo, o que una persona puede querer golpear una pared porque está enojada. Los niños comprenden que las causas de los eventos físicos son fundamentalmente distintas de las causas a los eventos psicológicos.

Otro ejemplo de razonamiento específico a un dominio se puede observar en las preguntas que los niños usualmente hacen acerca de los seres vivos, en oposición a las preguntas que hacen acerca de objetos fabricados. En estudios, la pregunta que ellos plantean varía sistemáticamente. Los niños saben preguntar para qué sirve una herramienta, como por ejemplo un alicate. Comprenden que las herramientas, como muchos otros objetos fabricados, por lo general cumplen una función. De igual forma, entienden que los seres vivos, como los tigres, no cumplen la misma función práctica como las herramientas. Por ende, sus preguntas sobre los seres vivos no siempre se enfocan en la función o el propósito que cumplen.

Al parecer, siempre se mantiene este patrón de pensamiento o de aplicación de razonamiento de forma coherente dentro de un dominio, pero diferente entre dominios, sin importar la cultura o el lenguaje del niño. El primer paso para instaurar y respaldar un aprendizaje científico constante y eficaz es reconocer que, prácticamente, todos los niños llegan a la escuela con estas habilidades de razonamiento y conocimiento sofisticadas.

Además de una comprensión conceptual del mundo, los niños llegan a la escuela con una variedad de capacidades de razonamiento generales que pueden convertirse en los cimientos del pensamiento científico. Los niños en edad preescolar pueden ser muy intuitivos y perspicaces frente a los patrones abstractos en el mundo, y pueden utilizar esta sensibilidad para guiar la forma de concebir los comportamientos de los objetos, la

#### *Los cuatro dominios del conocimiento*

1. Mecánica simple de cuerpos sólidos delimitados.
2. Comportamiento de los agentes psicológicos.
3. Acciones y organización de los seres vivos.
4. Composición y substancia de materiales específicos.

naturaleza de los seres vivos, la ubicación de las cosas en el espacio y muchas otras ideas. Por ejemplo, los niños de corta edad e incluso los infantes que aún no hablan al parecer cuentan con un sólido sentido de los principios de causa y efecto, que va más allá de la mera diferenciación entre dos cosas que ocurren juntas. Poseen expectativas razonables sobre cómo las causas preceden los efectos y cómo ciertos tipos de causas se vinculan a tipos particulares de efectos. Al parecer, la categorización, la inducción y muchas otras formas de razonamiento se guían por tales nociones abstractas de información.

También se pueden apreciar las bases del modelamiento en los niños de corta edad. Mucho antes de llegar a la escuela, los niños ya cuentan con algunas apreciaciones sobre las cualidades representativas de los juguetes, las fotos, los modelos a escala y las presentaciones de video. En los juegos de rol, los niños pueden tratar un objeto para que cumpla en su lugar la función de otro (un bloque por una taza, un plátano por un teléfono). No obstante, los niños entienden que el objeto no ha cambiado su identidad, naturaleza o función original. Más tarde, en la escuela, utilizan este mismo tipo de razonamiento y comprensión cuando deben utilizar contadores para resolver problemas aritméticos sencillos.

El uso que los niños de corta edad hacen de los modelos ha sido validado por una serie de estudios en laboratorio. En algunos trabajos de Deloache et ál., se les presenta a niños desde tres años de edad en adelante una habitación real y un modelo a escala de la misma. Se les indica donde se encuentra un objeto en la habitación a escala, y luego se les pide que identifiquen el objeto en la habitación real. Para realizar bien esta tarea, los niños deben comprender que el modelo es un objeto por sí solo, y que es una representación de la habitación más grande. Lo anterior revela que los niños, incluso antes del jardín infantil, ya cuentan con habilidades rudimentarias para modelar, lo que es un aspecto fundamental de la práctica científica contemporánea.

Además, los niños son capaces de comprender sus propias ideas, creencias y conocimiento y las de otros, además de contar con las habilidades para evaluar las fuentes de conocimiento. La capacidad de distinguir ideas y creencias como entes separados del mundo material es esencial para que los niños participen en debates sobre la interpretación de evidencia. Los niños también comprenden que el conocimiento se encuentra distribuido de manera desigual en el mundo. Antes de entrar a la escuela, ya saben distinguir quién conoce y quién no las áreas que les interesan. Esto también es un aspecto clave de la práctica científica, dado que gran parte se realiza en grupos, y tanto los científicos como los estudiantes de ciencia poseen distintos niveles de dominio.

Finalmente, los niños disfrutaban de participar en la búsqueda de conocimiento. Uno de los grandes placeres de trabajar con niños de corta edad es el entusiasmo y la falta de inhibición que tienen al momento de generar y considerar nuevas ideas. Los niños pueden debatir ideas y defender posturas con un refinamiento muchas veces sorprendente.

Hasta los niños de corta edad pueden participar en las cuatro ramas de la competencia científica. Usualmente, su conocimiento presenta importantes vacíos (al igual que en los adultos), y sus habilidades de razonamiento los puede llevar a conclusiones erradas. Sin embargo, los niños de corta edad no son un manojo de falacias, como a veces se les caracteriza. Por el contrario, son ávidos exploradores que han logrado aprender patrones en algunos dominios particulares de la experiencia, lo que les permite interpretar, anticipar y explicar sus mundos.

Con el tiempo, y al vivir diferentes experiencias, el conjunto normal de ideas y creencias que los niños tienen puede variar, y esta diversidad se puede ver tanto dentro de un curso como entre culturas.

No obstante, los niños siguen utilizando una base compartida de conocimiento, la que puede ser un valioso cimiento para el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias.

#### *Los niños de corta edad entran al colegio con:*

- Un abundante conocimiento del mundo.
- La habilidad de razonar.
- Una comprensión del principio de causa y efecto.
- Bases para el modelamiento.
- La habilidad para sopesar ideas y creencias.
- Un deseo por aprender.

### *Ver la naturaleza de formas novedosas*

La educación científica, a veces, se considera como un proceso sencillo que consiste en llenar la mente de los alumnos con datos. De acuerdo con esta vía de razonamiento, si los estudiantes aprenden los conceptos, las definiciones y los datos discretos suficientes, entonces comprenderán la ciencia.

En la enseñanza de las ciencias aprender nuevos datos y afirmaciones es importante. Por ejemplo, los niños de corta edad no profundizarán en su comprensión de los seres vivos si no aprenden acerca de los diferentes seres vivos y sus características. Sin embargo, los datos y afirmaciones por sí solos no bastan. Para comprender las ciencias, los niños tienen que ver estas afirmaciones en contextos más amplios de significados. Deben reorganizar las ideas que traen consigo a la escuela para que calcen dentro de una red más vasta de ideas. Tienen que aprender a cómo razonar las explicaciones

científicas. Los investigadores agrupan todos estos tipos de cambios en el pensamiento dentro de una categoría general de cambio conceptual.

Los años de educación básica pueden ser testigos de impresionantes periodos de cambio conceptual. Los niños pueden llegar a importantes nuevas e importantes reflexiones, las que han de cambiar su comprensión de todo un dominio. En otras palabras, pueden llegar a nuevos conocimientos que literalmente cambian sus vidas.

Puede ser difícil planificar un cambio conceptual de este tipo en la enseñanza de las ciencias en la educación básica. Muchos profesores piden a sus alumnos que hagan experimentos o que lleven a cabo observaciones con la esperanza de que la comprensión científica saldrá de los datos como por milagro. Sin embargo, estar expuesto a nueva información no es lo mismo que comprender, o integrar información a lo que uno ya conoce. Un cambio conceptual real requiere que ocurran reorganizaciones del conocimiento más profundas.

Los estudiantes que son buenos para las ciencias saben más que solo datos. Su habilidad proviene de cómo logran organizar el conocimiento que tienen y adquieren. Progresar en las ciencias es igual a desarrollar un conjunto variado de conceptos interconectados o estructura de conocimiento, la que a cada paso se parece más a la estructura de conocimiento de una disciplina científica. Cuando los estudiantes comprenden los principios organizativos de las ciencias, pueden aprender material nuevo o relacionado con mayor eficacia, y es más probable que sean capaces de aplicar su conocimiento a nuevos problemas.

### *Tipos de cambio conceptual*

Hay distintos tipos de cambios conceptuales, algunos más difíciles de lograr que otros. Muchos docentes no reconocen los diferentes niveles de dificultad, por lo que no ajustan sus técnicas pedagógicas según los distintos casos que se les puedan presentar. No siempre es fácil reconocer el tipo de cambio que se necesita, y algunos requieren más tiempo y esfuerzo tanto por parte de los profesores como de los alumnos. En el presente texto se consideran tres tipos amplios de cambios conceptuales. Hemos partido por el más fácil, para luego progresar hasta los más retadores.

#### **Adquirir nuevos conocimientos a partir de un concepto preexistente**

La forma más fácil de cambio conceptual implica adquirir nuevos conocimientos a partir de una estructura conceptual ya existente. En biología, por ejemplo, los estudiantes aprenden cómo las diferentes características anatómicas (como los dientes) entregan información acerca de la forma

de vida del animal (como su dieta). Más tarde, pueden investigar otras partes del cuerpo (como las garras o el sistema reproductor) y extrapolar otros comportamientos (por ejemplo, cazar, aparear, cooperar). Dado que los estudiantes cuentan con una base de comprensión conceptual, puede ser relativamente más fácil de conseguir extender esta base de conocimientos ante nuevas evidencias, conocimientos o experiencias que calcen con su pensamiento actual.

### **Reestructurar una red de conceptos**

Un tipo más desafiante de cambio conceptual implica pensar acerca de un conjunto de conceptos preexistente de nuevas maneras. Entender la idea de que el aire es materia, por ejemplo, exige un cambio en la comprensión tanto del concepto de aire como del concepto de materia. Una vez que esta nueva concepción del aire se encuentra completamente integrada, la antigua idea de que "el aire es nada" se vuelve irrelevante, por lo que se puede descartar.

Reestructurar una red de conceptos también puede significar unir conceptos que antes se pensaban como fundamentalmente diferentes o separados. Por ejemplo, los niños al principio pueden pensar que los sólidos y los líquidos son esencialmente distintos del aire. Después llegarán a comprender que toda la materia está hecha de pequeñas partículas que pueden existir en diferentes "estados". Esto requiere dejar de pensar que la materia es un elemento que se percibe directamente (como algo que se puede ver, sentir o tocar) y comenzar a verla más bien como un elemento que ocupa espacio y tiene masa. De igual forma, deben pasar de ver al peso como algo que se define y se evalúa por medio de las percepciones (qué tan pesado se siente algo) a verlo como una magnitud que se mide y se cuantifica. Es necesario seguir estos pasos si a la larga queremos que los estudiantes distingan la diferencia entre el peso y la densidad.

Llegar a este tipo de cambio conceptual puede ser difícil y puede requerir muchas y constantes oportunidades para reexaminar y pensar sobre los conceptos estudiados.

### **Alcanzar nuevos niveles de explicación**

Tal vez el tipo de cambio conceptual más difícil sea aquel que implica llegar a nuevos niveles de explicación para fenómenos particulares, debido a que los alumnos requieren este tipo de cambio para avanzar en su comprensión de las ciencias. Para entender la teoría atómico-molecular, por ejemplo, los alumnos tienen que comprender que los materiales se conforman de átomos y moléculas, y también deben entender los com-

### *Tipo de cambio conceptual*

1. Adquirir nuevos conocimientos a partir de un concepto preexistente
2. Restructurar una red de conceptos
3. Alcanzar nuevos niveles de explicación

portamientos y las interacciones entre estos elementos microscópicos de la materia. Estos nuevos niveles de comprensión ofrecen una mayor claridad con respecto a muchos otros fenómenos, y vinculan las explicaciones de un área de las ciencias con las de otra área. Por ejemplo, cuando entienden la

teoría atómico-molecular, los estudiantes están capacitados para entender los procesos biológicos básicos de los seres vivos.

Llegar a nuevos niveles de explicación puede ser muy complejo, porque un cambio conceptual fundamental requiere volver a organizar conceptos y volver a ubicarlos dentro de una estructura explicativa más amplia. Los alumnos tienen que romper el marco de lo conocido y familiar y reorganizar todo el conjunto de conocimientos a partir de ideas que con frecuencia son poco comunes para ellos. Dada la complejidad de este proceso, es posible que los estudiantes necesiten contar con un número considerable de oportunidades bien planificadas antes de alcanzar estos nuevos niveles de explicación.

## *Utilizar el conocimiento previo para darle sentido al mundo*

En el pasado, un enfoque común para la enseñanza de las ciencias era centrarse en corregir las "ideas erróneas" de los estudiantes. Los niños usualmente utilizan sus propias apreciaciones y su sentido común para llegar a conclusiones sobre el mundo, las que pueden en parte ciertas o del todo incorrectas. La versión extrema de esta perspectiva postula que un niño preescolar llega a la escuela con un montón de ideas erradas que deben ser corregidas.

Una forma más productiva de concebir estas ideas erradas es verlas como intentos, de parte de los niños, de entender el mundo que los rodea. Es verdad que el objetivo principal de la enseñanza de las ciencias debería ser que los niños comprendieran las explicaciones científicas de los fenómenos naturales, pero si uno pasa a explicar las explicaciones apresuradamente, los estudiantes no serán capaces de verdaderamente comprender las ciencias. Por lo general, sus ideas forman parte de sistemas de pensamiento más amplios que a ellos les hacen sentido, a pesar de que a veces pueden ser parciales o estar completamente erradas.

Consideremos, por ejemplo, el hecho de que muchos niños (y adultos) creen que las temperaturas en el verano son más cálidas que las del in-

vierno debido a la distancia entre la tierra y el sol. Esto no es correcto. Las explicaciones científicas apuntarían a la duración del día y la inclinación de la tierra como factores que dan cuenta del cambio de temperatura que se produce en las estaciones. No obstante, subyacente al razonamiento del niño encontramos una forma de pensamiento que sí funciona. Por ejemplo, el niño sabe que cuando coloca su mano cerca del radiador sentirá más calor. Él puede usar este conocimiento para explorar el mundo. Cuando el niño utiliza este tipo de razonamiento, vincula su propia experiencia con radiadores y otros objetos calientes a las estaciones del año, el cual es un nuevo problema que no puede experimentar de forma física. En esencia, él está poniendo a prueba una "teoría" ante una nueva observación.

Lo que llamamos ideas erróneas pueden ser los peldaños del camino que nos llevará a un conocimiento más preciso. Muchas ideas erróneas coexisten con ideas correctas sobre el mundo. Las primeras pueden ser la única forma que tiene un niño de llegar a una comprensión más precisa de los conceptos científicos. Además, no todos los errores requieren intervención por parte del profesor. Por ejemplo, los niños más pequeños generalmente creen que las personas se pueden convertir en gigantes si comen bien, o que la muerte se puede revertir, o que si uno rompe un material en pequeños pedazos de forma sucesiva, con el tiempo desaparecerá. Aunque todas estas ideas son obviamente incorrectas, por lo general, los niños las corrigen sin necesidad de intervención a medida que crecen.

Algunos aspectos de la comprensión científica moderna van tan en contra de la intuición y de la "naturaleza" que es muy poco probable que los niños lleguen a comprenderlos sin que alguien se los enseñe explícitamente. Comprender la teoría atómico-molecular, por ejemplo, requiere que los niños imaginen la materia a una escala considerablemente alejada de la experiencia diaria. Su concepción de que los tipos de materiales del mundo son infinitos no se reconcilia fácilmente con la noción de que en el planeta solo existen 100 tipos diferentes de átomos.

Aunque los niños de corta edad por lo general tienen muchas ideas erróneas respecto al aire, cuando ya están en los últimos años de educación básica pueden empezar a entender la materia desde una perspectiva macroscópica. Asimismo, pueden comenzar a determinar si todas las entidades materiales tienen algunas propiedades en común y cuáles son estas. Así, pueden empezar a articular un concepto general de la materia que, en un principio, se encontraba implícito en sus nociones sobre los tipos de materiales. Los niños pueden llegar a concebir la idea de que los objetos de diferentes materiales están hechos de algo que sigue existiendo, que ocupa un espacio y que registra un peso a pesar del amplio rango de posibles transformaciones que pueda sufrir.



# LAS MOLÉCULAS EN MOVIMIENTO<sup>2</sup>

*El siguiente estudio de caso se refiere a una clase de séptimo año de educación básica, en donde los niños tratan de comprender un conjunto de conceptos nuevos y difíciles. Se enfoca en un dominio específico del conocimiento científico: la naturaleza y las propiedades de la materia, incluyendo los gases. Para la mayoría de los profesores, a lo menos parte de este contenido será nuevo. De hecho, la mayoría de los adultos tienen grandes problemas para comprender las propiedades de los gases y la presión del aire. Si nos enfocamos en un ejemplo específico de enseñanza que incorpore las cuatro ramas, podremos ver lo beneficioso que resulta utilizarlas en conjunto para lograr que los niños participen en la práctica científica. También da la posibilidad de indagar más a fondo en algunas de las perspectivas sobre la comprensión conceptual y la competencia científica, las que revelan un gran potencial para la educación de las ciencias.*

*Michelle Faulkner, una profesora de séptimo año, estaba empezando a enseñar una unidad sobre el aire llamada "Moléculas en movimiento", como parte de una introducción a la teoría atómico-molecular de la materia.*

### LA TEORÍA ATÓMICO-MOLECULAR DE LA MATERIA

La teoría atómico-molecular es un conjunto de ideas científicas bien fundamentadas que ayudan a esclarecer las propiedades de las sustancias, la materia que compone las cosas y cómo cambian (o no cambian) en entornos con diferentes condiciones ambientales, como calor o presión. La teoría atómico-molecular de la materia da cuenta de los aspectos visibles e invisibles (microscópicos) de las sustancias.

Dos eran las razones por las cuales había decidido comenzar esta unidad con ejemplos de la presión atmosférica. En primer lugar, el libro que ella utilizaba en clases presentaba la teoría atómico-molecular con impresionantes

demostraciones de la presión atmosférica. En segundo lugar, ella sabía que estos ejemplos tendrían resultados sorprendentes e inesperados, lo que llevaría a los niños a meditar sobre sus experiencias con la presión del aire. Dado que estarían observando y trabajando con objetos y situaciones comunes de su vida personal, era muy probable que los niños creyeran que ya sabían lo que ocurriría durante las demostraciones. La cercanía y el conocimiento implícito despertaría en los alumnos tanto teorías como predicciones. No obstante, la Sra. Faulkner sabía que sus estudiantes descubrirían rápidamente que las explicaciones o los supuestos habituales a los que ellos habían llegado no siempre servían para esclarecer lo que estaba ocurriendo. A su vez, esto los incitaría a abrirse ante la posibilidad de explorar nuevas herramientas y modelos, al igual que a elaborar nuevas explicaciones.

Las demostraciones sobre la presión atmosférica debían ser impresionantes, debido a que, aunque el aire no se puede ver, este ejerce presión en todas las direcciones con una fuerza de exactamente 1,033 kilogramos por centímetro cuadrado a nivel del mar; es decir, una cantidad impresionante de fuerza. A medida que los estudiantes empezaran a descubrir cómo funciona la presión atmosférica, la Sra. Faulkner confiaba que eso los llevaría a explorar más y a entender mejor otros fenómenos científicos relacionados, tales como la naturaleza del movimiento molecular y los efectos del calor.

A sus alumnos de séptimo año les encantaba ver reacciones químicas, y mientras más impresionantes fueran, mejor. El problema con muchas de las demostraciones en el libro de ciencias es que nunca se explicaban realmente bien los conceptos tras los resultados producidos. Los alumnos lograban predecir lo que ocurriría y siempre encontraban que los resultados eran interesantes y sorprendentes.

Sin embargo, por razones de tiempo, debían avanzar rápidamente a las demostraciones si-

guientes, lo que implicaba memorizar nuevo vocabulario y completar nuevos ejercicios. Por lo general, las demostraciones sobrestimaban el conocimiento y la experiencia de los estudiantes, al tiempo que sutilmente comunicaban la idea de que, si fueran más inteligentes, serían capaces de comprender mejor los resultados. Esta vez, la Sra. Faulkner estaba decidida a lograr que sus estudiantes se pudieran concebir a sí mismos como "constructores de ciencia", y no se limitaran solo a presenciar resultados impresionantes y a memorizar vocabulario para las pruebas.

El día que comenzaron a estudiar la nueva unidad, la Sra. Faulkner colocó frente a la clase un acuario vacío de 38 litros de capacidad, varios vasos de diferente tamaño y una botella de vidrio vacía. Pidió a dos estudiantes que llenaran el acuario con agua. Luego, tiñó el agua del acuario con colorante azul, a fin de que los estudiantes pudiesen distinguir mejor el agua del aire.

La Sra. Faulkner había elegido esta demostración en particular porque creía que era lógico empezar con algo que era muy probable que los estudiantes ya hubiesen visto antes y que, al mismo tiempo, pudiesen cada uno replicar en sus hogares. Tan pronto los estudiantes entraban a la sala, ella les invitaba a unirse al área de trabajo central, la que rodeaba el acuario que se encontraba en la mesa al medio de la habitación.

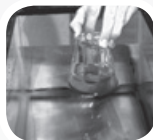


ILUSTRACIÓN 3-1. Se sumerge un vaso pequeño en el agua.

"Es probable que ya les haya pasado esto cuando lavaban platos", les dijo. "Y es muy peculiar". Eligió un vaso pequeño de los muchos que había puesto sobre la mesa y lo sumergió en el acuario de lado, con el objeto de que el aire saliera burbujear. Una vez que el vaso se hundió completamente en el estanque, lo dio vuelta y lentamente lo comenzó a elevar desde

la base hasta que el vaso estuvo casi por completo fuera del agua (ver ilustración 3-1).

Los estudiantes contemplaron como el agua se quedaba en el vaso que se encontraba sobre el estanque, como si se tratase de un acto de magia. Uno de ellos dijo: "Genial, es como si el agua estuviese pegada al vaso". En ese momento, el borde del vaso se despegó de la superficie y el agua se precipitó sobre el estanque. Todos se rieron.

Alguien dijo: "¡Otra vez!" Alliyah dijo: "Hágalo con el vaso más grande para ver si funciona".

"Es una muy buena idea", respondió la Sra. Faulkner. En ese momento, se sentía emocionada de que los niños le estuvieran proponiendo ideas para experimentos, por lo que estaba feliz de que fueran ellos quienes la estuvieran guiando. Le pidió a Alliyah que ella misma hiciera el experimento con el vaso más grande, dado que ella había propuesto la idea.

Alliyah colocó el vaso sobre el acuario, lo dio vuelta y dejó que se llenara de agua. Cuando levantó lentamente la parte posterior del vaso, se podía ver como el agua venía adentro (ver ilustración 3-2).



ILUSTRACIÓN 3-2. Se saca un vaso grande invertido del agua.

"¿Podemos probar con un vaso más grande?", preguntó Eriziah, "¿O con una probeta?"

"Toma la probeta y prueba, Eriziah", le dijo la Sra. Faulkner. Al igual que con los otros dos vasos, el agua se quedó en la probeta a medida que Eriziah la sacaba del estanque (ver ilustración 3-3).

"Entonces, ¿qué es lo que ocurre en este caso? ¿Qué hace que el agua se quede dentro del vaso?", preguntó la Sra. Faulkner. Nadie contestó. Pero luego, Daniel dijo: "¡Succión! ¡El agua es succionada hacia el vaso como cuando se chupa líquido por una bombilla!"

## Clase de Ciencias

La Sra. Faulkner le respondió: "La verdad, Damien, es que muchos adultos hubiesen dicho lo mismo. Dirían que el vacío chupa el agua que se queda dentro del vaso." Sin embargo, te voy a decir un dicho que aprendí en una clase de física en la universidad: "¡La ciencia no saber chupar!" Los niños se largaron a reír.



ILUSTRACIÓN 3-3. Los niños sacan una probeta del agua.

La señorita Faulkner había contemplado que alguno de sus estudiantes sugiriera la succión o aspiración del vacío como la causa. Siempre que enseñaba acerca de la presión atmosférica ocurría lo mismo. La succión les hace sentido a los estudiantes, porque ya conocen cómo funciona. Por ejemplo, tomar bebida con una bombilla se siente como "succionar o chupar" un líquido hacia la boca.

La Sra. Faulkner quería dar a sus estudiantes un poco de tiempo para que pensarán en esta explicación, en vez de decirles simplemente que no era válida. También quería que cuestionaran sus supuestos y que fueran más allá de la idea de succión, la que preferirían porque sonaba más científica. Les dijo que iban a explorar el tema en profundidad y que al final de la unidad ellos y sus padres estarían sorprendidos porque conocerían más sobre la física de la presión atmosférica que la mayoría de los graduados universitarios.

Posteriormente, la profesora preparó rápidamente un plan de acción. Harían una demostración grupal más. Los alumnos, en grupos de a cuatro, trabajarían en las diferentes "estaciones de situación" organizadas en la sala de clases, en las cuales explorarían diferentes escenarios con el aire y el agua. Los alumnos explorarían

brevemente cada una de las estaciones, y luego tendrían que elegir una que estudiarían más a fondo. Cada grupo tendría que redactar un informe para el resto de la clase en donde se explicara que era lo que estaban haciendo en su estación de trabajo.

Después de explicar el plan de acción, la señorita Faulkner le sacó la tapa a un frasco de mayonesa vacío y limpio y les pasó el frasco a los niños mientras les preguntaba qué era lo que estaba dentro. Los alumnos daban vuelta al frasco y lo examinaban detenidamente. Uno de los estudiantes primero lo olió y luego dijo: "Nada". Otro dijo dudando: "¿Aire?"

"Entonces tenemos dos ideas diferentes", afirmó la Sra. Faulkner. "¿Qué piensa el resto de la clase?" Increíblemente los estudiantes tenían ideas diferentes acerca del tema. Algunos pensaban que ambas ideas eran posibles, porque, como afirmó Jessa, "el aire es como nada, excepto cuando hay viento". A medida que los estudiantes compartían sus ideas, la señorita Faulkner las anotaba en un gran trozo de rotafolio, al que le dio como título "Lo que CREEMOS saber sobre el aire". La profesora les recordaba que recién comenzaban la investigación y que lo más probable era que sus ideas cambiaran. También les explicó que era muy importante que anotaran sus ideas, para que después las pudieran revisar con ojo crítico y ver cómo habían cambiado con el tiempo y al obtener más evidencia.

Finalmente, la señorita Faulkner anunció: "Les voy a hacer una demostración más, para así sumar un poco más de información que nos ayude a pensar sobre el aire".

El ejemplo estaba diseñado para mostrar a los estudiantes que el aire ocupa espacio aunque sea invisible. La señorita Faulkner tomó una servilleta de papel, la transformó en una pelota y la colocó en el fondo del vaso grande de manera tal que no se cayera al momento de voltear el vaso. Acto seguido, lo dio vuelta, para que la apertura quedara de frente al agua del tanque (ver ilustración 3-4).

"Voy a meter el vaso en el agua. ¿Qué creen que va a ocurrir? ¿Creen que el papel se va a mojar?"

Todos querían hablar al mismo tiempo. La señorita Faulkner pidió a los estudiantes que hablaran de sus ideas con la persona que estaba a su lado. La sala zumbaba con ideas a medida que los estudiantes comenzaban a hablar entre ellos acerca del experimento que estaban a punto de presenciar. La señorita Faulkner recorrió la sala escuchando las diferentes conversaciones, lo que le sirvió para notar la gama de predicciones que se estaban proponiendo.

ILUSTRACIÓN 3-4. Vaso invertido parcialmente sumergido con la servilleta de papel en forma de bola. ¿Se mojará el papel?



Luego de unos minutos, les pidió a los alumnos que mirarán hacia adelante e invitó a diferentes grupos a que compartieran sus predicciones, mientras iba escribiendo en la pizarra. Había cuatro tipos distintos de predicciones:

1. El vaso se llenará de agua y el papel se mojará.
2. Un montón de agua entrará al vaso, pero el papel no se mojará.
3. Un poco de agua entrará al vaso, pero el papel no se mojará
4. No entrará agua al vaso y el papel no se mojará.

La Sra. Faulkner pidió a los estudiantes que votaran, levantando las manos, por la predicción que les pareciera mejor. Luego, les explicó que el objetivo de la votación no era comprobar la respuesta correcta, sino entregarles una idea de lo que sus compañeros consideraban como el resultado más probable.

La mayoría de los estudiantes votaron por la predicción 1, muchos por la 2, y unos pocos eligieron la 3 y la 4. Luego, la señorita Faulkner pidió a los estudiantes que explicaran las razones detrás de sus pronósticos. Les dejó claro que podían cambiar de parecer en cualquier momento si escuchaban algo que los hiciera reconsiderar su opinión. Avril fue la primera en hablar, porque ella y su compañero habían propuesto la primera predicción.

"Al principio creímos que el agua entraría en el vaso, porque, usted sabe, pareciera como que no hay nada adentro", fueron sus palabras. "Pero después escuché decir que alguien ya lo había hecho y que no había entrado agua, por lo que cambié de parecer". Supongo que, como dijo Joanna, hay aire en el vaso, y el aire no deja que entre agua".

Luego fue el turno de otra alumna. Phuong venía de Vietnam y había vivido en los Estados Unidos por solo dos años, pero estaba fascinada con la ciencia.

"Yo dije 4. No creo que el agua entre porque el aire está en todas partes en el vaso pero no donde está el papel".

La señorita Faulkner dijo: "Entonces, ¿estás de acuerdo con Avril? ¿Ustedes dos dicen que el agua no va a entrar en el vaso y que el papel no se va a mojar?" Las dos niñas asintieron.

Phuong prosiguió: "Yo sé que el aire es real. Ocupa espacio y mantiene el agua alejada del papel".

La Sra. Faulkner le pidió a alguien que hubiese votado por la tercera opción (aquellos que creían que un poco de agua entraría en el vaso) que explicara su forma de pensar. Joanna se ofreció de voluntaria.

"Bueno, de hecho, creo que probablemente estoy equivocada, pero yo y Tanika pensábamos que el agua es más pesada y tiene más fuerza que el aire, y que podía forzar al aire a un espacio cada vez más pequeño, hasta el punto de llegar al papel. Pero estamos de acuerdo con lo que dicen Juanita y Avril. Estamos seguros que el papel no se va a mojar".

Para finalizar, la señorita Faulkner llevó a cabo la demostración.

## Clase de Ciencias

Los estudiantes miraban como podían: estirando el cuello y moviéndose de sus asientos a fin de tener una mejor vista del acuario para ver el vaso sumergirse lentamente en el agua (ver ilustración 3-5).

Era difícil distinguir lo que estaba ocurriendo, porque todo se veía azul. Uno de los estudiantes señaló que el papel no se estaba mojando, y que solo entraba un poco de agua dentro del vaso. Alguien más se dio cuenta de que mientras más se sumergía el vaso en el agua, más agua entraba dentro del mismo.



ILUSTRACIÓN 3-5. Vaso completamente sumergido: solo un poco de agua entra.

La Sra. Faulkner sacó el vaso del agua, tomó el papel y se los mostró a todos. ¡Estaba completamente seco! Para probarlo, pasó el papel a los estudiantes.

"Entonces, ¿qué es lo que hemos aprendido con este experimento?", preguntó la señorita Faulkner. "¿Qué predicción calza mejor con el resultado? ¿Por qué no se mojó el papel? Vuelvan a sus asientos, y conversemos sobre esto". Tan pronto se sentó, Jeremy levantó la mano con entusiasmo. La señorita Faulkner esperó pacientemente a que más manos estuvieran arriba. Luego de 10 segundos, le pidió a Tanika que diera su opinión, pues por lo general no se ofrecía para hablar.

"Creo que entendimos que el vaso tiene aire adentro y que el aire impide que el agua entre", dijo Tanika. "Aunque no lo podamos ver, está ahí. Y la razón por la que el agua entró un poco es lo que Joanna y yo estábamos diciendo, que probablemente el agua es más fuerte que el aire, y que lo fuerza hacia un lugar más pequeño".

"¿Puedes explicarnos mejor tu idea?", preguntó la señorita Faulkner.

"Tal vez es parecido a tratar de cerrar una manta a la fuerza. Uno presiona toda la ropa y,

aunque es la misma cantidad de ropa, ocupa menos espacio".

"Es muy interesante la idea de pensar de que la misma cantidad de una cosa ocupa menos espacio", dijo la señorita Faulkner. "Déjame ver si entendí lo que dices. ¿Dices que el aire es presionado por el agua o comprimido?"

Tanika asintió con la cabeza. "Es como que el aire se está aplastando".

La señorita Faulkner agregó "el aire se puede presionar o comprimir" en la tabla sobre "Lo que CREEMOS saber".

"¿Qué otras cosas pensamos que sabemos sobre el aire? Hablen con la persona de al lado acerca de las demostraciones que hemos hecho. Quiero que piensen acerca de todo lo que creen saber sobre el aire. También quiero que hablen sobre los fundamentos que tienen para las ideas sobre el aire y qué tan seguros están de esas ideas.

La señorita Faulkner se paseó entre los estudiantes. Parecía que todos querían hablar, incluso los estudiantes que por lo general evitaban hablar en grupos grandes.

Después de convocar al grupo a una nueva sesión, la profesora decidió comenzar con Jorge y Salizar, quienes estaban seguros de que en todas partes había aire. Ella los había escuchado hablar en español y en inglés, y había oído la palabra moléculas. Pidió a Jorge, el más calmado de los dos, que explicará a qué conclusión habían llegado. La señorita Faulkner se paró al lado de la tabla y les volvió a recordar que ella estaba anotando los "borradores" de las ideas, según ella los denominaba, y que lo más probable es que cambiaran al avanzar la unidad.

Jorge fue el primero en hablar. "Yo y Salizar creemos que en todas partes hay aire. Moléculas pequeñitas".

Salizar, por su parte, dijo: "Leí en un libro que las moléculas son tan pequeñas que no se pueden ver sin un microscopio".

La señorita Faulkner escribió: "El aire está en todas partes; está hecho de moléculas pequeñas". Otros estudiantes también compartieron sus ideas. Joanna habló por ella y por Sherrie.

"Bueno, nosotras estamos y no estamos de

acuerdo. No creemos que haya aire en el espacio. Tal vez hay aire en la tierra, pero no en todas partes. No estamos completamente seguras de que haya aire en la luna, pero sabemos que no hay aire en el espacio. Por eso los astronautas tienen que vestir trajes espaciales". Todos se rieron.

La señorita Faulkner dijo: "¿Quieren que cambie la tabla de 'Lo que CREEMOS saber'?"

Jorge sugirió añadirle "en el planeta Tierra" a la aseveración "el aire está en todas partes".

Shanita fue la siguiente. "El aire es un gas, ¿no? No es un líquido ni un sólido. Las moléculas siempre están moviéndose muy, muy rápido. Aprendimos eso en sexto, pero no me acuerdo de la diferencia entre las moléculas y los átomos".

La señorita Faulkner anotó estas ideas, con signos de preguntas después de "luna" y "átomos". Sentía que la clase había comenzado muy bien. Dirigió su atención hacia una tabla mucho más pequeña, en la cual se mostraban los ocho grupos asignados y las estaciones en las que se especializaban. En la sala había cuatro tipos de estructuras diferentes que contenían aire y agua y que incluían botellas de bebidas, tazas y papel, bombillas y probetas pequeñas. Les indicó a los estudiantes que tendrían 5 minutos para utilizar cada una de las diferentes estaciones. Luego, tendrían 15 minutos adicionales en la estación que se quisieran especializar, y al día siguiente volverían a esa estación. Dado que había dos versiones diferentes de cada estación, cada uno de los ocho grupos tenía su propia mesa para explorarla en detalle.

Durante 20 minutos, los estudiantes pasaron de estación en estación en bloques de 5 minutos y, cuando la alarma de la señorita Faulkner sonaba, se veía que no les gustaba tener que abandonar la estación donde estaban. Cuando llegó el momento de especializarse, los estudiantes se reunieron alrededor de sus estaciones designadas y comenzaron a trabajar. No solo tomaron notas, sino que también hicieron dibujos en sus cuadernos de laboratorio mientras hablaban con mucho entusiasmo.

Luego de 15 minutos, sonó la campana. Los estudiantes estaban tan entusiasmados con el



trabajo en sus estaciones que no querían parar. La señorita Faulkner estaba muy contenta, y les dijo que tendrían más tiempo al día siguiente.

En los días posteriores, cada uno de los grupos trató de explicar lo que estaba ocurriendo en sus estaciones correspondientes. Además, cada grupo preparó un afiche en el que mostraban el ejercicio en acción y trataban de explicar qué empujaba a qué. Cada grupo hizo una presentación frente a la clase, y los estudiantes en el público hicieron preguntas, cuestionaron, compartieron sus comentarios y ofrecieron sugerencias de acuerdo con lo que habían descubierto en sus propias estaciones. La señorita Faulkner se aseguró de que el debate se mantuviera girando en torno a qué empujaba qué, en cuál dirección y cuál era el cambio que se producía.

Una vez que el último grupo presentó, la señorita Faulkner les anunció a los alumnos que quería tratar de consolidar lo que habían descubierto. La tabla sobre "Lo que CREEMOS saber" estaba llena de anotaciones que los estudiantes habían hecho por cuenta propia, tales como "el aire empuja hacia arriba y hacia abajo y hacia los lados", "el aire tiene más fuerza que el agua" y "el aire se puede apretar para que ocupe menos espacio". Todavía, como era de esperar, habían explicaciones que utilizaban la noción de vacío o succión.

La Sra. Faulkner le señaló a la clase que ella iba a hacer una nueva tabla llamada "el Muro de los hechos científicos aceptados".

Les dijo a los estudiantes: "Estas son ideas sobre el aire que la comunidad científica actualmente acepta como hechos ciertos". Luego, señaló que algunos de los hechos eran iguales a las ideas que los alumnos habían contem-

# Clase de Ciencias

plado, mientras que otros se habían demorado cientos de años en descubrir. Algunas de las ideas, explicó, pueden ser difíciles de creer.

"Voy a presentar unos datos y vamos a ver si los entendemos y los aceptamos o si todavía tenemos preguntas". Dijo a sus alumnos que, hace cien años, un muro de datos sobre el aire hubiese sido muy distinto, pero en cien años más desde hoy es probable que también se vea muy diferente. "Todavía podríamos agregar más hechos, o parafrasearlos un poco a medida que avanzamos con nuestra unidad, pero estos están a otro nivel que aquellos en la tabla de "Lo que CREEMOS saber".

De los hechos que ella había anotado en la tabla de "Certezas aceptadas", había una que ya habían propuesto los alumnos: el aire se encontraba en todos lados, aunque no se pudiera ver. Ella les confirmó que estaba hecho de partículas muy pequeñas, llamadas moléculas de aire, que son tan ínfimas que ni si quiera se podrían apreciar con un microscopio normal. Como Shanita dijo, las moléculas de aire siempre están moviéndose muy rápido y en todas las direcciones.

La señorita Faulkner demostró este hecho apuntando a la parte de abajo de su mentón y tapándose la nariz. Explicó que el aire estaba presionando hacia todos lados con igual fuerza, en la parte de adelante y atrás del lóbulo de su oreja y en las partes exteriores e interiores de sus narices. "¡De no ser así, nuestros orificios nasales colapsarían (ella apretó más) y no podríamos respirar!". Por lo que hay tanta presión atmosférica dentro de las orificios nasales como afuera. Si algo no se mueve, eso no significa que no haya presión atmosférica. En realidad, significa que las fuerzas del aire están equilibradas y empujan con la misma fuerza en todas las direcciones. Por lo tanto, las moléculas están saltando para todos lados: para arriba, para abajo, para el lado, en cada centímetro de nuestro cuerpo. Sin embargo, lo siguiente es realmente importante: los científicos no afirman que las moléculas de aire quieran moverse o decidan moverse. Sencillamente se mueven. No quieren ni tratan ni desean moverse. No hay intención o conocimiento. No es como si hubiera

una puerta abierta y decidieran salir por ella. En vez de eso, se empujan unas a otras y chocan contra una pared, rebotan y, por casualidad, salen disparadas por la puerta". Ella escribió en la tabla de "Certezas aceptadas":

- Las moléculas de aire siempre se están moviendo, pero sin intención ni conocimiento.
- Las moléculas de aire se mueven muy rápido hacia todas partes, pero no se adhieren a las otras, por lo que no pueden tirar, solo empujar.

Luego, la señorita Faulkner agregó algunos otras "certezas sorprendentes", como le gustaba llamarlas. Les dijo a los niños que los científicos siempre afirman que nosotros vivimos en el fondo de un océano de aire. "Los científicos consideran que tanto el aire como el agua son fluidos. Los fluidos empujan hacia todas partes: arriba, abajo, izquierda y derecha, tal como lo vimos en las estaciones de trabajo. Y cuando se está en la presencia de aire y agua, hay más presión y más fuerza a medida que uno trata de ir más profundo. ¿Se acuerdan que cuando más adentro estaba el vaso en el acuario, más difícil era presionarlo?" Los estudiantes asintieron.

Shanita dijo: "Sí, y también me acuerdo que cuando metimos un vaso vacío dado vuelta en el acuario y lo tratamos de empujar, más aire se presionaba o, um, ¿se comprimía? Parecía como si el agua tuviera más fuerza lo más profundo llegaba el vaso".

"Esta es otra demostración de la forma en que la presión de un fluido es mayor mientras mayor sea la profundidad", dijo la Sra. Faulkner. "El aire también es un fluido. Las moléculas de aire en el fondo del "océano de aire" se aplastan, o comprimen, al nivel del mar debido al peso de todas las moléculas de aire sobre ellas. ¡De hecho, a nivel del mar, hay un poco más de 1 kilo de aire que ejerce presión en cada centímetro cuadrado de tu cuerpo! ¿Quién puede pensar en algo que pese eso mismo, un poco más de 1 kilo?

Eriziah dijo: "¡Una caja de leche de un litro pesa eso!". "¿Qué tal seis manzanas todas juntas?", preguntó Shanita.

"Sí, pero estoy hablando de un poco más de un kilo por centímetro cuadrado, no olvidemos

eso", dijo la señorita Faulkner. "Un hombre adulto se somete a una fuerza de unos 45.000 kilos de aire que presiona su cuerpo en todas partes: arriba, abajo, izquierda y derecha. Luego, dibujó 1 centímetro cuadrado en su brazo con marcador azul. "En ese pequeño cuadrado, hay 1 kilo de aire presionando justo aquí. Es como si en la superficie de la tapa de una botella de agua pusieramos el peso de seis manzanas juntas""

"¿Por qué no lo sentimos?", preguntó Erizah.

"Buena pregunta", dijo la señorita Faulkner. "No lo sentimos porque estamos acostumbrados. Nuestros cuerpos, y cada ser vivo en el planeta, han evolucionado para sobrevivir en estas condiciones. Por ende, es algo normal para nosotros. Sin embargo, el cambio en la presión del aire es lo que causa que tus orejas se destapen cuando escalas una montaña o vuelas en un avión. Si uno toma un globo que uno infló a nivel del mar y lo lleva a una ciudad como La Paz que se encuentra a más de 3800 metros sobre el nivel del mar, el globo se agrandará ahí, porque habrían menos moléculas de aire golpeando el globo desde fuera y, por ende, habrían menos resistencia afectando a las moléculas dentro del globo. Unos pocos estudiantes volvieron a meditar sobre la primera demostración, la que para muchos tenía que ver con la succión.

"Espere un momento", profirió Damian. "¿Usted dice que el agua es empujada dentro del vaso y no succionada?"

La señorita Faulkner pidió un voluntario que pudiese decir con sus propias palabras lo que Damian había afirmado. Erizah se ofreció.

"Damian dijo que el aire no fue succionado hacia dentro del vaso como cuando se succiona al vacío, que era su primera idea".

La señorita Faulkner asintió con la cabeza. "Pero, ¿por qué no puede el agua ser succionada hacia dentro del vaso? ¿Por qué no puede el aire que se encuentra dentro del vaso succionar el agua?"

La señorita Faulkner utilizó su truco de contar en silencio hasta diez antes de hablar, con el fin de dar a los estudiantes un tiempo.

Finalmente, Tanika levantó la mano: "¿Puede ser porque las moléculas de aire se mueven tan

rápido, como sale escrito en el muro de los hechos, que no pueden jalar, solo empujar? Luego se detuvo. "Entonces, ¿el aire no puede succionar o jalar? ¿solo puede empujar?"

"Ahora estoy entendiendo, creo", afirmó Damian. "¿El aire que se encuentra en la superficie del agua del acuario es lo que empuja el agua dentro del vaso? Es como si el aire forzara o aplastara el agua para que entre en el vaso. ¿Es por eso que cuando uno le pega al agua ésta salpica?"

"¿Puede alguien recordar cuánta presión hay? ¿Cuánta era la fuerza que había en un centímetro cuadrado de agua en el acuario?"

Jorge buscó en el muro de los hechos y contestó: "Un poco más de 1 kilo por centímetro cuadrado de aire empujan el agua hacia dentro".

Luego, la señorita Faulkner les mostró otro ejemplo que dibujó en la pizarra (ver ilustración 3-6). En vez de recurrir a un vaso normal, darlo vuelta y empujarlo hacia el acuario, utilizaron un vaso que tenía una apertura de 1 centímetro, parecido a un jarrón rectangular. Sin embargo, el agua en el vaso pesaría igual que una columna de agua que mide lo mismo. Claramente, eso depende de la altura de la columna de agua, porque mientras más agua haya en la columna, más pesará. De cualquier manera, no había forma alguna de que una columna de agua de 4 centímetros fuera a pesar 1 kilo. Como resultado, la presión que el aire iba a ejercer en la superficie del agua mantendría el agua en el vaso. El dibujo de la señorita Faulkner lucía de la siguiente forma:

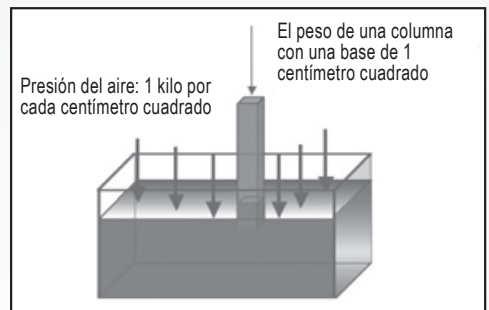


ILUSTRACIÓN 3-6. Diagrama de la presión atmosférica hecho por la señorita Faulkner.



# Clase de Ciencias

Phuong hizo una pregunta que la señorita Faulkner no había previsto: "¿Cuánto pesaría el agua en un jarrón de 4 centímetros de largo?" La señorita Faulkner decidió dejar que Phuong guiara el debate y se diese el tiempo de explorar la pregunta. Ella sentía que podía ser útil para sus estudiantes calcular el peso de una columna de agua de 1 cm por 1 cm, porque a partir de eso podrían concebir la presión de forma más general como una razón de fuerza por área.

Les pidió a sus estudiantes que propusieran formas de investigar la respuesta a la pregunta de Phuong. Nuevamente, la señorita Faulkner anotó las propuestas, con la confianza de que algún alumno propondría una solución que se pudiese asignar como tarea para la casa. Los alumnos ofrecieron diferentes propuestas:

- Tomamos un contenedor vacío de 1 cm cúbico para pesarlo y luego lo llenamos con agua y le restamos el peso del contenedor. Posteriormente, multiplicamos eso por 4, es decir, por el largo en centímetros.
- Medimos el acuario detalladamente, para averiguar cuántos centímetros cúbicos contiene, y luego lo pesamos vacío y con agua. A continuación, le restamos el peso del contenedor y dividimos el total por el número de centímetros cúbicos. Finalmente, multiplicamos esto por 4.
- ¡Mejor le preguntamos a un científico!
- Tomamos un jeringa y la llenamos con el número de mililitros de agua que serían equivalentes a un centímetro cúbico de agua y pesamos la jeringa, con y sin agua.

Al final, y ante el asombro de la señorita Faulkner, Salizar gritó: "¡Lo buscamos en Google!" Se acercó al computador y buscó en Google el peso de un centímetro cúbico de agua y en menos de cinco segundos dijo: "¡Lo tengo!". El agua pesa 1 gramo por centímetro cúbico; es decir, 10 centímetros cúbicos de agua son equivalentes a 10 gramos. La señorita Faulkner anotó los resultados en la pizarra. Shanita agregó: "Eso es mucho menos que la presión de 1 kg por centímetro cuadrado que el aire ejerce". La señorita Faulkner volvió a la pregunta original de Phuong. "¿Cuánta pesa el agua en un

jarrón de 4 centímetros de largo? Todos dense un minuto para averiguar esto y luego discutan el problema con el compañero de al lado".

En los primeros momentos, cuando los alumnos se encontraban trabajando, reinó el silencio, pero al rato comenzaron a debatir. Dos de los estudiantes compartieron su trabajo: dibujaron 4 centímetros cúbicos, uno encima del otro, y multiplicaron los resultados de Phuong de 1 gramo por 1 centímetro cúbico, lo que les dio como resultado 4 gramos de agua. Todos concordaron en que ese era el peso de la columna de agua de 4 centímetros de largo.

Jason preguntó si es que habría más fuerzas empujando el agua hacia dentro del vaso en un acuario grande, dado que había más gramos de aire en total en la superficie del agua. "O, ¿qué pasaría si se tratase de una piscina gigante llena de agua?"

"Jason ha formulado una pregunta realmente importante", indicó la señorita Faulkner. "Él preguntó si es que habría más presión atmosférica presionando el agua en un estanque más grande, o en una piscina, o en el océano. La comunidad científica nos diría que la presión sería la misma en todos los centímetros cuadrados, por lo que no importa la cantidad de agua. Lo que importa es el peso del aire por área de unidad". Les recordó que la presión era siempre una razón, es decir, una relación entre dos cosas: fuerza por área. La señorita Faulkner sabía que el concepto de razón era importante en la ciencia, y que la clase había pasado una gran cantidad de tiempo aprendiendo acerca de razones y utilizando diferentes analogías comprenderlas.

Esta vez, la señorita Faulkner usó una analogía que se relacionaba directamente con la presión. Pidió a sus estudiantes que imaginaran a todas las niñas del curso caminando por el jardín en taco alto, y luego que las compararan caminando con zapatillas planas. Todos imaginaron al instante que las niñas dejarían una marca más profunda en el suelo si caminaban con tacones altos.

"Uno pesa lo mismo, pero el tacón está presionando en un área mucho más pequeña". La presión corresponde a una razón: la fuerza que hay respecto a un área". Luego, la señorita

Faulkner volvió a hablar sobre al acuario. "Por ende, aun cuando la superficie del agua sea gigante, lo que importa es cuántas moléculas de aire ejercen peso por cada centímetro cuadrado de la superficie del agua y con cuánta fuerza. No importa donde uno se encuentre, sea a nivel del mar o en las montañas, no es necesario calcular el área de la superficie de un contenedor, o de una piscina, o de un lago inmenso, porque cada centímetro cúbico tiene exactamente la misma cantidad de presión atmosférica".

Al cabo de un momento, Monica preguntó: "¿Qué tan largo puede llegar a ser un vaso que sacamos del acuario? ¿Qué tan lejos puede el aire empujar la columna de agua?"

"¿Puede llegar hasta el espacio?", alguien preguntó.

Salizar respondió automáticamente: "No puede llegar hasta allá, porque solo hay 1 kg por centímetro cuadrado empujando hacia abajo. Si el agua pesara más de 1 kg por centímetro cuadrado, no se quedaría arriba. ¡El agua ganaría la batalla de las fuerzas!"

"Entonces, ¿Qué tanto puede el aire empujar el agua?", preguntó Monica.

"No tengo la respuesta a esa pregunta", confesó la señorita Faulkner. "Sin embargo, estoy segura de que lo podemos averiguar. ¿Alguna idea que nos sirva de punto de partida? ¿Qué es lo que tenemos que saber?" El silencio se apoderó de la sala. Finalmente, Tanika preguntó: "¿Cuántos centímetros cúbicos de agua se necesitan para... um, pesar más que la presión atmosférica... algo así como más de 1 kg?"

Casi como queriendo terminar la oración de Tanika, Mónica inquirió: "¿Como cuántos centímetros cúbicos de agua pueden empujar hacia abajo en ese punto para ganarle a la presión de aire que fuerza al agua hacia arriba?"

Phoung contestó: "Creo que ya entiendo. Es como si la presión de aire estuviera empujando hacia abajo en la superficie del acuario en todos lados, como una pieza de madera laminada que presionan con muchísima fuerza contra la superficie. Después hacemos un agujero de un centímetro cuadrado. Y justo en este punto, en ese centímetro cuadrado, no hay aire, no hay

nada; es decir, no hay presión empujando el agua hacia abajo. ¡Por lo que el agua pasaría hacia arriba por el agujero! Si tuviésemos un vaso de 1 centímetro, el que parecía jarrón, entonces el agua pasaría por ahí. Mientras más sube la columna de agua, más pesada se pone, y en algún punto, al pasar un tiempo, el agua pesaría tanto hacia abajo como el aire que la empuja hacia arriba. Hasta ahí puede llegar". Después de una larga pausa, dijo: "Entonces, ¿cuántos de los centímetros cúbicos de Salizar podemos apilar uno encima del otro? ¿Cuántos serían equivalentes a 1 kg?"

"Phoung está en lo correcto al preguntar cuántos centímetros cúbicos podemos apilar uno encima del otro para lograr la cantidad de aire equivalente a la presión de 1 kg por centímetro cuadrado", concluyó la señorita Faulkner. "En realidad se trata de un tema de equilibrar las fuerzas. Es como un balancín. Tenemos a alguien en un lado que pesa 1 kg. Ese alguien es la presión de aire. En el otro lado, tenemos una columna de agua de 1 centímetro cuadrado. Con lo que ya hemos averiguado, veamos si pueden encontrar la altura que la columna de agua debería tener. Y, lo que es más interesante, veamos si pueden encontrar una forma para probar si nuestros cálculos son correctos. Piensen acerca de eso hoy por la noche y mañana hablaremos del tema".

Al día siguiente, los alumnos habían calculado que el aire podía sostener una columna de 1000 metros. Habían utilizado diferentes métodos, pero el más simple era partir desde lo que dijo Salizar: un centímetro cúbico de agua pesa 1 gramo. Luego se divide 1 kilo (1000 gramos) por 1 gramo (por centímetro cúbico) y se llega a 1000 centímetros cúbicos. Esa es la cantidad de centímetros cúbicos de agua que se pueden apilar uno encima del otro para lograr el equivalente a 1 kilogramo. Luego, dividieron eso por 100 con el objeto de determinar los metros, lo que les dio como resultado 10 metros.

La señorita Faulkner celebró la dedicación de los alumnos y los resultados que obtuvieron. Realmente habían cambiado su pensamiento conceptual en muchos sentidos.

## *Examinar el cambio conceptual en las moléculas en movimiento*

En la unidad de moléculas en movimiento, los estudiantes comenzaron compartiendo algunas ideas sobre el aire recogidas de sus propias experiencias. Por ejemplo, algunos estudiantes comenzaron la unidad creyendo que el aire era nada, excepto cuando uno lo podía sentir como viento. Para la mayoría de los estudiantes, los ejercicios donde utilizaron la presión del aire implicaron aprender a partir de conceptos que ya sabían sobre el aire. Este es el primer tipo de cambio conceptual que se describió en el capítulo.

Luego de pedir a los estudiantes que contribuyeran ideas para la tabla sobre "Lo que CREEMOS saber sobre el aire", la señorita Faulkner les presentó nuevas afirmaciones sobre las moléculas de aire. Los estudiantes tuvieron que abordar y lidiar con estas afirmaciones para tratar de comprender y explicar por qué el agua se quedaba en el vaso volteado cuando se sacaba de un acuario lleno de agua. Después del primer debate grupal y de ejemplos, todos los estudiantes estaban seguros de que el aire era algo; algo que ocupaba espacio en un vaso aparentemente "vacío". "Algo" es un concepto con el que los alumnos entran y que expanden hasta incluir el aire, una vez que se convencen de que el aire efectivamente es algo. Este es un avance importante en su educación y en su comprensión de la materia. Ayudar a los estudiantes a concebir el aire como algo tan solo requirió una pequeña intervención pedagógica.

En este punto, los estudiantes comenzaron a repensar y reestructurar la red de conceptos que tenían sobre el aire, las moléculas, las fuerzas y la presión, lo que constituye en sí el segundo cambio conceptual al cual ya antes nos habíamos referido. Se debatieron en conjunto muchas preguntas, conjeturas e ideas divergentes. Durante el transcurso de muchos días de investigación y debate, los estudiantes aprendieron a aceptar y aplicar la noción de que la presión del aire empujaba el agua hacia dentro del vaso, y que los niveles asimétricos de la presión dentro de un sistema podrían ayudar a predecir el resultado de tal movimiento. Esto trajo consigo cambios en sus ideas sobre el aire, la forma en que empuja hacia todos lados y la magnitud de la fuerza con la que empuja.

A la larga, ya sea con la señorita Faulkner o en cursos posteriores, los estudiantes seguirán construyendo nuevos niveles de explicación, lo que corresponde al tercer nivel de cambio conceptual. En otras palabras, llegarán a entender la teoría atómico-molecular y la podrán utilizar para explicar los fenómenos, como la presión del aire. Los estudiantes también aprenderán a comprender explicaciones materiales más complejas. Una vez que manejen las explicaciones macroscópicas, seguirán profundi-

zando en la teoría atómico-molecular y llegarán a una explicación sobre el cambio de estado y el movimiento a nivel molecular. También aprenderán que la teoría molecular es una idea básica y aplicada en muchas instancias que les puede ayudar a darle sentido a procesos en otras áreas del saber. Los fundamentos que se estudiaron en la clase de la señorita Faulkner serán de suma importancia para triunfar en años posteriores.

¿Qué actividades de aula y técnicas pedagógicas específicas reforzaron la reorganización conceptual de los estudiantes? En primer lugar, es importante notar que la señorita Faulkner comenzó la unidad reconociendo y haciendo honor al conocimiento mundano de los alumnos, para a partir de este adaptar y corregir ideas preconcebidas y enseñar nuevos conceptos. La profesora convenció a sus alumnos de que el aire es materia y que ocupa espacio sin tener que decirles directamente, sino que los dejó apreciar cómo no entraba agua en un vaso vacío que se sumergía en un estanque. Aunque no podían ver el aire, sí pudieron apreciar la fuerza que ejercía sobre el agua.

También pudieron ver que el aire se podía comprimir o, como ellos mismos los describieron, "se podía aplastar". Los alumnos pudieron observar un chorro pequeño de agua entrar al vaso, lo que era una evidencia de que el agua estaba forzando al aire a ocupar un espacio más pequeño. A pesar de que no vieron las moléculas, la idea de la presión les permitió darle sentido a la idea de que el aire puede ser comprimido en menos espacio.

En las estaciones de situación, los estudiantes realizaron diferentes experimentos y actividades que los ayudaron a explorar y a revisar nuevas formas en que el aire y el agua interactúan. Estas experiencias les entregaron conocimientos personales y grupales que pueden integrar, considerar y utilizar para generalizar conceptos.

Las demostraciones fueron diseñadas para que los estudiantes pudiesen contar con pruebas de que el aire presiona hacia arriba, abajo, derecha e izquierda, y que tiene las propiedades de un fluido. Ellos experimentaron el fenómeno de la presión diferencial en un campo gravitacional (mientras mayor profundidad, mayor presión) en una columna de aire o agua. Los ejercicios también les brindaron a los estudiantes la oportunidad de trabajar sus ideas y esclarecer sus dudas. Trabajar en grupos pequeños significó que todos tuvieran tiempo para probar sus ideas y escuchar las de sus compañeros. Esto los ayudó a preparar la presentación sobre la demostración que tenían que compartir con el resto de la clase. Trabajar en las estaciones les dio a los estudiantes la oportunidad de manipular los materiales, pensar sobre los resultados contrarios a la lógica y preparar la presentación de sus ideas a otros. Es esencial

contar con tiempo para pensar, hacer y dialogar si lo que se busca es la comprensión de ideas complejas, especialmente si esas ideas exigen la transformación de nuestra forma común de pensar.

### *Construir la comprensión a lo largo de los años*

Claramente, las aptitudes de los niños de corta edad en las cuatro ramas se encuentran considerablemente limitadas. Ellos tienen poco conocimiento de los diferentes materiales, de las cantidades físicas tales como el peso o el volumen, y de las formas de adquirir conocimientos en las ciencias. Puede ser que conozcan algo acerca de los objetos que enfrentan en el día a día, pero su experiencia con otros materiales o sus transformaciones es limitada. Por ejemplo, pueden rebatir la idea de que un objeto que se quebró en muchas partes todavía sigue siendo el mismo material, porque ya no se "ve" como el objeto original. No conocen muchas de las características más perdurables y esenciales de los materiales (tales como la densidad, los puntos de ebullición y derretimiento, la conductividad termal y eléctrica, y la solubilidad).

Además, la comprensión que tienen los niños de corta edad acerca del mundo material se basa en sus experiencias conceptuales: aquello que pueden ver, sentir y tocar. Por ejemplo, ellos piensan en el peso como algo que se puede tocar con las manos. Por ejemplo, consideran que una pieza de plumavit no pesa "nada" porque no ejerce presión en la mano. Ellos confían casi completamente en lo que sienten, porque no pueden diferenciar entre el peso y la densidad.

Aunque los niños pueden tener las capacidades y destrezas necesarias para aprender ciencia, las personas no generan conocimiento científico de la nada. El desarrollo de estas primeras ideas sobre la materia, en las que no se considera ni que la masa ni que el volumen sean propiedades distintivas, claramente requiere instrucción académica formal sobre la teoría atómica para llegar a transformarse en una comprensión sofisticada. Las personas tampoco generan comprensión científica profunda de otros dominios centrales de forma espontánea. Por ejemplo, la teoría de la evolución, aunque fundamental para la ciencia moderna, puede ser muy difícil de comprender. Muchos niños y adultos aceptan muchas concepciones erradas sobre esta teoría.

Las complejidades de la ciencia y de su aprendizaje son reales. Reconocer esto es igual a conceder que la buena enseñanza de las ciencias exige un gran conocimiento por parte de los profesores, un excelente programa de estudio, sistemas eficaces de apoyo y asesoría, y mucho más tiempo y atención del que se les dedica actualmente. Esto puede ser muy abrumador.

Aunque las complejidades de la ciencia implican enfrentarse a importantes desafíos pedagógicos, la interrelación que existe en las ciencias hace posible enfocar y simplificar el currículo y la enseñanza de otras maneras significativas. En ciencias, se puede organizar la enseñanza en torno a un número reducido de conceptos. Estos "conceptos centrales" tienen mucho poder explicativo y se pueden enseñar y adquirir año tras años en formas cada vez más complejas. En el siguiente capítulo, veremos cómo este proceso puede funcionar no solo en la teoría atómico-molecular, sino también en otras disciplinas científicas.

### *Fuentes de lectura complementaria*

- BAILLARGEON, R. (2004). How do infants learn about the physical world? *Current Directions in Psychological Science*, 3, 133-140.
- DISSA, A., Y MINSTRELL, J. (1998). Cultivating conceptual change with benchmark lessons. En J. Greeno y S. Goldman (Eds.), *Thinking practices* (pp. 155-187). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- INAGAKI, K., Y HATANO, G. (2002). *Young children's naive thinking about the biological world*. Nueva York: Psychology Press.
- KUHN, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? En U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371-393). Oxford, Inglaterra: Blackwell.
- KUHN, D., Y FRANKLIN, S. (2006). The second decade: What develops (and how)? En W. Damon y R. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (6° ed.). Nueva York: Wiley.
- LEHRER, R., Y SCHAUBLE, L. (2002). Symbolic communication in mathematics and science: Co-constituting inscription and thought. En E.D. Amsel y J. Byrnes (Eds.), *Language, literacy, and cognitive development: The development and consequences of symbolic communication* (pp. 167-192). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- METZ, K.E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65, 93-127.
- METZ, K.E. (2004). Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219-290.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Foundations for science learning in young children. Capítulo 3 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 53-92). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.



## CAPÍTULO 4

# Organizar la educación de las ciencias en torno a los conceptos centrales

Para adquirir un conocimiento arraigado de las explicaciones científicas sobre el mundo natural, los estudiantes deben contar con numerosas oportunidades para profundizar y construir sobre la base de los conceptos que respaldan las explicaciones y, al mismo tiempo, para comprender las conexiones que existen entre ellos. No obstante, muchos de los programas curriculares de ciencias consisten en un conjunto de temas aislados a los que se les confiere la misma importancia. Se les presta escasa atención a la manera cómo se puede lograr que los estudiantes construyan un concepto a medida que pasan de curso. Si a los estudiantes siempre se les presentan nuevos conceptos, pero a los estudiantes no se les enseña a conectarlos con otras ideas, nunca lograrán darle sentido a los conocimientos conceptuales que vayan adquiriendo.

Las investigaciones sugieren que un enfoque más eficaz con respecto al aprendizaje y enseñanza de las ciencias es enseñar los conceptos centrales de las ciencias durante años y no solo durante semanas o meses. Estos conceptos centrales ofrecen una estructura organizada para el aprendizaje de nuevos hechos, prácticas y explicaciones, y preparan al estudiante para que comprenda más y sea capaz de formar parte de investigaciones científicas más serias durante la enseñanza media, la universidad o incluso durante su vida profesional o personal.

Se han propuesto otras alternativas para organizar el programa curricular y la enseñanza de las ciencias en torno a periodos largos de tiempo. Es importante diferenciar entre estas propuestas y las propuestas que se basan a partir de conceptos centrales. Por ejemplo, la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia (AAAS por sus siglas en inglés) ha propuesto una serie de temas que se extienden a lo largo de los currículos de las ciencias. Estos corresponden a constancia y cambio, modelos, sistemas y escalas.



Estos temas tienen un alcance mucho más amplio que las ideas centrales y no parecen tener cimientos claros en las ciencias. Los conceptos centrales son ideas científicas que han sido comprobadas y validadas; además, se les considera ser primordiales para las disciplinas. Algunos ejemplos de los conceptos centrales en las ciencias son la teoría atómico-molecular de la materia, la teoría de la evolución, la teoría celular y las leyes de fuerza y movimiento de Newton; todas estas ideas se consideran fundamentos de las ciencias. Cada concepto integra diferentes hallazgos y es la fuente de coherencia para muchos conceptos, principios e incluso otras teorías claves de la disciplina. También sirven de guía para nuevos estudios y pueden entenderse en formas progresivamente más complejas.

Cada uno permite establecer vínculos creativos entre diferentes disciplinas. Por ejemplo, los análisis atómico-moleculares son importantes para la física, la química, la biología y la geología. Los biólogos trabajan con las moléculas de ADN para entender los patrones en el código genético y desentrañar las relaciones entre las especies. Los químicos buscan las leyes que gobiernan las interacciones entre las moléculas de enlaces químicos recién formados o divididos. Asimismo, los equipos de expertos en diferentes disciplinas, incluyendo a químicos y biólogos, toman mucha de la información de la ciencia molecular para crear medicamentos que puedan combatir contra las moléculas (o células) nocivas para la salud sin afectar al resto.

#### *Ejemplos de conceptos centrales de las ciencias*

- Teoría atómico-molecular de la materia
- Teoría de la evolución
- Teoría celular
- Leyes de la fuerza y movimiento de Newton

El uso propuesto de los conceptos centrales y el progreso del aprendizaje aún requieren el respaldo de más investigaciones y avances de parte de los docentes de ciencias, los científicos y los investigadores en pe-

dagogía. Una comunidad de educación científica deberá identificar las ideas centrales, y deberá desarrollar y poner a prueba progresiones de aprendizaje específicas en las clases.

Aquí definimos lo que son las progresiones de aprendizaje y brindamos un ejemplo de cómo se podrían estructurar a lo largo de la educación básica. Este es un cambio radical con respecto a las prácticas actuales en la sala de clases. Muchos de los docentes y los sistemas escolares no están en una posición como para embarcarse en un cambio integral de sus programas curriculares de las ciencias. Por lo tanto, al final de este capítulo reflexionaremos acerca de los pasos que se pueden tomar de inmediato a nivel de clase y colegio.

## *Desarrollar los conceptos centrales a lo largo del tiempo*

Organizar la enseñanza de las ciencias en torno a conceptos centrales que brindan un contexto específico para el aprendizaje es un cambio significativo respecto a las prácticas actuales que se llevan a cabo en el aula. Los profesores de ciencias deben trabajar juntos para definir los objetivos a largo plazo que desean para sus estudiantes. Estos objetivos deben considerar que los estudiantes necesitan oportunidades para aprender a lo largo de varios años para así profundizar los conocimientos que tienen de los conceptos científicos. Es necesario analizar en detalle cómo las experiencias específicas en la educación básica se acumulan y contribuyen al aprendizaje de los estudiantes, y cómo se debe apoyar a los profesores para que logren este objetivo.

En este modelo de enseñanza, los conceptos centrales que se enseñan serían considerablemente menos que los que se enseñan ahora o que aquellos que se mencionan en los estándares o documentos curriculares. Esto permitiría a los profesores y los formadores de docentes enfocarse en desarrollar y perfeccionar su propio conocimiento de un número más reducido de conceptos científicos centrales. Asimismo, un profesor de un curso de enseñanza básica debería preocuparse no solo de la "porción" de la idea central que debe enseñar en su curso en particular, sino que también de cómo los alumnos aprenderán estas ideas durante la enseñanza básica. Por lo tanto, los profesores de ciencias y aquellos que los forman (a nivel de distrito, escuela y universidad) tendrán que construir estructuras y procesos sociales que sirvan para respaldar el intercambio de conocimientos e información relacionada con los conceptos centrales a lo largo de los diferentes cursos.

Dado que las ideas centrales están estrechamente ligadas a las prácticas científicas, puede que los profesores también necesiten una base sólida de conocimientos científicos y excelentes habilidades de enseñanza para guiar y ampliar las experiencias de los estudiantes. Nuevamente, los docentes de ciencia tendrían que trabajar juntos para asegurarse de que las prácticas de enseñanza complejas que se describen aquí estén respaldadas con oportunidades de aprendizaje profesional sistemáticas y constantes a lo largo de las carreras de los profesores. Un currículo excelente, fundado sobre ideas centrales, es solo uno de los muchos cambios importantes que se necesitan.

Los profesores de ciencias, al mismo tiempo que identifican y promueven objetivos a largo plazo y los vínculos relacionados con los conceptos centrales, deberán determinar objetivos a corto plazo para los estudiantes que impliquen una comprensión más inmediata. En cada curso y cada año, los profesores tendrán como objetivo enseñar ideas in-

termedias específicas, siempre atentos a la manera en cómo estas ideas se relacionan con los conceptos más sofisticados que los estudiantes estén utilizando en ese momento para construir conocimiento. Por ejemplo, más adelante en este mismo capítulo, se describe una actividad de nivel intermedio para la enseñanza de la teoría atómico-molecular en segundo año de educación básica. En este nivel, no se utilizan las palabras "átomos", "moléculas" ni "teoría". En vez de eso, se construyen una los fundamentos conceptuales necesarios para que los estudiantes aprendan la teoría atómico-molecular de manera progresiva con el paso de los años.

A pesar de que la mayoría de los establecimientos y sistemas escolares tienen cierto control sobre los currículos de ciencias, a corto plazo, el profesor y los pequeños grupos de docentes científicos verán nuevas oportunidades de organizar las clases de manera tal que los estudiantes aprendan las ideas centrales a lo largo del año. A medida que se implementa este enfoque en las escuelas y distritos, los currículos de ciencia se pueden organizar, de forma progresiva, en torno a un número determinado de conceptos científicos claves, los cuales se vinculan a lo largo de los distintos años escolares.

### ***Los conceptos centrales con respecto a los estándares y parámetros de referencia***

En la década de los noventa, las comunidades encargadas de las materias que se enseñaban durante la enseñanza escolar básica y media diseñaron marcos para guiar al estado y a las autoridades locales en el diseño curricular. Esta comunidad estaba compuesta por investigadores en educación, diseñadores de programas curriculares, científicos, formadores de profesores y docentes. Estos marcos se convirtieron en las *Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias (NSES)*<sup>1</sup> y en los *Parámetros de Referencia para la Alfabetización Científica*<sup>2</sup>. Asimismo, las autoridades locales y estatales crearon estándares, currículos y evaluaciones cuyo propósito era alinear los estándares nacionales.

La creación de estándares y parámetros fue un paso importante hacia la construcción y establecimiento de valores en común para la enseñanza escolar de las ciencias. Estos estándares lograron asentar marcos en común. Los estándares estaban más o menos basados en estudios sobre el proceso de aprendizaje en niños y los análisis de prácticas científicas. Ahora contamos con una base de investigaciones más completa para brindar información a los profesores de ciencias y con una noción más clara que permite valorar la importante función que cumplen estas investigaciones.

Los estándares actuales a nivel nacional, estatal y de distrito no proveen una base adecuada para el diseño de progresiones eficaces en los programas curriculares. Hay muchas razones detrás de esto. En primer lugar, contienen muchos temas. Cuando las NSES fueron comparadas con los programas curriculares de países que participaron en el Tercer Estudio Internacional de las Matemáticas y las Ciencias, se descubrió que las NSES exigían enseñar una gama más amplia de temas que los currículos de países con buenos resultados<sup>3</sup>.

En segundo lugar, ni las NSES ni los parámetros identifican los temas más importantes en el aprendizaje de las ciencias. Al comparar a las NSES con los currículos de otros países, queda en evidencia que entregan muy pocas instrucciones sobre cómo hilar los contenidos de un año al otro. A medida que organizamos el currículo en torno a ideas centrales, debemos volver a cuestionarnos algunos temas que fueron dejados de lado al momento de la creación de los estándares actuales. ¿Qué áreas de estudio son claves para el aprendizaje futuro de los estudiantes? ¿Cuáles de estas áreas de estudio científico pueden los estudiantes, a lo largo de la educación básica y más allá, explorar de maneras que les hagan cada vez más sentido y, a la vez, vayan aumentando su dificultad? ¿Qué áreas de las ciencias pueden aplazarse sin problemas hasta la educación media o universitaria? Estas no son preguntas fáciles de responder. Las respuestas requieren un esfuerzo colectivo, un interés permanente y una dedicación por parte de los implicados.

Finalmente, las NSES y los parámetros entregan poca información sobre cómo la participación de los estudiantes en las prácticas científicas pueden integrarse con el aprendizaje de conceptos científicos; es decir, no describen cómo la comprensión de conceptos científicos debe asentarse en la práctica científica.

Además, a pesar de que las NSES y los parámetros reconocen la importancia de las primeras tres ramas del aprendizaje de las ciencias, cada rama se describe por separado. Por lo tanto, no se aborda el tema crucial de cómo las ramas se relacionan y cómo funcionan en conjunto.

A pesar de que existe una base de estudios sólida que respalda las premisas de organizar las ciencias en torno a conceptos centrales, uno debería estar consciente de que solo en unos pocos estudios se ha examinado el aprendizaje de conceptos centrales a lo largo de años. Por lo tanto, se sigue sin una respuesta para algunas preguntas: ¿cuáles son los mejores conjuntos de conceptos centrales?, ¿cómo deberían distribuirse y organizarse a lo largo de la educación escolar? y ¿cómo la enseñanza de los mismos debería hilarse año a año? Sin embargo, queda muy claro que las futuras correcciones a los estándares nacionales de las ciencias y la interpretación

de estos estándares a nivel estatal y local por parte de los desarrolladores curriculares deberían reducir de manera sustancial el número de temas que se estudian y ofrecer explicaciones claras del conocimiento y las prácticas que se pueden trabajar desde el jardín infantil hasta octavo año.

### *Utilizar los conceptos centrales para instaurar progresiones de aprendizaje*

En investigaciones se ha indicado que una de las mejores maneras para que los estudiantes aprendan los conceptos centrales de las ciencias es que estas ideas se estudien de manera progresiva durante varios años. Esto es lo que se conoce como "progresiones de aprendizaje". Las progresiones de aprendizaje pueden comenzar en el jardín infantil y terminar al final de la enseñanza media o incluso después; de hecho, podemos seguir aprendiendo acerca de los conceptos centrales de la ciencia durante toda nuestras vidas. Si el dominio de un concepto central de las ciencias es la meta final educacional, las progresiones de aprendizaje son el camino que se debe seguir para lograr llegar a esta meta.

Las progresiones de aprendizaje para la enseñanza de las ciencias en la educación básica están ancladas, por un lado, a los conceptos y capacidades de razonamiento que los niños traen consigo al colegio y, por el otro, a lo que se espera que los estudiantes que terminan la educación básica sepan acerca de las ciencias. Los conceptos más eficaces y apropiados sobre los cuales instaurar las progresiones de aprendizaje son aquellos que son centrales a la disciplina de las ciencias, aquellos a los que los estudiantes de jardín infantil pueden acceder, y aquellos que pueden explorarse a lo largo de la educación básica. Una progresión de aprendizaje bien diseñada incluye las ideas y principios esenciales de base necesarios para entender los conceptos centrales de las ciencias. Dado que las progresiones de aprendizaje se extienden a lo largo de muchos años, los educadores tienen dilucidar cómo presentarán los temas de cada año escolar de modo que se desarrollen de manera progresiva y sirvan de apoyo entre sí.

Las progresiones de aprendizaje tienen muchos otros beneficios posibles. Pueden hacer uso de la información de los estudios sobre el proceso de aprendizaje de los niños para determinar el alcance y secuencia de un programa curricular. Pueden incorporar las cuatro ramas de las competencias científicas. Dado que se organizan en torno a conceptos centrales, los estudiantes se dedican a estudiar preguntas e investigaciones relevantes acerca del mundo natural. Sugieren la edad más adecuada para presentar los conceptos centrales. Por último, sugieren las herramientas

y prácticas más importantes para evaluar la comprensión.

En este capítulo, examinaremos una progresión de aprendizaje basada en la teoría atómico-molecular de la materia. La idea de que toda la materia está compuesta de átomos y moléculas es un concepto científico central que todos los estudiantes deberían dominar. Además, permite integrar diferentes hallazgos científicos y explicar los que de otra manera serían aspectos indescifrables del mundo físico. Permite formar relaciones entre diferentes disciplinas científicas, como por ejemplo la física, la química, la biología y la geología. Exploramos esta progresión de aprendizaje a modo de ilustrar

los niveles intermedios de comprensión a los que se llega en diferentes etapas del currículo de la educación básica y la manera en que esta comprensión tiene su base en las ciencias y en las investigaciones sobre aprendizaje. Queremos que esto sirva como un ejemplo que se puede seguir perfeccionando, probando y emulando con el fin de crear progresiones de aprendizaje en otras áreas de estudio.

La progresión de aprendizaje en este capítulo está dividida en tres etapas: desde el jardín infantil a segundo año de enseñanza básica, desde tercero a quinto año de enseñanza básica, y desde sexto a octavo año de enseñanza básica<sup>4</sup>. Para cada etapa se entrega un estudio de caso que se enfoca en uno o más de los conceptos pertenecientes a la teoría atómico-molecular. Esta progresión de aprendizaje se diseñó de manera tal que los estudiantes pudiesen responder de forma cada vez más refinadas a las siguientes preguntas:

1. ¿De qué se componen las cosas y cómo podemos explicar sus propiedades?
2. ¿Qué cambia y qué no cuando las cosas se transforman?
3. ¿Cómo lo sabemos?

#### *Algunos beneficios de las progresiones de aprendizaje*

- Requieren un razonamiento detenido acerca de los conceptos fundamentales que deben desarrollarse antes de que un estudiante pueda dominar un área científica en particular.
- Incitan a los educadores a pensar en cómo los temas se les presentan en cada curso y año tras año, para que se desarrollen y conecten entre sí.
- Se puede hacer uso de la información de los estudios sobre el proceso de aprendizaje de los niños para determinar el alcance y se secuencia de un programa curricular.
- Se pueden incorporar las cuatro ramas de las competencias científicas.
- Logran que los estudiantes participan con preguntas relevantes e investigaciones sobre el mundo natural.
- Sugieren las edades más adecuadas para presentar los conceptos centrales.
- Pueden sugerir las herramientas y prácticas más importantes para evaluar la comprensión.

En una progresión de aprendizaje bien diseñada sobre la teoría atómico-molecular no se mencionarán ni los átomos ni las moléculas en los primeros años de colegio. La noción de átomos, sustancias químicas y cambios químicos son ideas complejas que toman tiempo aprender, desarrollar, comprobar, expandir y corregir. Estas ideas son muy avanzadas para la mayoría de los niños, a pesar de que algunos pueden haber escuchado acerca de los átomos y las moléculas y pueden haber utilizado estos términos o haber preguntado sobre ellos. El punto es hacer hincapié en el objetivo de comprender conceptos, lo que es muy diferente a solo memorizar vocabulario y definiciones. Al no hacer hincapié en los términos técnicos en los primeros años de estudio, el profesor evita enviar a los estudiantes el mensaje incorrecto de que la ciencia se trata solo de memorizar términos y definiciones para fenómenos que en realidad no entienden.

Incluso en los últimos años de la educación básica, es posible que los estudiantes aún no estén listos para entender la idea de que toda la materia está compuesta por átomos y moléculas. Primero necesitan adquirir una comprensión sólida de la materia a nivel macroscópico. Por lo general, una de las transiciones más difíciles por la que deben pasar los niños durante la educación básica es hacer un vínculo entre los procesos macros y los fenómenos microscópicos. Por ejemplo, los estudiantes de enseñanza básica pueden creer que, a nivel molecular, la madera se verá como pedazos pequeños de madera, en vez que como un conjunto de moléculas. A los estudiantes les toma muchos años discernir las sutilezas de la comprensión de los componentes básicos de la materia (átomos y moléculas) y cómo se combinan para crear unidades más grandes.

Es importante recordar que una progresión de aprendizaje no es una secuencia única. Las diferentes clases y cursos, e incluso los estudiantes dentro de una misma clase, pueden seguir caminos diferentes para entender los conceptos centrales de las ciencias. Existen diversas maneras de entender que toda la materia está compuesta por átomos y moléculas.

El siguiente estudio de caso trata sobre una clase de alumnos de jardín infantil que se encuentra investigando las ideas de que los diferentes objetos están hechos de diferentes materiales, de que hay una diferencia entre los usos de cada objeto (su función), de que están hechos con diferentes materiales (el tipo de material), y de que estos materiales tienen propiedades que se pueden analizar, examinar y describir.

# LA CAJA SORPRESA (DESDE EL JARDÍN INFANTIL A SEGUNDO BÁSICO)<sup>5</sup>

"¿Están listos para embarcarse en una investigación con una caja sorpresa junto a mí?", Shawna Winter preguntó a sus 22 alumnos de jardín infantil que estaban reunidos alrededor de ella. Todos los niños celebraron felices. "Miren todos los distintos utensilios para comer que traje de mi casa". Señaló dos juegos de cucharas y tenedores idénticos hechos de tres materiales diferentes. Cada juego estaba ordenado en línea frente a un baúl de madera un poco más grande que una tostadora eléctrica. La caja estaba cerrada con un candado grueso; junto a la caja había una llave atada a una cinta larga (ver las ilustraciones 4-1 y 4-2).

"Un juego de estos utensilios será mío, y el otro será de ustedes", dijo la Sra. Winter. Rápidamente estableció con los niños los nombres de los utensilios y los materiales de los cuáles estaban hechos. "Entonces", dijo a modo de conclusión, "tenemos una cuchara de plástico, una cuchara de madera y una cuchara de metal, al igual que un tenedor de plástico, un tenedor de madera y un tenedor de metal".

"Ahora me voy a llevar todo mi juego de utensilios", dijo, al tiempo que tomaba una fila de cucharas y tenedores y los guardaba en una bolsa. "Después voy a tomar un utensilio, solo uno, de mi juego y lo pondré en la caja sorpresa. Cierren los ojos. ¡Sin mirar!" Todos los niños del jardín infantil se taparon los ojos.

La Sra. Winter se dio vuelta, abrió la caja sorpresa, eligió un utensilio de su bolsa y lo puso en la caja que luego cerró con el candado. El juego de utensilios de los alumnos, los tenedores y cucharas, siguieron en fila frente a la caja sorpresa.

"Ahora abran los ojos", les dijo. "Dentro de la caja sorpresa hay un objeto que tomé de mi juego de utensilios, que es igual que el juego de ustedes. Esto es lo interesante del asunto. Quiero que descifren qué hay dentro de la caja sorpresa solo haciéndome preguntas". Luego, con dramatismo, la Sra. Winter anunció el inicio de la actividad de la caja sorpresa. "Si me hacen preguntas para saber qué hay dentro de la caja sorpresa, les diré la verdad".

ILUSTRACIÓN 4-1:  
La caja sorpresa.



ILUSTRACIÓN 4-2: Utensilios para comer utilizados para la actividad con la caja sorpresa.

"Ya sé", dijo Maya. "¿Es la cuchara de plástico?"

"Es una muy buena pregunta, Maya. ¿Sabes por qué es una buena pregunta? Es una buena pregunta porque...no es la cuchara de plástico". Muchos de los niños se rieron; otros suspiraron con decepción.

"Pero la pregunta de Maya nos ha enseñado algo muy importante", dijo la Sra. Winter. "Sea lo que sea que esté dentro de la caja, no es una cuchara de plástico. Así que significa que ya no necesitamos esta". Tomó la cuchara de plástico del juego de utensilios de los alumnos y la puso sobre otra mesa, lejos de la caja.

La Sra. Winter tomó uno de los palitos de helado en que tenía escrito los nombres de cada uno de los alumnos, para asegurarse de que todos tuvieran la oportunidad de preguntar. El palito que sacó tenía escrito "Carlos".

"Carlos, ¿qué me quieres preguntar?" Carlos era un alumno nuevo.

Había llegado hace solo unas semanas desde Centroamérica. Por unos segundos, no dijo nada. La Sra. Winter y los niños esperaron. Entonces Carlos dijo el objeto, primero en español y luego en inglés.





Marisa, que se sentaba al lado de Carlos, comentó: "Se supone que lo tiene que formular como una pregunta, ¿no?"

"Tienes razón Marisa", dijo la Sra. Winter. "¿Tu pregunta, Carlos, es si es que hay un tenedor dentro de la caja sorpresa? Carlos asintió con la cabeza. "¿Lo puedes formular como una pregunta?"

Carlos preguntó en un inglés rudimentario si había un tenedor.

La Sra. Winter dijo "Carlos quiere saber si es que hay un tenedor. Esa es otra pregunta muy buena, porque lo que hay en la caja sorpresa... no es un tenedor". Los niños se rieron y aplaudieron. "Dado que no es un tenedor, ¿qué sabemos ahora?" La Sra. Winter tomó el tenedor de plástico, el tenedor de madera y el tenedor de metal.

"Ya no los necesitamos", dijeron dos niños.

"Exacto. Porque ya sabemos que no hay un tenedor en nuestra caja, así que podemos deshacernos de todos los tenedores. No puede ser uno de estos". La Sra. Winter sacó los tres tenedores.

"Vaya, acabo de darme cuenta de algo interesante", dijo la Sra. Winter. "Con la pregunta de Maya, nos deshicimos de una cosa, la cuchara de plástico. Con la pregunta de Carlos, nos deshicimos de tres cosas: los tres tenedores. ¿Alguien sabe por qué ocurrió esto?" Nadie respondió. La Sra. Winter esperó.

Al fin, Catalina, que por lo general no hablaba mucho, levantó su mano. "Carlos preguntó por todos los tenedores, y Maya solo preguntó por el de plástico, la cuchara de plástico".

"¡Excelente! ¿Quién escuchó lo que dijo Kelly?" Varios niños levantaron la mano.

"¿Alguien puede explicarme con sus propias palabras lo que dijo Kelly? ¿Sí, James?"

"Dijo que la pregunta de Carlos era acerca de todos los tenedores. Maya preguntó solo por una cuchara, la cuchara de plástico. Es como que obtuvimos tres respuestas con una sola pregunta".

"¿Eso es lo que nos decías Kelly?" La alumna asintió.

"Muy bien, realmente están pensando hoy. Puedo ver el humo que les sale por las orejas. Veamos quién es el siguiente. ¿Lassandra?"

"Tiene que ser una cuchara", gritaron algunos niños.

"Ya, ¿pero cuál?, ¿de qué está hecha la cuchara?", preguntó la Sra. Winter. "¿Lassandra?"

"¿Es la cuchara de madera?"

"Esa es una muy buena pregunta. ¿Saben por qué? Porque, realmente, es la cuchara de madera". Los niños gritaron de alegría. La Sra. Winter fue a buscar la llave. "¿Entonces creen que adentro hay una cuchara de madera? ¿Qué tan seguros están?"

"Un millón por ciento", dijo Jason. Con cuidado y con dramatismo, la Sra. Winter sacó el candado y abrió la caja sorpresa: ¡era la cuchara de madera! "Felicitaciones", dijo la Sra. Winter. "Solo haciendo preguntas, sin poder ver el contenido, ustedes han descubierto lo que hay en la caja sorpresa". Los 22 alumnos empezaron a aplaudir.

La actividad de la caja sorpresa parece ser estar muy lejana al tipo de investigaciones científicas que los niños harán en cursos más avanzados con relación a la estructura atómico-molecular de la materia, pero en realidad tiene muchas similitudes. Los estudiantes están utilizando sus habilidades de razonamiento para realizar inferencias sobre algo que no pueden ver. Están pensando en cómo formular preguntas y en cómo aprender de las preguntas que otros formulan. Están aprendiendo que los diferentes tipos de pregunta pueden brindar diferentes cantidades de información. Quizás lo más importante es que están aprendiendo que obtener la respuesta correcta no es lo único que importa en una investigación científica. La evidencia negativa puede ser muy útil.

Aun cuando la actividad de la caja sorpresa no aborda de manera directa la estructura atómica de la materia, sí permite que los alumnos de la Sra. Winter practiquen ver diferencias, lo que será esencial al momento de comprender la idea de la materia. Sus alumnos están separando el uso o tipo de un objeto (cuchara o tenedor) de su composición o su "tipo de material" (plástico, madera o metal). Parece ser una labor sencilla y, efectivamente, por lo general es una de las cosas que los niños ya dominan antes de entrar al colegio. Pero lo que se busca es que vean claramente la diferencia antes de que puedan comenzar a aprender las propiedades detalladas y la composición microscópica de la materia.

El aprendizaje de las ciencias puede ser muy eficaz cuando se encuentra fundado sobre una actividad que permite formular varias predicciones, explicaciones o posturas. En ese escenario, los niños tienen razones para "debatir" (estar de acuerdo o en desacuerdo) y respaldar sus opiniones con evidencia. En estas fructuosas actividades, los estudiantes están participando en investigaciones científicas reales, aunque aun necesitan del apoyo y guía del profesor.

Por ejemplo, es la profesora la que centra y dirige la actividad de la caja sorpresa, pero son los niños los que participan activamente, razonan y proponen teorías. Escuchan con atención a sus compañeros y se apoyan en las ideas que comparten. La Sra. Winter también cumple una función importante al pedir a sus alumnos que aclaren y expliquen sus ideas. La



actividad incluye un debate con todo el grupo en el cual todos participan y tienen el mismo acceso a la opinión de los otros, mientras la ayuda de la Sra. Winter se asegura de que la conversación no se desvíe hacia otros temas. Además, la actividad de la caja sorpresa puede llevarse a cabo de muchas maneras diferentes y puede utilizarse para clasificar diversos objetos a lo largo del año escolar.

La actividad puede ayudar a los estudiantes a cuestionar de manera lógica y a analizar mejor los datos.

La caja sorpresa es una actividad que respalda las prácticas de razonamiento deductivo o lógico. El razonamiento implícito de los estudiantes a medida que completan la actividad es el siguiente: sabemos que lo que está en la caja sorpresa no es una cuchara de plástico. También sabemos que no se trata del tenedor de plástico, el tenedor de metal o el tenedor de madera. Por lo tanto, ya sabemos que lo que hay dentro de la caja sorpresa debe ser una cuchara de metal o una cuchara de madera, porque son las únicas opciones que quedan.

En contraste, la actividad de medición propuesta en la clase de jardín infantil de la Sra. Martínez (Capítulo 1) sería considerada como una "investigación empírica". En ese caso, los estudiantes pusieron a prueba una predicción: "Medir con los zapatos puestos sí marcaría una diferencia en las mediciones". Tendrían que examinar la evidencia para sugerir un patrón y luego interpretar el patrón para decidir si su predicción era correcta o no. De esa manera, estarían estructurando el mundo (al seleccionar, ordenar y medir los zapatos) para aprender algo sobre él. Tendrían que recolectar datos de mediciones, organizar los datos de alguna manera, y luego decidir, según la evidencia, si es que los zapatos marcan una diferencia o no. Es posible que sea difícil interpretar los datos (la mayoría

de los zapatos son similares pero algunos son muy distintos), y es posible que los estudiantes nunca sepan con certeza la respuesta correcta, en contraste con la certeza que sienten en la actividad de la caja sorpresa.

Las generalizaciones respecto al mundo empírico nunca son certeras. No se pueden "comprobar" conclusiones generalizadas por medio de la observación. Ser



capaz de moderar la incertidumbre es fundamental para el razonamiento científico. La certeza absoluta existe en las matemáticas, no en las ciencias.

Las habilidades que los estudiantes están aprendiendo con la actividad de la caja sorpresa (entender, ordenar y razonar acerca de la información disponible) son claves al momento de formular buenas preguntas e hipótesis. Por supuesto, los alumnos también están aprendiendo a participar en conversaciones y debates con sus pares. Es decir, están aprendiendo las normas de participación de las ciencias y cómo lidiar juntos frente a la incertidumbre.

### *Extender el debate científico*

En este capítulo se hace hincapié en la importancia de trabajar con las progresiones de aprendizaje a medida que se revelan año tras año durante el colegio. Las progresiones de aprendizaje también pueden ocurrir en el corto plazo siempre que las ideas y los conceptos relacionados con las actividades científicas específicas se extiendan y profundicen.

Por ejemplo, en la clase de la Sra. Winter, la actividad de la caja sorpresa a la larga llevó a los estudiantes a investigar los diferentes objetos en la sala de clases que estaban hechos de madera, plástico o metal. Los estudiantes, en pareja, se centraron en un tipo de material e intentaron catalogar, por medio de fotos o palabras, todos los objetos que podían identificar que estaban hechos con ese material. Cuando se identificaban dos o más objeto del mismo tipo, como las sillas, los alumnos contaban y registraban el número total de tales objetos.

En las instancias de reunión grupal, que duraron varios días, los estudiantes informaban acerca de sus hallazgos. Poco a poco surgieron preguntas que llevaron a más investigaciones. ¿Había cada pareja de estudiantes identificado los mismos objetos? ¿Había acuerdos o desacuerdos respecto a algunos objetos? ¿Qué tenían en común todos los objetos de madera, y en qué se diferenciaban? ¿Cómo podían verificar los estudiantes si algo estaba hecho de madera?

Los estudiantes pidieron lupas para poder ver en detalle el material de algunos objetos, y la Sra. Winter incluyó un juego de "bloques de densidad", que constaban de cubos y prismas triangulares del mismo tamaño hechos de diferentes materiales (madera, plástico, metal). Esto permitió realizar muchas actividades de medición y peso, que incluían el uso de una balanza monoplato y un recipiente de desplazamiento de agua (a veces conocido como recipiente "Eureka"). Esto permitió que los estudiantes comenzaran la transición de recurrir y confiar plenamente en observaciones sensoriales (el peso que sienten) a entender la importancia de mediciones estándares. Por lo general, este crucial avance se pasa por alto o no se valora lo suficiente en

la enseñanza y programa curricular de las ciencias. Los estudiantes exploraron la diferencia entre el peso y el volumen e hicieron predicciones acerca de si el peso de los prismas triangulares sería igual que el peso de los cubos; es decir, si el prisma triangular de metal sería más pesado que los prismas de madera y de plástico y la razón tras ese hecho.

Este es solo una de muchas otras maneras de extender la actividad de la caja sorpresa para permitir a modo de que los estudiantes tuvieran más tiempo para estudiar las ideas complejas en diferentes contextos, lo que es una parte esencial e integral de las progresiones de aprendizaje. Los mismos estudiantes pueden generar preguntas sobre los materiales que pueden llegar a ser interesantes de investigar. Los profesores podrían iniciar un debate acerca de los materiales, en donde todos los estudiantes participen y tengan que organizar sus preguntas. Por ejemplo, es posible que los estudiantes pregunten lo siguiente:

- ¿Qué pesa más: el plástico, la madera o el metal?
- ¿Por qué brilla el metal?
- ¿Cuál de los objetos flotaría?
- Si tenemos cucharas de plástico del mismo tamaño, pero de diferentes colores, ¿pesarían lo mismo?

Cualquiera de estas preguntas sería buena para iniciar una lluvia de ideas. Se pueden investigar empíricamente las teorías y predicciones de los estudiantes cuando son anunciadas; por ejemplo, pesar objetos del mismo tamaño pero hechos con diferentes materiales para ver cuáles flotan y cuáles se hunden, o pesar cucharas similares de diferentes colores.

Se debe estar consciente de que estas actividades de seguimiento implican enfrentarse a nuevos desafíos pedagógicos. Por ejemplo, si varios estudiantes pesan objetos del mismo tamaño, es posible que los resultados sean variados. De eso surgirán problemas interesantes y datos a debatir, instancia ante la cual el profesor debe estar preparado. ¿Cómo mostrarán los resultados los estudiantes? ¿Cómo mostrarán las variaciones en los resultados? ¿Cómo explicarán la variación y decidirán qué hacer con ella? Es importante considerar estas preguntas, pues reflejan el tipo de pensamiento que yace en la base del trabajo científico. Asimismo, pueden analizarse de manera eficaz y productiva con los niños. Sin embargo, embarcarse en este camino requiere que el profesor tenga una base sólida de conocimientos sobre las ciencias, sobre las capacidades de los niños, sobre cómo evaluar esas capacidades y sobre cómo estructurar actividades constructivas en clases. En los próximos capítulos volveremos al tema de los conocimientos que deben poseer los profesores y el respaldo para el desarrollo profesional que deben recibir.

# LAS PROPIEDADES DEL AIRE (TERCERO A QUINTO BÁSICO)<sup>6</sup>

Entre tercero y quinto básico, los conceptos de la teoría atómico-molecular comienzan a volverse más complejos. Algunos de los conceptos centrales que son importantes de desarrollar en esta etapa escolar incluyen comprender que:

- Los objetos están hechos de materia que ocupa espacio y tiene peso.
- Los sólidos, los líquidos y los gases son formas de materia y comparten estas propiedades generales.
- Puede existir materia que no se ve a simple vista.
- La materia sigue existiendo incluso cuando se divide en porciones tan pequeñas que no se pueden ver a simple vista.
- La materia y la masa se conservan luego de pasar por muchas transformaciones, como cuando se derrite, se congela o se disuelve.

A pesar de que estas afirmaciones breves resumen los aspectos claves de las ciencias, no reflejan las maneras en que los estudiantes se expresan cuando comprenden la teoría atómico-molecular. Efectivamente, es muy posible que el estudiante que solo memoriza o repite estas afirmaciones sin pensarlo mucho no entienda la ciencia detrás de lo que dice. Los estudiantes deberían ser capaces de describir estos conceptos con sus propias palabras para verificar que los han comprendido, pues el objetivo es que entiendan los conceptos detrás de los enunciados.

Los estudiantes de tercero y quinto básico participan en distintas prácticas científicas. Formulan preguntas, hacen predicciones, diseñan y llevan a cabo investigaciones, representan e interpretan los datos, plantean modelos y presentan argumentos que respaldan las conclusiones. Además, las prácticas científicas de los estudiantes en cursos más avanzados de educación básica se tornan más complejas en muchos aspectos. Los estudiantes, al contar con una teoría de medición, pueden participar en prácticas cada vez más complicadas en donde se miden y representan gráficamente los resultados, pues ya no dependen de meras mediciones sensoriales. Por lo tanto, los estudiantes parten de la idea que tienen de área para explorar el volumen de sólidos rectangulares, adquieren una mayor precisión en la tarea de medir por medio de una comprensión general de las unidades de medición y fracciones, y construyen gráficos que muestran la relación entre el volumen y la masa, en vez de mostrar cada propiedad por separado.

Veremos varias de estas prácticas en uso al examinar lo que ocurre en un curso de tercero básico que se encuentra estudiando las propiedades del aire.

Los alumnos de tercero básico de Reggie Figueroa se encontraban llevando a cabo una investigación científica que involucraba pesar aire<sup>7</sup>. En semanas anteriores, habían pesado y medido diferentes tipos de objetos y materiales, habían predicho cuáles objetos serían más pesado y habían graficado los resultados. Ahora los alumnos se encontraban investigando si es que sería posible pesar el aire. Algunos de los estudiantes estaban seguros de que no sería posible porque "no se puede pesar algo que es nada". Otros no estaban de acuerdo y afirmaban que el aire definitivamente era algo.

Un alumno, Jeremiah, le recordó a sus compañeros de la vez en que cada uno midió la capacidad de sus propios pulmones al soplar en

un tubo insertado en un jarro invertido lleno de agua, el cual estaba hundido en una pecera. Apuntó a un gráfico en la pared en donde se indicaba la capacidad pulmonar, la altura y el pulso de cada estudiante y les recordó que él tenía la mayor capacidad pulmonar, lo que servía como prueba para demostrar que el aire sí existe.

Marisa estuvo de acuerdo con él. Recordaba haber visto su aliento empujar el agua hacia afuera del jarro invertido. "El aire sí es algo. Se podían ver las burbujas de aire que provenían de mis pulmones".

"Además, se puede ver el aire en invierno cuando uno sale y sopla", comentó Jenna. Sopló con fuerza sobre su mano. "Es como el viento. No se puede ver, pero se siente".

## Clase de Ciencias

Para investigar las propiedades del aire, el Sr. Figueroa había traído dos balones inflables y un bombín de bicicleta<sup>8</sup>. Mientras sus alumnos esperaban en el gimnasio, el profesor puso los balones en una balanza y la ajustó para que estuvieran en perfecto equilibrio; luego, sacó los balones. Cuando los niños volvieron del gimnasio, el Sr. Figueroa los llamó e invitó a que se sentaran en la alfombra para dar inicio a una "Reunión en círculo".

"Miren estos dos balones. Ambos son balones similares, del mismo tamaño, pero uno es de un color oscuro y el otro es claro. Cuando los ponga en ambos lados de la balanza, ¿qué creen que va a pasar?"

"Estarán equilibrados", dijo Josefa. Otros estuvieron de acuerdo: "Se equilibran" Otro alumno dijo: "Serán iguales".

"¿Por qué creen eso?", preguntó el Sr. Figueroa. Gemma levantó la mano. "Porque son lo mismo en todo. El mismo tamaño, el mismo, eee, tapiz de cuero, al igual que cuando medimos y graficamos nuestros bloques de densidad. Cuando eran del mismo tamaño y del mismo material, pesaban lo mismo."

Todos estuvieron de acuerdo, por lo que el Sr. Figueroa puso los dos balones sobre la balanza (ilustración 4-3). La balanza se tambaleó un poco al comienzo, pero luego se detuvo en una posición equilibrada.



ILUSTRACIÓN 4-3. Balón oscuro y balón claro en equilibrio.

"Se equilibran. Tenía razón", dijo Gema.

"Muy bien", dijo el Sr. Figueroa, "pero esto es lo que tenemos que investigar hoy. Traje un bombín para bicicletas que me permite bombear, así inflar objetos. Voy a inflar el balón de color claro; bombharemos 15 veces".

Insertó la aguja del bombín en el balón. Bombó 15 veces mientras los niños contaban a voz alta: "uno, dos tres,... trece, catorce, quince". (ver ilustración 4-4.)

"Muy bien, entonces ahora nuestro balón claro tiene 15 bombeadas más de aire en su interior. ¿Eso lo hará más pesado? ¿Más liviano? ¿O pesará lo mismo? Cuando volvamos a poner el balón en el plato de la balanza, ¿bajará?" El profesor se inclinó hacia la izquierda. "¿Subirá?" Esta vez se inclinó hacia la derecha, "o, ¿quedará en equilibrio?"

Muchos estudiantes vociferaron respuestas.

"No me digan nada todavía", les dijo el Sr. Figueroa. "Solo piénsenlo por un minuto". Luego, de inflar el balón dijo: "Muy bien científicos, ¡hagan sus predicciones! ¡Veamos las posturas!"



ILUSTRACIÓN 4-4. Se bombea aire al balón claro.

Cada estudiante se puso de pie y pusieron sus brazos en el aire. Algunos se inclinaron a la derecha, otros a la izquierda; otros se quedaron al centro con los brazos extendidos a cada lado.

Una vez propuestas sus predicciones, se volvieron a sentar. El Sr. Figueroa dijo: "¿Quién quiere empezar?" Esperó con paciencia mientras las manos de los alumnos se alzaban. Finalmente, escogió a Megan, porque sabía que ella diría algo que iniciaría un debate.

"Creo que va a subir, me refiero a que el balón que usted acaba de inflar va a subir", dijo Megan.

"¿Por qué crees eso?"

"Porque el aire hace que las cosas se pongan más livianas, ¿no? Como cuando uno infla un globo y este se pone más liviano. Como que flota".

Muchos alumnos comenzaron a hablar al mismo tiempo. El Sr. Figueroa les recordó que, para que todos pudiesen escuchar, solo una persona debía hablar y no todos al mismo tiempo. "Usemos este balón. La persona que tenga este balón en sus manos puede hablar y el resto tiene que escuchar". Por lo general, el curso del Sr. Figueroa utilizaba un balón que designaba a la persona que podía hablar durante las "reuniones en círculo". Solo la persona con el balón en las manos podía hablar.

El Sr. Figueroa le pasó el balón a Marisa.

"Yo estoy segura de que estará equilibrada, porque el aire es nada. O sea, es invisible. Es como si fuese nada", dijo Marisa. Varios de sus compañeros asintieron y estuvieron de acuerdo. Eduardo había levantado la mano y el Sr. Figueroa lo llamó. Eduardo había nacido en Puerto Rico y había vivido ahí durante la mayor parte de su vida. Su inglés estaba mejorando, pero todavía seguía hablando más español y le costaba hablar la nueva lengua, especialmente cuando tenía que hacerlo a voz alta.

Eduardo trató de decir en inglés que el balón era más pesado porque tenía más aire.

"Entonces déjame ver si entendí tu idea", dijo el Sr. Figueroa. "Lo que quieres decir es que tú crees que el balón será más pesado, que bajará en nuestra balanza, porque tiene más aire, más materia dentro, ¿sí?" Eduardo asintió con la cabeza.

"¿Puedes explicarnos mejor tu idea?" Preguntó el Sr. Figueroa.

Eduardo hablaba despacio y con frecuencia se daba el tiempo de buscar las palabras correctas. Le costaba un poco pronunciar, pero los otros estudiantes esperaban con respeto mientras él hablaba. Los otros alumnos que hablaban español lo ayudaban con palabras cuando no encontraba cómo decir algo. Al final dijo una respuesta donde mezcló de ambos idiomas:

"Once my papi had a flat tire and he use a pump like this. He pump the tire and his truck went up. The air make it to go up. El auto es pesado".

"¡Excelente! Es una observación muy interesante", dijo el Sr. Figueroa. "¿Alguien entendió la observación de Eduardo como para explicarlo en sus propias palabras? ¿Puede alguno de ustedes repetir lo que Eduardo nos dijo?"

Keisha dijo: "Creo que ya entendí, porque lo mismo ocurrió conmigo. Creo que Eduardo nos está contando cuando su papá tuvo que arreglar un neumático desinflado. Cuando lo inflaron, el auto entero subió. Es como cuando se infla un globo. El aire hizo presión contra el neumático y levantó todo el auto".

El Sr. Figueroa volvió a hablarle a Eduardo: "¿Eso es lo que nos decías Eduardo?"

Eduardo asintió con la cabeza.

Billy habló después. "Creo que estoy de acuerdo con Eduardo de que uno está poniendo





# Clase de Ciencias

más cosas dentro del balón, por lo que debería ser más pesado. "Como, si uno lo rellenará con arena o agua, definitivamente sería más pesado. Pero no creo que se puede pesar el aire. Es muy liviano, muy pequeño. Así que creo que igual quedará equilibrado, o quizás será más liviano. ¿Puedo votar por dos predicciones?" Todos se rieron.

"Tenemos diferentes teorías y todas son interesantes. ¿Alguien está de acuerdo o en desacuerdo con estas predicciones?" Los niños levantaron las manos. Uno de los alumnos dijo: "¡Ponga el balón en la balanza!" Entonces otro grupo dijo: "Sí, veamos qué pasa".

"Todavía quiero saber la opinión de los otros", dijo el Sr. Figueroa. "Quiero que todos puedan decir sus predicciones".

El debate continuó por unos 10 minutos más, instancia durante la cual los estudiantes argumentaban su elección por cada una de las alternativas.

Finalmente, el Sr. Figueroa dijo: "Bueno, veamos qué sucede". Se acercó a la balanza que aún tenía el balón de color oscuro en el lado derecho. Cuando estuvo a punto de colocar

el balón de color claro en el plato izquierdo, miró a los estudiantes de nuevo y preguntó: "¿Alguien cambió de parecer? Deben saber que los científicos con frecuencia cambian de parecer después de debatir con otros científicos. Así que una vez más defiendan sus predicciones. ¿Creen que el balón amarillo que inflamamos será más pesado y hará que la balanza se incline a la izquierda, o será más liviano y la balanza se inclinará a la derecha, o quedará la balanza en equilibrio?"

Una vez más, los estudiantes se levantaron y se inclinaron para mostrara su predicción, pero esta vez más votaron por que el balón de color claro sería más pesado. Cuando el Sr. Figueroa puso el balón sobre el plato de la balanza y esta se inclinó a la izquierda. Los estudiantes celebraron.

"¿Entonces qué hemos aprendido?", preguntó el Sr. Figueroa.

"¡Se puede pesar el aire!", dijo Marisa. Luego, después de una pausa, el profesor preguntó: "¿Eso significa que si respiro hondo cuando me subo a una pesa en la consulta del doctor voy a pesar más?"

---

Pesar balones parece ser una actividad muy distante de los experimentos científicos que los estudiantes realizarán en cursos más avanzados, pero esta es en realidad una investigación científica prototípica. Los estudiantes hacen predicciones según las teorías que tratan sobre el comportamiento del aire y utilizan la evidencia que obtienen de sus propias observaciones y experiencia (con globos, neumáticos, arena) para respaldar sus posturas. En otras palabras, están utilizando sus habilidades de razonamiento para inferir acerca de algo que no pueden ver. Organizan el mundo de maneras específicas para poner a prueba sus predicciones, y con minuciosidad rescatan el valor de la evidencia que obtienen. Luego, intentan razonar acerca de lo que han aprendido y buscan otras situaciones en donde este nuevo conocimiento pueda ser relevante.

Tras la actividad con los balones yacen dos ideas importantes que llevarán a una comprensión de la estructura atómico-molecular de la materia: el aire efectivamente es algo, a pesar de que no se vea a simple vista; y el aire tiene masa y se puede pesar. Después, los estudiantes aprenderán que el aire está compuesto de moléculas de aire ínfimas que se encuentran en constante movimiento. Es posible que esto cause confusión en el caso del aire que se pesa en un balón, dado que las moléculas en este caso se mueven constantemente y rebotan en todas las direcciones. Sin embargo, las moléculas que rebotan de un lado a otro se equilibran entre ellas, lo que explica el hecho de que el balón no se mueve de un lado a otro. Además, las moléculas en el balón están siendo atraídas hacia abajo por la gravedad, por lo que aquellas que chocan contra la parte inferior del balón ejercen mayor fuerza que aquellas que chocan contra la parte superior. Por lo tanto, cuando se añade más aire al balón, más moléculas chocan contra el fondo del balón con más fuerza que antes, y es esta fuerza la que se registra en la balanza.

## *Enseñar la teoría atómico-molecular a nivel de segundo ciclo de enseñanza básica*

En la etapa de 6 a 8 año de educación básica, después de lo aprendido y experimentado en los años anteriores, los estudiantes ya están listos para dar un salto conceptual fundamental: explicar una gama de nuevos fenómenos y volver a explicar fenómenos que ya conocen a la luz de los conocimientos que adquirieron acerca de los átomos y moléculas. Estos nuevos conocimientos les permitirán diferenciar a los elementos de los compuestos. Con el tiempo, podrán comenzar a darse cuenta de que hay otros aspectos que considerar al momento de definir la identidad de los materiales, incluida la posibilidad de los cambios químicos. Algunas transformaciones implican cambios químicos (por ejemplo, cuando algo se quema o se oxida) en donde se crean nuevas sustancias, como se puede identificar según sus diferentes propiedades. En otros cambios, como en los cambios de estado, de temperatura o de dimensión, los materiales pueden cambiar en apariencia, aunque las sustancias que los componen sigan siendo las mismas. Los estudiantes pueden describir y explicar el comportamiento del aire y de otros gases. Por lo general, ellos logran entender el poder explicativo de suponer que la materia es de una naturaleza conformada por partículas en vez de ser un continuo.

En las progresiones de aprendizaje se propone que, durante estos años de educación, se les puede presentar a los estudiantes los siguientes preceptos básicos de la teoría atómico-molecular:

- La materia existe en tres estados generales: sólido, líquido y gaseoso, los que tienen diferentes propiedades.
- Los materiales tienen propiedades características, como la densidad, el punto de ebullición y el punto de fusión.
- La densidad se cuantifica como masa/volumen.

A un nivel microscópico:

- Existen más de 100 tipos diferentes de átomos; cada tipo tiene características individuales, en donde se incluye la masa y la manera en que se combina con otro átomos o moléculas.
- Cada átomo ocupa espacio, tiene masa y se encuentra en constante movimiento.
- Los átomos pueden unirse (en diferentes proporciones) para formar moléculas o cadenas, un proceso que implica formar enlaces químicos entre átomos.
- Las moléculas tienen propiedades características que son distintas de los átomos que las componen.

Estos puntos no son meras afirmaciones a memorizar. Más bien, son conceptos complejos que los estudiantes deben adquirir y desarrollar por medio de la experimentación con el mundo natural, por medio de lo que ya saben y han experimentado, y por medio del uso de modelos y representaciones como herramientas de razonamiento. Los estudiantes deberían practicar y utilizar estas ideas en ciclos que comprendan la creación y evaluación de modelos de aprendizaje en una amplia gama de situaciones específicas.

En esta etapa de la educación escolar, los estudiantes pueden comenzar a preguntar lo siguiente: ¿cuál es la naturaleza de la materia y las propiedades de la materia a un nivel microscópico? ¿Existe un conjunto de materiales fundamentales de los cuales se componen otros materiales? ¿Cómo se pueden explicar las propiedades observables a nivel macroscópico de los objetos y materiales respecto a estas suposiciones?

Además, los estudiantes, ya armados con un nuevo entendimiento adquirido gracias a que están conscientes de la existencia de átomos y moléculas, pueden distinguir de manera conceptual entre elementos (sustancias compuestas por un solo tipo de átomo) y compuestos (sustancias conformadas por una estructura de diferentes átomos enlazados en lo que se denominan moléculas). Asimismo, pueden comenzar a imaginar más posibilidades que deben considerarse al momento de estudiar la identidad de los materiales, como la posibilidad del cambio químico.

Los estudiantes deben ser capaces de comprender el concepto de que, aun cuando la materia se divida por la mitad hasta que ya no se pueda ver, sigue existiendo; es decir, el hecho de que no se vea no significa que deje de existir. En investigaciones se ha demostrado que los estudiantes se sienten cada vez más cómodos al momento de considerar este tipo de suposiciones a medida que se alejan de la idea de la materia como una cosa con propiedades que se pueden percibir (algo que se puede ver, sentir o tocar) y comienzan a definirla como algo que ocupa espacio y tiene peso.

Este es un ejemplo de cómo la base que los estudiantes edificaron durante los primeros años de estudio los prepara para teorías más avanzadas que se ven a finales de la educación básica. Los estudiantes de sexto a octavo año de educación básica deben hacer conjeturas sobre la materia y representar lo que es a un nivel que no pueden verla, hacer inferencias sobre lo que resulta de las diferentes suposiciones, y evaluar las conjeturas según el grado en que se ajustan a un patrón de resultados.

En investigaciones se ha demostrado que los estudiantes de segundo ciclo de enseñanza básica son capaces de debatir con entusiasmo acerca de estos temas, especialmente cuando se instalan en un computador pro-

gramas con diferentes modelos para fenómenos desconcertantes y ellos deben identificar cuáles modelos incorporan los hechos. Por medio de este enfoque se logró que los estudiantes con mayor comprensión macroscópica de la materia entendieran que el modelo de partículas discretamente espaciadas era el que mejor incorporaba los hechos (en comparación con otros modelos, tales como los modelos continuos y los modelos de partículas empaquetadas).

Los debates en clase permitieron a los estudiantes establecer reglas más explícitas para evaluar los modelos, los que se evaluaron acuerdo con la coherencia que tenían con respecto a un patrón completo de resultados y según su capacidad para explicar cómo los resultados ocurrieron, en vez de guiarse por las coincidencias en la apariencia de las superficies. De esta manera, los debates ayudaron a los estudiantes a adquirir conocimientos metacognitivos importantes acerca de un modelo explicativo.

La descripción y explicación del comportamiento del aire o de otros gases arroja aun más luces para demostrar el concepto de que la materia es más bien un conjunto de partículas que algo continuo. Por supuesto, estas investigaciones solo son eficaces si los estudiantes entienden que los gases son materia. En las progresiones de aprendizaje se recomienda que los estudiantes comiencen a estudiar esta idea desde el tercer al quinto año de educación básica.

Al mismo tiempo, llegar a comprender el comportamiento de los gases en términos de partículas debería ayudar a consolidar la idea de que el gas es materia y así ayudar a visualizar el comportamiento invisible de los gases. En otras palabras, adquirir nociones macroscópicas y nociones sobre la composición atómico-molecular puede ser mutuamente beneficioso. El respaldo directo de esta suposición proviene de un estudio a gran escala de enseñanza que se llevó a cabo con estudiantes de sexto año de una escuela urbana. En este estudio se comparó la eficacia de dos unidades de un programa curricular<sup>9</sup>. Una de las unidades se enfocó exclusivamente en la enseñanza de elementos centrales de la teoría atómico-molecular, sin abordar las ideas erróneas que los estudiantes pudieran tener acerca de la materia a nivel macroscópico. La otra unidad comprendía enseñanza más directa de los conceptos macroscópicos y microscópicos relevantes y trataba en más detalle la manera en que las propiedades de moléculas invisibles se asocian con las propiedades de sustancias observables y los cambios físicos. La última unidad llevó a un cambio mayor en cuanto a la comprensión de los fenómenos en ambos niveles. Por lo tanto, secuenciar los objetivos de enseñanza para reflejar hallazgos sobre el aprendizaje de los estudiantes tiene considerables repercusiones en la manera como los niños comprenden lo que se les enseña en ciencias.

La enseñanza que se enfoca en trabajar las ideas centrales es particularmente eficaz cuando los estudiantes participan regularmente en debates en clases sobre las diferentes ideas y teorías alternativas. Los debates y diálogos en clases permiten que los experimentos entreguen más conocimiento y hagan más sentido. Por lo tanto, la comprensión de la teoría atómico-molecular debe incluir actividades en las cuales los estudiantes modelen, pongan a prueba y corrijan modelos que describan una amplia gama de situaciones, tales como las diferentes propiedades de los sólidos, líquidos y gases; la expansión termal de los sólidos, líquidos y gases; los cambios de estado; el punto en el que se disuelven; y la transmisión de aromas.

En el siguiente caso, los estudiantes participan en este tipo de debates e investigaciones.

# LA NATURALEZA DE LOS GASES (SEXTO A OCTAVO BÁSICO)

Durante los últimos 10 años, el Club de Investigadores (I-Club) ha buscado establecer un vínculo entre lo que los estudiantes ya saben sobre las ciencias y lo que aprenden de las ciencias en la escuela. El I-Club ha sido utilizado en varias actividades escolares y extracurriculares. En su diseño original, el I-Club es un programa que se lleva a cabo después del horario escolar, tres veces a la semana. En él participan estudiantes de una amplia variedad de trasfondos culturales y lingüísticos, pero en su mayoría corresponden a estudiantes de familias de bajos recursos con un bajo desempeño escolar. Ahora se ha expandido para incluir un programa escolar durante el segundo ciclo de enseñanza básica, como también un currículo de prekinder. En el siguiente caso se presenta un programa extra-escolar del I-Club en el cual participan 25 estudiantes de séptimo y octavo año de enseñanza básica.

Richard Sohmer es el director del programa del Club de Investigadores que se reúne durante 15 semanas a lo largo del semestre escolar. No es necesario pasar ninguna prueba o estar en cierto curso para participar en el programa, pero los estudiantes deben comprometerse a asistir con regularidad, a respetar a sus compañeros y a trabajar con ahínco "para descubrir, practicar y adquirir las habilidades de la investigación científica".

Los estudiantes del Sr. Sohmer se encontraban a medio camino en la investigación de la presión y la naturaleza de los gases. Antes de esta actividad, habían comenzado a aprender acerca de las fuerzas equilibradas y desequilibradas.

Con el fin de demostrar los conceptos relacionados con estas fuerzas, el Sr. Sohmer pidió a dos estudiantes que se pusieran de pie a cada uno de sus lados y que lo empujaran con fuerza pero de manera equilibrada de cada lado. A pesar de sus esfuerzos, no pudieron mover al profesor. Luego, pidió al estudiante a su lado izquierdo que, a la cuenta de tres, diera un paso atrás mientras que el alumno al lado derecho seguía empujando. Como resultado, el Sr. Sohmer se fue para la izquierda trastabillando hasta casi caer.

Esta demostración había dado paso a un debate acerca de cómo los objetos inmóviles estaban constantemente bajo fuerzas equilibradas. Los estudiantes también exploraron la diferencia entre los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Ellos ya habían investigado cómo los estados de la materia provienen de la interacción de la velocidad molecular y la atracción intermolecular.

Fue en este momento de la investigación que el Sr. Sohmer presentó a los estudiantes un número de demostraciones que se podían hacer con materiales cotidianos que ellos ya conocían, y que luego podían mostrar a sus familias. Con cada demostración, los estudiantes predecían lo que ocurriría o intentaban explicar la causa detrás de lo que pasaba.

Con el paso de los años, el Sr. Sohmer había encontrado difícil disuadir a los estudiantes de utilizar la noción de succión o vacío para explicar las demostraciones. A pesar de que los estudiantes sabían que las moléculas de aire no se mantienen juntas ni se enganchan a cosas y que, por lo tanto, no son capaces de tirar nada, con frecuencia proponían la idea de la succión. Para ayudar a sus estudiantes a ajustar su forma de entender el funcionamiento de la presión del aire, el Sr. Sohmer propuso una analogía: una narración sobre la ley ideal del gas. El Sr. Sohmer la llamó la historia de "los perritos de aire".

El Sr. Sohmer dibujó un gran rectángulo en la pizarra. A continuación, le dijo a sus estudiantes que pretendieran que estaban mirando a una gran habitación desde arriba.

"En este cuarto hay una pared especial que divide el espacio en dos. La pared está sobre rieles y ruedas, así que casi no hay fricción".

El Sr. Sohmer dibujó una línea en el medio y marcó los rieles con rojo. Les dijo: "La pared puede moverse fácilmente a la izquierda o derecha si algo la toca. Entonces, si estuviese en el lado izquierdo de la pared y, por accidente, me apoyo en ella, ¿qué ocurriría? (Ver ilustración 4-5).

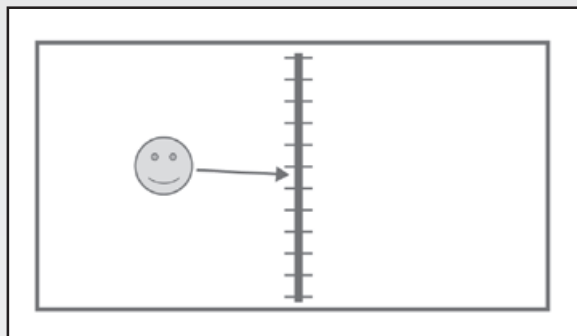


ILUSTRACIÓN 4-5. La pared sobre ruedas del Sr. Sohmer.

"Se moverá hacia allá, se moverá hacia la derecha".

"Cierto. Y seguirá moviéndose hacia la derecha hasta (recuerden que está sobre ruedas que no tienen fricción) que choque contra el otro extremo de la habitación y rebote en la dirección opuesta".

Luego, el Sr. Sohmer contó la historia de los Perritos de aire.

"Imaginen que los perritos de aire representan a las moléculas de aire. Piensen en cómo los cachorros recién nacidos se mueven de un lado a otro constantemente sin dirección ni intención alguna. Se mueven sin cesar, en toda dirección, como moléculas de aire, sin pensarlo, quererlo, planificarlo o escogerlo".

"¿Los perritos de aire respiran aire como los perritos reales?", preguntó uno de los estudiantes.

El Sr. Sohmer respondió con la presentación de un diálogo sobre modelos y cómo éstos nunca son exactamente iguales a las cosas que representan. Los estudiantes dieron ejemplos: los modelos de aviones no vuelan. Los mapas no incluyen los charcos y hoyos que hay en algunos caminos. Un menú no sabe igual que la comida que describe.

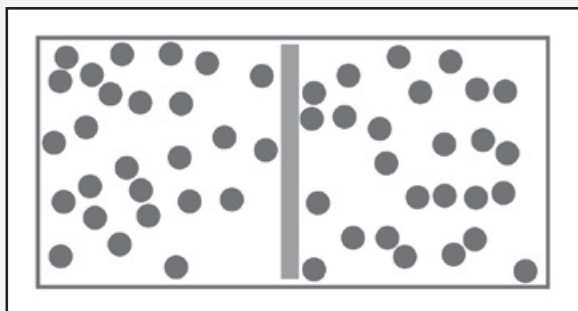
"Los diferentes modelos resaltan diferentes cosas", explicó. "Son útiles de diferentes maneras. Muestran algunas cosas y esconden otras".

Este tipo de debate sobre las ventajas y limitaciones de los diferentes modelos ayudaron a los estudiantes a entender cómo se construye el conocimiento científico y cómo los modelos

centrales forman parte de la construcción y adquisición de tal conocimiento. Los perritos de aire son los agentes que se tambalean sin dirección en un escenario modificable con características específicas (siempre con dos habitaciones separadas por una pared sobre ruedas). El resultado inevitable del movimiento incesante y no intencional de los perritos de aire es un efecto completamente describable, comprensible y válido; es decir, la pared se mueve como debería, dado el impacto de los perritos de aire a ambos lados.

El Sr. Sohmer continuó contando la historia de los perritos de aire. En su primera versión, las dos habitaciones a cada lado de la pared sobre ruedas contienen un número idéntico de perritos de aire, los que se mueven de todos lados y chocan entre ellos y contra las paredes. La pared sobre ruedas se mueve cada vez que uno de los perritos choca contra ella (ver la ilustración 4-6).

ILUSTRACIÓN 4-6. Habitación con perritos de aire vista desde arriba en donde hay la misma cantidad y tipos de perritos a cada lado de la pared.



"Entonces, ¿qué ocurrirá con la pared?"

"Se quedará en el mismo lugar", dijeron algunos estudiantes. Con la ayuda de una película en QuickTime de una animación interactiva de reacciones físicas, el Sr. Sohmer demostró cómo el escenario en la ilustración 4-7 se inició. La pared se quedó aproximadamente en el mismo lugar, oscilando en el eje central (ilustración 4-7).

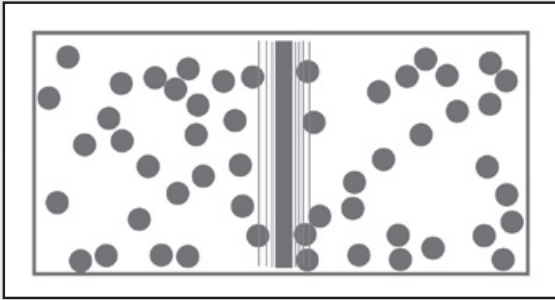


ILUSTRACIÓN 4-7. Con un número equitativo y el mismo tipo de perritos de aire a cada lado de la pared, esta recibe choques continuamente.

El Sr. Sohmer continuó la historia con una variación:

"¿Qué ocurrirá con la pared si tenemos 25 perritos de aire en el lado izquierdo y 10 perritos de aire en el lado derecho?" Dibujó un diagrama en la pizarra (ilustración 4-8).

"Apunten hacia qué lado irá la pared".

Todos apuntaron a la derecha. "Pero no irían todos a la derecha", Jennifer resaltó. "Iría un tercio del total y luego los perritos en el otro lado empezarían a aplastarse".

"¿No se movería la pared adelante y hacia atrás, solo un poco, porque los perritos en el lado derecho seguirían moviéndose y chocando contra la pared?", preguntó Raúl.

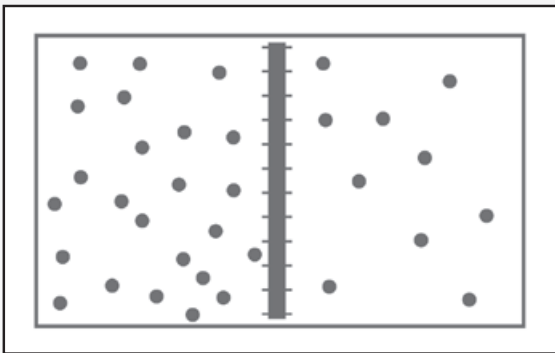


ILUSTRACIÓN 4-8. Habitación dividida con 25 perritos en el lado izquierdo y 10 en el lado derecho.

"¡Muy bien!" "¡Ya están entendiendo cómo funciona este modelo!", dijo el Sr. Sohmer. "A medida que los 10 perritos en el lado derecho se aprietan cada vez más en el poco espacio que va quedando, estos rebotarán aun

más, se moverán cada vez más rápido y chocarán contra la pared más veces. Al mismo tiempo, los 25 perritos en el otro lado seguirán tambaleándose sin dirección. No obstante, a medida que se abre más espacio, cada uno de los 25 perritos tiene, en promedio, más espacio por recorrer antes de chocar contra algo. Pasará más tiempo antes de que choquen contra la pared; es decir, chocarán contra la pared con menos frecuencia. La pared se moverá bastante hacia la derecha, y luego se moverá un poco devuelta a la izquierda. Así continuará hasta que termine balanceándose de izquierda a derecha en un eje que queda un poco a la derecha del eje central".

El Sr. Sohmer tenía otro video en QuickTime que mostraba exactamente lo que ocurriría en esta situación con 15 y 10 en cada lado. Cuando proyectó el video en la pared, los estudiantes vieron cómo la pared se movía a la derecha hasta que los perritos de aire se equilibraron.

"Déjeme hacer una pregunta más", dijo el Sr. Sohmer. "Cuando la pared se movió a la derecha, ¿cómo es que ocurrió? ¿Algo la jaló?"

Se escuchó un coro de voces que decían: "¡No, los perritos en el otro lado la empujaron!"

El Sr. Sohmer continuó el debate con otra variación.

"¿Qué ocurriría si comenzamos con el mismo número de perritos de aire en ambos lados de la pared, pero los perritos en el lado izquierdo, los perritos rojos, están más activos. Están con energía y corren rápido, muy rápido, mientras que los perritos a la derecha, los perritos azules, se mueven con calma y normalidad. ¿Qué creen ocurrirá con la pared?"

"Los perritos que se mueven más rápido chocarán contra la pared más rápido, con más frecuencia y más fuerza, así que la empujarán hacia los perritos más lentos", respondió Sandra.

El Sr. Sohmer mostró otro video QuickTime, esta vez con los perritos rojos moviéndose más rápido que los azules.

"Esto es un resumen ingenioso de lo que es el calor. Los perritos de aire rojos chocan contra todo mucho más que los perritos azules, así que podríamos decir que los rojos están calientes y los azules están fríos. Pero



# Clase de Ciencias

mientras los perritos azules sigan moviéndose, y siempre lo harán, siempre tendrán energía que se considera como calor. ¡Incluso el hielo tiene calor!"

El Sr. Sohmer añadió otra variación a la historia. "Si tenemos la misma situación normal, con 100 perritos en un lado y 100 en el otro, ambos moviéndose con la misma energía, pero hacemos que los perritos a la derecha tengan más espacio. ¿Qué ocurrirá con la pared?"

"La pared se moverá a la derecha", dijo Pedro.

"¿Por qué creen eso?", preguntó el Sr. Sohmer. "¿Qué es lo que hace que la pared se mueva? ¿Está siendo succionada?"

"No, está siendo empujada. Hay más espacio a la derecha, entonces los perritos se tambalean como siempre, pero no chocan contra la pared con tanta frecuencia".

El Sr. Sohmer luego añadió otro aspecto al problema al preguntar a los estudiantes lo que ocurriría cuando cada habitación tenga el mismo número de perritos de aire, pero la habitación a la derecha tiene una puerta abierta (ver ilustración 4-9). Los estudiantes dedujeron que, a medida que los perritos de aire se escaparan por la puerta abierta en la derecha, la pared se correría a la derecha, lo que haría que la habitación a la derecha se achicara y la habitación a la izquierda se agrandara.

"¿Qué ocurre si cerramos la puerta después de ya se han escapado varios perritos de aire del lado derecho?" preguntó Gina. "Va a quedar harto espacio y van a haber varios perritos en el lado izquierdo, luego está la pared que los separa, y después queda un espacio pequeñito al lado derecho en donde casi no quedan perritos. Pero, ¿es posible que la pared destruya a los perritos en el lado derecho?"

"No, no se pueden destruir", dijo el Sr. Sohmer. "Seguirán ahí, tambaleándose y rebotando de lado a lado".

"Al parecer, se llega un punto en que la pared, después de moverse de un lado a otro por mucho tiempo, alcanza un equilibrio. La pared encontrará ese equilibrio bien a la derecha, pero llegará a un punto en que se detendrá".

"Si la pared deja de moverse, ¿significa que no hay más presión, que los perritos ya no chocan contra las cosas?", preguntó el Sr. Sohmer.

"No", dijo Gina. "Creo que entendí. Si la pared no se mueve, solo significa que los perritos chocan con la misma frecuencia, fuerza y presión en ambos lados de la pared. Como cuando dos niños trataron de empujarlo a usted de ambos lados pero usted no se movió. Entonces, ¡creo que usted es como la pared!"

"¡Es verdad!", exclamó el Sr. Sohmer. En la clase reinaron las risas y las especulaciones sobre las otras demostraciones de la presión del aire que los estudiantes habían estudiado.

"Muy bien, esa es la historia de los perritos de aire", dijo el Sr. Sohmer. "Con esa historia, pueden entender una enormidad de fenómenos interesantes e incluso explicar a sus padres cómo funcionan las aspiradoras. Pero para corroborar que han entendido la historia, deben ser capaces de explicársela a otras personas. Así que quiero que todos, cuando lleguen a sus casas, le expliquen esta historia a otra persona; se la pueden explicar a un hermano o hermana, al papá o la mamá, a los abuelos o a cualquiera que esté en casa. También quiero que les expliquen algunas de las demostraciones que hicimos en clases".

El Sr. Sohmer recordó a los estudiantes que la historia de los perritos de aire era una nueva herramienta y que con frecuencia es difícil utilizar bien una nueva herramienta. Pidió a cada uno de sus estudiantes que eligieran una de las demostraciones de la presión del aire que habían visto para que la explicaran frente a la clase. El objetivo, aclaró el Sr. Sohmer, era explicar los eventos de manera tal que incluso una persona que no pudiese ni oír ni ver su presentación del ejemplo podría entender lo que dicen. Los estudiantes en el público escucharon las explicaciones y sugirieron cómo algunos aspectos se podrían explicar mejor. Cada presentador tenía las mismas oportunidades de corregir y repasar su presentación, hasta que todos en el grupo quedaran satisfechos con el resultado.

Después de unas semanas de práctica en grupos pequeños, con el uso del modelo de los perritos de aire en muchas situaciones diferentes, cada grupo seleccionó una demostración y trabajaron con dedicación para llegar a una explicación completa, convincente y clara de todas las fuerzas fortuitas que influyen en esta situación. Tiempo después, las presentaciones

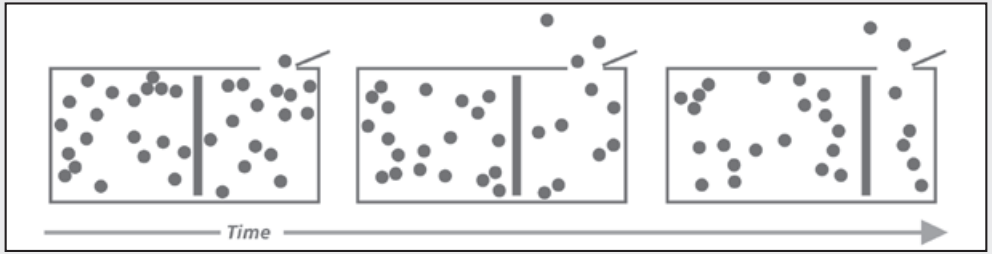


ILUSTRACIÓN 4-9. A medida que los perritos de aire en la habitación derecha se tambalean al alza y salen por la puerta, cada vez menos perritos de aire chocan contra la pared del lado derecho. De este modo, más perritos de aire en el lado izquierdo chocan sin problema contra la pared y la empujan hacia la derecha.

se convirtieron en afiches, los cuales se presentaron en una celebración de la escuela después del horario de clases. Los estudiantes del I-Club también publicaban un boletín mensual del Club de Investigadores, en donde se detallaba el trabajo que habían hecho y describían demostraciones físicas interesantes que podrían reproducirse en casa. Los debates y diálogos que surgían de las demostraciones se reunían en un boletín. Los estudiantes del I-Club crearon textos de enseñanza que se utilizaron para enseñar a los estudiantes más jóvenes y se archivaron en la biblioteca de la escuela. Presentaron su trabajo a adultos en la comunidad y participaron en ferias de ciencias.

Muchos de los estudiantes del I-Club solían tener dificultades al momento de escribir y muchos obtenían bajas calificaciones. Sin embargo, todos decidieron que querían preparar textos de enseñanza. De los 25 estudiantes, 23 se inscribieron de manera voluntaria para participar en las ferias de ciencias, en donde la mayoría presentó proyectos de física en torno a la fuerza de

la presión del aire. De este grupo, 13 estudiantes se encontraron entre los ganadores de la escuela y fueron a competir al concurso de la ciudad.

A pesar de que dijeron que "odiaban escribir en la escuela", los niños del I-Club se esforzaron tremendamente por preparar los textos para la feria de ciencias y los textos de enseñanza. Escribían como "expertos" más que como estudiantes. Trabajaron en equipos conformados por cuatro estudiantes para agregar fotografías y diagramas detallados, dar formato a los textos en el computador, solicitar comentarios de otros grupos y revisar los borradores.

Estas tareas motivaron a los estudiantes a llevar su razonamiento y presentaciones de sus ideas (por escrito y oral) a otro nivel. Sandra, una de las estudiantes del I-Club, lo explicó muy bien cuando dijo: "En la escuela sólo te dan un libro. Es aburrido. Pero en el I-Club, realmente podemos explicar las cosas, incluso hasta llegar al centro del problema. Pero eso nos fue tan bien en la feria de ciencias".

## *Los beneficios de enfocarse en los conceptos centrales y en el progreso del aprendizaje*

Como se sugiere en los casos que se presentan en este capítulo, toma mucho tiempo y esfuerzo presentar a los estudiantes las ideas sobre la teoría atómico-molecular de una manera que les haga sentido. Son muchas las razones que vuelven importante tomarse este tiempo en el segundo ciclo de enseñanza básica por muchas razones.

En primer lugar, comprender la teoría atómico-molecular abre muchos caminos útiles para el estudio de la materia. Por ejemplo, introduce el concepto del cambio químico, lo que en investigaciones se sugiere que no es accesible a los estudiantes que solo cuentan con criterios macroscópicos para identificar las sustancias.

Comprender la teoría atómico-molecular también ayuda a los estudiantes a entender con mayor claridad qué sustancias permanecen tal cual y qué sustancias cambian durante el ciclo del agua. Además, muchos otros temas científicos dependen de la teoría atómico-molecular, como la osmosis, la difusión, la fotosíntesis, la digestión, la descomposición, el ciclo de la materia orgánica, el ciclo del agua y el ciclo de las rocas.

Finalmente, la teoría atómico-molecular da la oportunidad a los estudiantes de comenzar a desarrollar una comprensión y un respeto por el trabajo intelectual, al igual que les brinda la experimentación necesaria para formular teorías científicas.

En la práctica actual, la teoría atómico-molecular con frecuencia se presenta a los estudiantes sin prestarle atención a cómo las ideas que ellos tienen se pueden desarrollar por medio la enseñanza o cómo ayudarlos a vincular la ciencia con sus ideas o experiencias relevantes del día a día. Por consiguiente, como lo aclaran las investigaciones, la mayoría de los estudiantes no logran integrar las suposiciones centrales de la teoría atómico-molecular, y no son capaces de entender ideas importantes como el cambio químico. Quizás más importante, los estudiantes no tienen la oportunidad de reconocer los estándares sobre los que se construye una teoría científica, cómo se forma y por qué no puede ser desafiada por otras teorías que no cumplen con los mismos rigurosos estándares epistemológicos. Si los estudiantes no entienden estos estándares, no comprenderán la base sobre la cual deben comprobar y sopesar los argumentos científicos.

Las progresiones de aprendizaje son una manera prometedora de diseñar y organizar la enseñanza de las ciencias. Tomando esto en cuenta, los equipos de docentes e investigadores se encuentran formulando progresiones de aprendizaje con el apoyo de la Fundación Nacional para las Ciencias y otros patrocinadores.

Por ahora, tendremos que esperar para contar con progresiones de aprendizaje completamente desarrolladas y comprobadas que se puedan utilizar en un contexto amplio. No obstante, eso no significa que los profesores de ciencias no puedan utilizar ahora mismo algunos de los aspectos de este trabajo. Efectivamente, es importante que los profesores comiencen a considerar cómo las progresiones de aprendizaje podrían utilizarse en sus propias escuelas y clases y cómo podrían afectar sus prácticas de enseñanza actuales. La eficacia de las progresiones de aprendizaje depende de la implementación comprometida y adecuada, además de beneficiarse de la experiencia y retroalimentación de aquellos que ya las han adoptado, quienes también pueden cumplir una función importante al momento de perfeccionar las prácticas.

Para que ocurra una enseñanza de las ciencias que sea productiva, los estudiantes y los docentes necesitan tener una idea clara de cuáles son los principales objetivos conceptuales. Hemos propuesto un marco para concebir los objetivos de la educación básica, pero igual se pueden fijar objetivos a corto plazo para una unidad de cuatro a seis semanas que se enseñe por un periodo de un año. Los profesores de ciencias pueden comenzar a reflexionar sobre sus objetivos curriculares, para así identificar y centrarse en aquellos que son científicamente más fundamentales y valiosos.

La enseñanza de las ciencias no se logra de un día para otro. Los estudiantes necesitan oportunidades variadas y constantes que les permitan conocer e integrar las ideas. Identificar las ideas centrales significa tomar decisiones difíciles respecto a lo que se debe enseñar, y requerirá que se prepare un programa curricular centrado en torno a estas ideas. Por esta razón, se recomienda comenzar a pequeña escala. Por ejemplo, un grupo de profesores de un curso específico puede comenzar con una unidad de estudio, una que les acomode a todos; quizás la unidad que crean que sus cursos entienden mejor. Deberán darse el tiempo suficiente para identificar los problemas relevantes, descubrir la mejor manera de secuenciar la unidad y planificar clases que darán a los estudiantes las destrezas que necesitan para participar en el área de las ciencias. Comenzar a trabajar en esta idea con un año de antelación, antes de realizar los cambios en el programa curricular, permite que se planifiquen los cursos y que los profesores se preparen de manera adecuada.

Ya sea a nivel de estado, distrito, escuela o curso en específico, es importante que los educadores que adopten las progresiones de aprendizaje las consideren como una iniciativa de investigación y desarrollo. Como tal, los profesores deben contar con el apoyo necesario

para alejarse de las prácticas actuales y darle una oportunidad a las nuevas ideas. Necesitarán retroalimentación con respecto a la calidad de los cambios que introducen y a los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

### *Fuentes de lectura complementaria*

- LEHRER, R., CATLEY, K., Y REISER, B. (2004). *Tracing a trajectory for developing understanding of evolution*. Informe para el Comité para el diseño de evaluación del logro de la educación básica y media del Consejo Nacional de Investigación. Disponible en: <http://www7.nationalacademies.org/bota/Evolution.pdf>.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Learning progressions. Capítulo 8 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 211-250). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, and A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- SCHMIDT, W., WANG, H., Y MCKNIGHT, C. (2005). Curriculum coherence: An examination of U.S. mathematics and science content standards from an international perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 37, 525-559.
- SMITH, C., WISER, M., ANDERSON, C.A., KRAJICK, J., Y COPPOLA, B. (2004). *Implications of research on children's learning for assessment: Matter and atomic molecular theory*. Estudio encargado por la Academia Nacional de las Ciencias sobre el diseño de evaluaciones para primer y Segundo ciclo básico. Disponible en: [http://www7.nationalacademies.org/bota/Big%20Idea%20Team\\_%20AMT.pdf](http://www7.nationalacademies.org/bota/Big%20Idea%20Team_%20AMT.pdf).

## CAPÍTULO 5

# Volver visible el pensamiento: diálogo y argumentación

Como ya se mencionó en el primer capítulo, en las ciencias uno debe tener cuidado al comunicar y representar ideas. Con frecuencia, los científicos comparten fórmulas, teorías, técnicas de laboratorio e instrumentos científicos, y necesitan contar con medios eficaces que permitan comprender y difundir este tipo de información. Los científicos comparten sus ideas y observaciones de diversas formas, como, por ejemplo, con el uso de textos, dibujos, diagramas, fórmulas y fotografías. También utilizan presentaciones en PowerPoint, cadenas de correos electrónicos, artículos de investigación revisados por sus pares, libros, congresos, y programas y documentales de televisión. Asimismo, participan en grupos de investigación, departamentos académicos, sociedades científicas y colaboraciones interdisciplinarias.

A menudo, esta colaboración científica significa manifestar desacuerdo y cuestionar la evidencia. De esta forma, las comunidades científicas ponen a prueba y validan las ideas de otros, en aras de perfeccionar el conocimiento.

Estas prácticas tienen sus análogos en las clases de ciencias<sup>1</sup>. Para enseñar bien las ciencias se pueden emplear algunos de los mismos métodos de comunicación y representación que utilizan los científicos en el mundo real. En este y en el siguiente capítulo el tema central residirá, respectivamente, en las formas como los estudiantes pueden utilizar el idioma y su capacidad de argumentación, al igual que otras formas de representación, con el fin de comunicar sus ideas e indagar en ellas. Como los estudios de casos de los capítulos anteriores permiten apreciar, la enseñanza de las ciencias y el aprendizaje implican más que realizar demostraciones interesantes con la esperanza de que, de alguna manera y por cuenta propia, los alumnos descubran los conceptos que soslayan los resultados. Enseñar y aprender las ciencias de forma correcta también implica tener que comunicarse y colaborar con otros, lo que exige representaciones del mundo tanto escritas como habladas.

En el presente capítulo, se explora cómo el diálogo y la argumentación funcionan dentro del dominio de la ciencia y la función que juegan en la enseñanza correcta de la disciplina. Nos enfocaremos en el lenguaje, tanto oral como escrito, como una de las herramientas principales para la comunicación en las ciencias y como el mecanismo primordial para compartir el pensamiento con otros.

Las ciencias les ofrecen a los estudiantes la oportunidad de adoptar y utilizar nuevas formas de argumentación y herramientas representacionales. Dado que gran parte de lo que pasa en clases se comunica y se procesa por medio del lenguaje oral y el escrito, el lenguaje cumple una función particularmente importante en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Es una de las formas más importantes mediante las cuales un profesor puede apreciar cómo sus estudiantes están pensando.

Asimismo, el lenguaje entrega al estudiante una plataforma para reflexionar y desarrollar su propio pensamiento científico, ya sea solo o con otros. Los profesores cumplen una función crucial al respaldar el uso que sus alumnos hacen del idioma, lo que implica guiarlos hacia una mejor comprensión del lenguaje de la ciencia.

### *Aprender por medio del diálogo y la argumentación*

Para poder procesar, dar sentido y aprender de sus ideas, observaciones y experiencias, los estudiantes deben conversar acerca de ellas. En general, hablar es parte esencial e integral del aprendizaje, por lo que los estudiantes siempre deberían contar con oportunidades para dialogar en grupo sobre sus ideas en todas las asignaturas. El diálogo lleva a los estudiantes a pensar en sus ideas y a articularlas. Además, los inspira a reflexionar sobre lo que entienden y lo que no. Por esta razón, muchos profesores que ya tienen a su haber años de experiencia usualmente le piden a sus alumnos que describan términos, conceptos y observaciones con sus propias palabras.

Otras dos formas de concebir la función que el diálogo cumple dentro del aprendizaje tienen aplicaciones específicas en la ciencia. En primer lugar, el lenguaje científico puede ser muy especializado. Algunas palabras tienen definiciones específicas y precisas. No obstante, es muy común que los niños y los adultos por igual confundan las definiciones de las ciencias especializadas con las definiciones que comúnmente se asocian con esas palabras. Un ejemplo de esto, que ya se mencionó antes, guarda relación con la palabra "teoría". En el ámbito científico, esta palabra se entiende como "un cuerpo elaborado de conocimientos científicos que explica una gran número de fenómenos". En el habla cotidiana, la palabra "teoría" se utiliza para referirse a una corazonada o una predic-

ción. Si los profesores logran que los estudiantes lean y hablen sobre situaciones donde se utilicen diferentes definiciones de una palabra y que expliquen el sentido que les hace a ellos, estarán contribuyendo a que los alumnos puedan distinguir entre significados específicos al ámbito científico y significados cotidianos.

Otra forma de diálogo que se utiliza de manera única en el ámbito científico es la argumentación. Al igual que el lenguaje de las ciencias, la argumentación también se debe diferenciar de las interpretaciones no científicas, tanto en su definición como en su práctica.

La argumentación puede adoptar diversas formas. Es importante que los educadores y los estudiantes reconozcan y comprendan las formas de argumentación específicas de la ciencia y que estén conscientes de cómo difieren de las formas que las personas utilizan en la vida diaria. Por ejemplo, los tipos de discusiones con argumentos en los que una persona puede participar con los miembros de la familia, los amigos y los conocidos contienen mucho resentimiento, o se enfocan en el deseo de defender el punto de vista personal y en "ganar" la discusión. En el caso de un debate más formal, como aquellos entre políticos, los participantes ganan puntos si despliegan su habilidad para "vender" un argumento que favorezca una posición en particular.

Ambas formas de argumentación se diferencian en aspectos esenciales de la que se utiliza en la ciencia. En esta área del saber, los objetivos de la argumentación son difundir lo más posible la comprensión que se tiene de una situación y persuadir a los colegas de la validez de una idea específica. En vez de tratar de ganar el argumento, como trata la gente en los contextos no científicos, la argumentación científica se centra idealmente en compartir, procesar y aprender nuevas ideas.

Hay reglas de participación que rigen la argumentación científica. En este tipo de debate, lo central es la idea, y todas las críticas y los comentarios deben estar dirigidos a ellas y no a los individuos que las expresan. Los científicos comprenden que, a fin de cuentas, el conocimiento científico requiere que se construyan teorías que integren la mayor cantidad posible de observaciones válidas. Por ende, aun cuando los científicos demuestren gran interés por defender una teoría en particular, cuando se presenta un argumento persuasivo que desmiente su postura, ellos saben que deben tratar de integrarlo dentro de su forma de pensar.

### *Alentar el diálogo y el debate argumentativo en clases*

A pesar de la importancia que tienen el diálogo y el debate en la ciencia y en el proceso de aprendizaje en general, las clases de ciencias en la



educación básica por lo general no ofrecen muchas oportunidades a los alumnos para que participen en estas formas de comunicación más productivas. En análisis de las actividades que se llevan a cabo en clases, se sugiere que los patrones de discurso en este contexto se adhieren a un formato por turnos, que por lo general se entiende como "recitado". Un profesor pregunta algo que ya sabe y luego pide a un estudiante que responda. A continuación, el profesor hace un comentario en el que evalúa la respuesta del alumno.

Este formato de diálogo a veces se denomina secuencia I-R-E, que significa Inicio del profesor, Respuesta del estudiante y Evaluación del profesor.

Los investigadores han llegado a la conclusión que este es el patrón dominante en clases, o el que se utiliza por defecto. Como tal, los estudiantes llegan a preverlo y aceptarlo, por lo que luego de años de utilizar la secuencia I-R-E, es muy difícil que comiencen a utilizar un patrón diferente.

Aunque esta secuencia puede ser útil al momento de revisar el conocimiento previo o evaluar lo que los estudiantes saben, no sirve mucho para respaldar el pensamiento complejo, para pedir argumentos con evidencia, para incitar a los alumnos a justificar o debatir un punto, ni para formular una nueva interpretación. Es probable que los patrones I-R-E sirvan solo en algunas ramas del aprendizaje de la ciencia (por ejemplo, en la primera rama), pero no en otras (ramas 2 a 4). Este patrón no es muy bueno si el objetivo es alentar y respaldar un debate con argumentos. Sin embargo, modificar los patrones de discurso tradicionalmente utilizados en clases no es una tarea sencilla. Los estudiantes y los profesores necesitan más modelos de enseñanza y apoyo continuo para sentirse cómodos y aptos al momento de utilizar formatos más eficaces.

El tipo de discurso que alienta el diálogo y la argumentación científica es diferente a los patrones de discurso de I-R-E. Esta diferencia a veces es sutil, pero otras no. Para empezar, los profesores formulan preguntas que no tienen respuestas correctas e incorrectas o que ellos mismos no saben responder. Por ejemplo, un profesor puede preguntar: "¿Qué resultado pueden predecir?" Luego, puede seguir la respuesta inicial con comentarios tales como: "Dinos más acerca de eso". También pueden pedir a otros estudiantes que respondan: "¿Alguien está de acuerdo en desacuerdo con la afirmación de Janine? o "¿alguien quisiera decir algo más sobre la idea que Jamal nos presentó?"

Los profesores pueden pedir a sus estudiantes que utilicen representaciones visuales, tales como afiches o tablas, de modo de explicar al resto de sus compañeros lo que piensan. Después se puede seguir con preguntas que requieran meditar o esperar un tiempo, para que así los

estudiantes tengan la oportunidad de trabajar con ideas más complejas y para que un mayor número de estudiantes tenga la oportunidad de contribuir y no solo los primeros que respondían.

El profesor también puede pedir que aclaren sus ideas. Por ejemplo: "¿Quién entiende la idea de Sara? ¿La puedes explicar con tus propias palabras?" Se pueden presentar ejemplos o teorías alternativas, o se puede reformular la contribución de un estudiante, al decir algo así como "Déjame ver si entiendo tu idea. ¿Estás diciendo que nuestras mediciones serán menos precisas con los zapatos puestos?" Esta estrategia permite que la idea del estudiante, que el profesor volvió a formular, sea más comprensible para el resto de la clase. Estas "maniobras de diálogo" comunican de forma implícita que se requiere tiempo, esfuerzo y paciencia para explicar lo que uno piensa, y que construir argumentos con evidencia es un trabajo intelectual muy exigente.

En la tabla a continuación se muestran seis maniobras de diálogo<sup>2</sup> útiles para usar en clases y se ofrecen ejemplos de cada una de ellas.

Maniobra de diálogo	Ejemplo
Reformulación	"Creo que entendí tu idea. ¿Tú dices que ____?" (con un espacio para que sea el alumno quien continúe)
Pedir al estudiante que reformule lo que otra persona dijo.	"¿Puedes repetir lo que él dijo con tus propias palabras?"
Pedir al estudiante que piense sobre lo que otra persona piensa.	"¿Estás de acuerdo o en desacuerdo y por qué?"
Instar a que los estudiantes comenten y participen.	"¿Quién más quisiera añadir algo?"
Pedir a los estudiantes que expliquen su razonamiento.	"¿Por qué piensas eso?" o "¿Qué evidencia te ayudó a llegar a esa respuesta?" o "Cuéntame más al respecto".
Dar tiempo para pensar.	"Tómate tu tiempo _____. Nosotros te esperamos".

Los profesores pueden utilizar estos ejemplos para aclarar y expandir el razonamiento y los argumentos de los estudiantes. A lo largo de este libro se entregan diferentes ejemplos de estas maniobras en los diferentes estudios de caso.

Además de las maniobras discursivas, los profesores pueden hacer que los estudiantes participen en diferentes tipos de formato de diálogo.

go, cada uno con sus normas de participación y turnos particulares. Por ejemplo, hablar con el compañero, discusión grupal, presentaciones de los estudiantes y trabajo en grupos pequeños. En un número de estudios se sugiere que el diálogo productivo en clases trae muchos beneficios. Pueden llevar a una mejor comprensión del contenido que se está debatiendo, pues es posible que despierte argumentos realmente complejos y específicos al tema en estudiantes que por lo general no les va bien en términos académicos.

A continuación se presentan algunas de las razones por las que el diálogo productivo en clases es tan importante, y por qué puede ser tan eficaz:

- Permite que los alumnos saquen a la luz sus ideas previas, lo que a su vez ayuda al profesor a evaluar mejor lo que sus alumnos saben y comprenden.
- Los formatos discursivos, tales como los debates con todo el grupo, pueden ayudar a los estudiantes a mejorar sus capacidades de construir nuevos argumentos científicos y de razonar lógicamente.
- Al permitir que los estudiantes comuniquen lo que piensan, se les da más oportunidades de reflexionar, participar e instaurar un pensamiento científico.
- Puede lograr que los estudiantes se vuelvan más conscientes de las discrepancias entre lo que ellos piensan y lo que otros piensan (incluyendo la comunidad científica).
- Brinda un contexto en el que los estudiantes pueden desarrollar un pensamiento científico más acabado.
- Puede motivar a los estudiantes a que se acerquen más a los argumentos y los puntos de vistas de sus compañeros.

Muchos de los educadores que leen los estudios de caso que se presentan en este libro podrían poner en duda si es que este tipo de diálogo productivo puede realmente ocurrir en una clase de ciencias. Podrían pensar: "Parece que a ellos les resulta fácil, pero los estudiantes de nuestro distrito no podrían hacer eso". O "Tal vez a mis alumnos les gustaría eso, pero no sé puedo cómo hacer para que todo salga bien. ¿Qué pasa si nadie habla? ¿Qué pasa si no logro entender lo que me quieren decir? ¿O si empiezan a burlarse los unos de los otros?"

Es razonable que todo esto cause preocupación. El tipo de enseñanza que puede servir de plataforma para el debate científico es difícil de implementar, aun para los veteranos con años de experiencia. Los tipos de debates que se describen en los estudios de caso son en gran parte improvisados, y las contribuciones de los estudiantes pueden ser impre-

decibles. La naturaleza informal e impredecible de estos debates puede intimidar a los profesores, administradores de colegio, especialistas en ciencia y formadores de profesores, quienes comparten la responsabilidad de crear entornos de aprendizaje científico seguros, ordenados y productivos. Además, algunos profesores no se sienten cómodos alentando o reprobando argumentos y debates en clases. Esto es comprensible, dado el tiempo que ellos dedican a tratar de mediar conflictos y a persuadir a los alumnos a que valoren la interacción civilizada.

Los profesores necesitan apoyo, habilidad y persistencia para ayudar a sus estudiantes a entender la diferencia entre los debates científicos respetuosos y el tipo de debate antagónico y competitivo al que seguramente están acostumbrados. Los logros del primero dependen de que los estudiantes comprendan en conjunto que la meta del debate es llegar a un punto de entendimiento compartido o a un consenso.

En cambio, el segundo tipo de debate se sostiene sobre la suposición de que la meta es ganar. Estudiantes de todas las edades, desde el jardín infantil hasta el segundo ciclo básico, necesitarán ayuda para distinguir entre estar en desacuerdo con una persona y estar en desacuerdo con una idea.

Mediar eficazmente un debate científico también requiere que el profesor cuente con el conocimiento suficiente para percibir, en el transcurso de la actividad, qué partes del discurso de los alumnos son científicamente productivas y cuáles no. Los estudiantes más jóvenes, los que están aprendiendo inglés como segunda lengua o los que están explorando un tema nuevo para ellos tenderán a utilizar un lenguaje ambiguo, fragmentado o incluso contradictorio, especialmente si la conversación se vuelve acalorada. En dichos momentos, puede ser difícil seguir el contenido y la estructura de los argumentos de los estudiantes. Sin embargo, si el objetivo educacional es ayudar a que los estudiantes comprendan no solo resultados y conceptos científicos, sino también lo que se sabe y por qué uno lo cree, entonces los estudiantes tienen que tener la oportunidad de hablar sobre la evidencia, los modelos y las teorías.

### *Debate orientado a adoptar posturas*

En el capítulo 4 observamos una clase que realizaba un debate grupal a partir del supuesto de que añadir aire a un balón aumentaría su peso registrado. En este debate y en la actividad posterior todos los estudiantes participaban y el profesor servía de guía. Se trataba de un tipo muy específico de debate: lo que se puede llamar un debate "orientado a una postura". Se parte de una demostración que se no se realiza hasta que los

estudiantes no intercambian predicciones, argumentos y evidencia. El problema propuesto podía resolverse de diferentes maneras, por lo que los estudiantes tenían diferentes opciones para predecir y argumentar. Además, implicaba el uso de materiales y escenarios que para los estudiantes eran familiares, lo que permitió que los estudiantes creyeran que podían prever el resultado. Al utilizar materiales y fenómenos familiares, los estudiantes pueden con más facilidad recurrir a sus ideas y experiencias como base para formular sus explicaciones. De esta manera, todos los estudiantes tendrán la oportunidad de aportar de manera significativa.

Un debate orientado a posturas por lo general lleva a los estudiantes a elegir de entre dos a tres respuestas diferentes y razonables. En el caso de los estudiantes de la clase del Sr. Figueroa en el capítulo 4, los estudiantes tenían que decidir si balón con 15 inyecciones extra de aire sería (1) más pesado, (2) más liviano, o (3) pesaría lo mismo. Este tipo de debate permite crear un diálogo productivo en el cual los estudiantes participan con entusiasmo. También lleva a los estudiantes a razonar, teorizar y predecir. Los alumnos escogen una postura y tratan de formular los mejores argumentos y evidencias que puedan respaldar tal postura. A veces, se hacen votaciones informales para ver qué es lo que piensan los estudiantes de las ideas de sus compañeros, para luego darle a los estudiantes nuevas oportunidades para cambiar de parecer, defender un punto o revocarlo.

En este tipo de debates, todos se enfocan en el mismo fenómeno, pero al mismo tiempo tienen que comprometerse con una postura u otra, u ofrecer argumentos a favor de sus predicciones o teorías. Todos tienen el derecho de cambiar de postura a partir de la evidencia y los argumentos de otro compañero, por lo general con la salvedad de que uno tiene que declarar, tan específicamente como sea posible, qué es lo que encuentran útil o convincente de la postura de su compañero.

Los debates orientados a adoptar posturas han sido diseñados para dar cabida a diferencias entre predicciones y teorías. También sacan provecho de la amplia variedad de experiencias de vida y recursos inherentes a todo grupo de estudiantes de diversos trasfondos étnicos y lingüísticos. Tales debates ofrecen una poderosa plataforma para "indagar en conjunto", lo que es un reflejo del discurso y la disciplina de la investigación científica.

En los debates de este tipo, como en el caso de la mayoría de los formatos de diálogo y argumentación en clases eficaces, el profesor tiene que ayudar a sus estudiantes a explicar sus posturas de la forma más clara y convincente posible, sin indicar, ni siquiera sutilmente, qué tan cerca

pueden estar de la respuesta correcta. El profesor no evalúa las contribuciones de los estudiantes en términos de correcto o incorrecto, como generalmente ocurren los debates o los diálogos tradicionales guiados por el profesor. En vez de eso, su rol típico es ayudar a los estudiantes al volver a formular sus contribuciones y esclarecer las ideas. Esto ayuda tanto a la persona que habla como al resto que escucha a comprender lo que todos piensan.

Se debe poner el énfasis en que la teoría o postura sea explicada de forma clara por sobre que sean correctas, hasta que se lleve a cabo la demostración y los estudiantes puedan comprobar el resultado real. De esta manera, los estudiantes se enfocan en buscar explicaciones o respuestas en los resultados de la evidencia y no en adquirirlas de libros o de los profesores.

Uno de los aspectos importantes de este tipo de debate orientado a una postura es la forma en que se formula la pregunta con la que se le da inicio al debate. No siempre es una tarea fácil. Es necesario que el profesor formule una pregunta clara y fácil de entender, que provoque una gama de respuestas y posturas razonables, y que ninguna de ellas pueda parecer correcta a simple vista. Además, se debe seleccionar la pregunta con cuidado y asegurarse de que guarde relación con otros ejercicios, a fin de que todo el grupo desarrolle el aprendizaje. Es poco razonable esperar que el profesor formule este tipo de preguntas sin contar con el respaldo de un currículo riguroso y coherente, además de colegas o un asesor pedagógico.

# ESTABLECER NORMAS PARA EL DEBATE EN CLASES<sup>3</sup>

A los estudiantes les toma tiempo comprender que es posible que haya más de una explicación para un fenómeno científico y que se deben examinar las explicaciones alternativas. Una forma de alentar este tipo de pensamiento es que los profesores presenten y hablen regularmente sobre creencias y explicaciones alternativas, o describan las formas como los científicos difieren y resuelven sus diferencias.

Algunos investigadores, en colaboración con algunos profesores de ciencia, han llegado a la conclusión de que es más probable que se inicien debates en clase si se alienta a los estudiantes a hablar directamente con sus compañeros, en vez de tener que debatir con la mediación de la profesora o del profesor. A su vez, otros investigadores han hallado que los debates en los que el docente actúa de mediador y todo el grupo participa son los más productivos. Los profesores más exitosos combinan diferentes formatos de diálogo para crear oportunidades que requieran el uso de ambos discursos. No importa cuál sea el formato, los profesores deben trabajar con ahínco para hacer valer las normas en clases, las cuales se basan en la responsabilidad, el respeto y la construcción de argumentos basados en teoría y evidencia.

Como se mencionó anteriormente, las clases más productivas, sea cual sea el área temática, son aquellas enriquecidas por el diálogo y la argumentación. No obstante, muchos estudiantes y profesores no están acostumbrados ni se sienten cómodos en diálogos donde participa toda la clase, por lo que es importante comprender cómo definir y aceptar normas correctas y eficaces para el diálogo en clases. A continuación se entrega un estudio de caso que ilustra algunos de los métodos que se utilizan para establecer y utilizar normas para el diálogo.

---

El curso de sexto año a cargo de Gretchen Carter corresponde a un grupo diverso y desafiante de 28 alumnos, con más de un 70 % de ellos con derecho a almuerzo gratis o subvencionado. Entre sus estudiantes se encuentran seis niños que hace poco llegaron a los Estados Unidos, y que todos los días salen antes para tomar clases de inglés intensivas. Además, cuatro alumnos utilizan planes de educación personalizados (IEP por sus siglas en inglés), incluyendo a una estudiante, Lucy, a quien se le ha diagnosticado autismo. Lucy pocas veces habla en clases, pero la profesora y sus compañeros la tratan como una más en las actividades de clases.

La señorita Carter trabaja arduamente para crear un entorno de cooperación y respeto en su sala de clases. Sus consignas son: "Ningún estudiante solo es tan inteligente como todos nosotros juntos" y "Uno tiene el derecho de pedir ayuda y el deber de prestársela a otros".

También ha establecido normas con el fin de que sus estudiantes participen respetuosamente en grupos de trabajo pequeños y en debates con toda la clase. Cada estudiante tiene un conjunto de derechos y obligaciones impresas en un papel verde pegado en la primera página de sus libros de ciencias.

Tanto los estudiantes como la señorita Carter se refieren a estos derechos y obligaciones como el "Código verde". En este documento se indican las reglas de diálogo de la clase de la señorita Carter. Ella ha llegado a estas reglas luego de muchos años, por lo que ya no las negocia con sus estudiantes al inicio del año. En vez de eso, ella les pasa el Código Verde y lo comenta con sus estudiantes. Luego les pide que describan las reglas con sus propias palabras y que le den razones de por qué las reglas son adecuadas y útiles. Los derechos y obligaciones que se estipulan en el Código Verde son los siguientes:

Cada estudiante tiene derecho de:

1. Hacer una contribución frente a un público atento y participativo.
2. Hacer preguntas.
3. Ser tratado con respeto.
4. Que se discutan las ideas y no la persona que las dijo.

Cada estudiante tiene la obligación a:

1. Hablar lo suficientemente fuerte como para ser escuchado.
2. Escuchar para comprender.
3. Estar en acuerdo o en desacuerdo (y dar razones) ante las ideas de otras personas.

Una vez que se han hablado acerca de las reglas, la señorita Carter usualmente se las recuerda a sus estudiantes cuando se comete alguna infracción. La señorita Carter utiliza un sistema de disciplina codificado por colores en conjunto con los derechos y las obligaciones. Todos los estudiantes comienzan el día en verde. Si luego de haberle advertido de su mala conducta, el estudiante comete una infracción, se cambiará su color a amarillo. Si vuelve a portarse mal después de otra advertencia, entonces el alumno cambia a rojo y se cita a su apoderado a reunión después de la escuela. Si la infracción es seria, ella detiene la clase y todos tienen que buscar en el Código Verde el derecho o la obligación que se relaciona con la infracción en particular. Luego conversa sobre el derecho u obligación con los estudiantes.

Un comentario irrespetuoso recibe una advertencia. Una ofensa que se repite merita un cambio de color. Al cabo de unas semanas, las reglas son completamente internalizadas por los estudiantes, por lo que la señorita Carter pocas veces tiene que volver a referirse al Código Verde. Sin embargo, todavía es un recurso que se puede utilizar si los debates se desordenan.



Los estudiantes saben que ella hará valer las reglas de forma coherente semana a semana. Como consecuencia, el curso de la señorita Carter es conocido por su buena conducta. Además, sus estudiantes parecen estar dispuestos a hacer preguntas, defender sus ideas y responder de forma enérgica y respetuosa a las preguntas de los otros. Todo esto sugiere que la Sra. Carter ha logrado convertir su clase en un lugar seguro para que sus estudiantes participen al reflexionar desde un punto de vista académico, presentar problemas, teorizar y resolver problemas. En su clase, los estudiantes ilustran su pensamiento para otros y para ellos mismos.



## *Apreciar las diferencias culturales, lingüísticas y experienciales<sup>4</sup>*

Entre las actividades destinadas a respaldar el uso eficaz del diálogo y el debate en la sala de clases, es importante recordar que el lenguaje científico les es extraño a los estudiantes, a lo menos hasta cierto punto. Nadie es un hablante nativo de ciencias. Además, todos los estudiantes se ven influenciados por sus contextos culturales, lo que afecta la manera en que aprenden ciencia y se comunican en clases. Hoy en día, los estudiantes vienen de diferentes culturas, por lo que revelan formas diversas de comportarse, pensar e interpretar el mundo. Además, interactúan de manera diferente con las comunidades e instituciones con las que tienen que tratar en el día a día. Los niños actúan y se ven influenciados por las prácticas y las tradiciones culturales, por lo que las relaciones entre cultura y creencia personal son fluidas y complejas.

A esto se suma que las experiencias y las historias personales de los individuos varían, y por ende la habilidad que tiene una persona para negociar el cambio entre culturas y contextos se puede ver influenciado por sus propias vidas. Por lo tanto, las experiencias culturales de los profesores y sus estudiantes influyen en la manera que se comportan y hablan generalmente en clases, lo que a su vez afecta la manera en que los estudiantes perciben el diálogo y la argumentación científica. Es importante reconocer la diversidad cultural, porque las salas de clases no son entornos neutrales. Por el contrario, están llenas de normas y expectativas sociales y culturales. Tanto las normas como las expectativas son por lo general implícitas, lo que puede volverlas más complejas de entender a ojos de algunos estudiantes. Este comentario adquirirá mayor importancia con el tiempo, a medida que la demografía de los Estados Unidos siga cambiando y las salas de clases se vuelvan más diversas de lo que son hoy en día.

¿Cómo crea un profesor las condiciones que permitan a todos los niños, a pesar de sus diferencias culturales, lingüísticas y prácticas, el mismo acceso a los diálogos que se den en el aula y a ser evaluados con los mismos niveles altos de rigor académico por su forma de hablar, pensar y hacer representaciones?

Un buen punto de partida es comenzar con algunos principios e ideas importantes que diversas investigaciones en diferentes campos han demostrado como verdaderas. Sin importar la raza, la cultura o el estado socioeconómico, todos los niños, a menos que tengan discapacidades mentales severas, cuentan con formas bien desarrolladas para contar historias, hablar sobre algo, entregar razones, elaborar argumentos y dar

evidencia. De igual forma, todos los niños tienen la capacidad de pensar de forma abstracta sobre situaciones, conceptos y hasta sobre el lenguaje.

Con muy pocas excepciones, los niños llegan al colegio con aprendizajes y usuarios expertos de la lengua.

Los lingüistas han demostrado rotundamente que todos los niños son hablantes gramaticales de sus propias lenguas, es decir, que utilizan el idioma de forma coherente y se rigen por las reglas. Aunque sus dialectos pueden diferir del inglés común, todos los niños hablan con fluidez y precisión los dialectos de sus regiones. Algunos niños hasta llegan a clases con un dominio de un segundo idioma a un nivel alto de refinación y fluidez que pocos profesores logran alcanzar.

Si todos los niños cuentan con habilidades lingüísticas, ¿por qué algunas veces pareciera como si algunos estudiantes no fueran capaces de usar bien el lenguaje? ¿Por qué pareciera que algunos estudiantes no llegan desde sus hogares con un buen dominio del lenguaje, o que son incapaces de hablar sobre temas académicos? ¿Por qué pareciera que algunos estudiantes son buenos para hablar sobre ciencias mientras otro no?

La principal razón es que los hablantes de todos los idiomas tienen la tendencia a percibir todas las diferencias en la manera de hablar de otras personas e identificarlas como "equivocaciones" o "faltas". Para los profesores, esta tendencia conlleva muchos problemas en el aula. Si un profesor se concentra en los estudiantes que tienen problemas de lenguaje, tendrá problemas para conectarse con sus estudiantes y le será más difícil rescatar las sus fortalezas. Asimismo, se le volverá complejo crear las condiciones para que lleven a cabo diálogos, razonamientos y presentaciones científicas productivas y rigurosas.

Todos los niños en esta sociedad aprenden formas culturalmente útiles de utilizar el lenguaje o de captar el sentido de los textos escritos durante sus primeros años en el hogar. A su vez, todos los grupos culturales en esta sociedad cuentan con formas avanzadas de integrar el lenguaje oral y escrito en la vida diaria. Sin embargo, las maneras de utilizar ambos tipos de lenguajes guardan estrecha relación con la cultura y las diferentes formas en que los miembros de una cultura interactúan. En algunas culturas, el uso del lenguaje en el hogar se relaciona estrechamente con el lenguaje que se utiliza regularmente en la escuela, mientras que en otras la relación puede ser más lejana.

Por ejemplo, los niños Yup'ik en Alaska usualmente aprenden observando a los adultos, que cuentan con más experiencia, y participando como asistentes en el trabajo y las actividades de los más grandes. La interacción verbal no es el centro del proceso de aprendizaje; se considera que la observación y la participación son más importantes<sup>5</sup>. Debido

a esto, el uso de la enseñanza verbal explícita puede ser menos eficaz o hasta desconcertante para los niños que provienen de este contexto cultural.

Otro ejemplo es el de los investigadores en Hawái que forman parte del Proyecto de Educación Temprana Kamehameha, quienes demostraron que a los niños con raíces polinésicas les va mucho mejor en las clases de lectura en grupos pequeños si se les permite hablar sin tener que esperar su turno. Por lo general, los profesores eficaces permiten que sus estudiantes imbriquen sus palabras en el discurso de otro, de igual manera que lo harían cuando hablan o cuentan una historia cuando no están en clases<sup>6</sup>.

Carol Lee ha concluido, en su investigación con estudiantes de secundaria mayoritariamente afroamericanos, que, a veces en una clase, los estudiantes pueden dar inicio a animados debates en donde todos quieren hablar al mismo tiempo o se interrumpen<sup>7</sup>. Por fuera, pareciera que el diálogo es caótico. No obstante, Lee ha demostrado que este tipo de debate puede ser muy productivo para poder cumplir con el propósito académico de una clase. Ella se dio cuenta de que cuando se analizaban de cerca las conversaciones de los estudiantes, estas arrojaban evidencia de un pensamiento riguroso y de que sus estudiantes estaban escuchando e integrando las contribuciones de sus pares.

Además de llegar al colegio con diferentes experiencias y estilos discursivos, algunos niños se han expuesto mucho menos a los tipos de prácticas que forman la base de las actividades científicas, lo que incluye entregar explicaciones, analizar datos, formular argumentos, brindar evidencia para sus aseveraciones e interpretar textos. Un extenso conjunto de investigaciones sugiere que tales diferencias culturales, por lo general, terminan en juicios negativos acerca de la inteligencia de un estudiante o la calidad de su pensamiento. Estos juicios pueden afectar las expectativas de los profesores sobre cómo un estudiante debería contribuir o participar en las discusiones en clases. De otras investigaciones también se puede concluir que es difícil para los profesores reconocer y utilizar el razonamiento de un estudiante, cuyos métodos para comunicarse son diferentes a los suyos. Estos problemas de comunicación sutiles y no tan sutiles relacionados con el lenguaje y la cultura en clases pueden llevar a serios problemas de equidad y acceso, lo que pone barreras a la comunicación, a la confianza entre el profesor y el estudiante y a las condiciones que nutren la participación y el esfuerzo. Al final, el resultado se puede traducir en una menor motivación, participación y aprendizaje de parte de los estudiantes, lo que puede tener consecuencias a largo plazo en su conocimiento y su desempeño.

Una forma en que los profesores pueden resolver las diferencias culturales y lingüísticas entre estudiantes es tratarlos como si fueran diplomáticos extranjeros altamente inteligentes. Esta sencilla estrategia se basa en el sentido común. La gente entiende que los diplomáticos piensan y se comunican en formas que no se pueden comprender inmediatamente, pero de cualquier manera la gente supone que los diplomáticos extranjeros son inteligentes y poseen talentos y habilidades únicas. De igual manera, en un debate dinámico en clases, puede ser difícil comprender de inmediato a un estudiante que tiene una inteligencia, un ingenio, un conocimiento y habilidades analíticas únicas. Sin embargo, el profesor puede partir de la base de que sus alumnos tienen una habilidad innata para pensar profundamente, razonar de forma abstracta, vincular la teoría con la evidencia y formular argumentos válidos. Dar por hecho que los alumnos cuentan con estas aptitudes facilita construir y fomentar las contribuciones de los estudiantes, aun cuando estén incompletas, no sean completamente explícitas o sean expresadas en un dialecto poco común. Cuando se invita a los estudiantes a participar en conversaciones, se les da la oportunidad de participar en tareas coherentes e instructivas, se les da la oportunidad de escuchar e integrar las contribuciones de sus compañeros, y se les modela un tipo de razonamiento científico (de parte de profesores y compañeros), poco a poco adquieren e integran el lenguaje y las habilidades que se valoran en las ciencias.

### *Estrategias para la inclusión*

Pero, ¿cómo se perciben las diferencias culturales? ¿Cómo se puede garantizar que todos los estudiantes participen en el debate y respeten las mismas normas estrictas al momento de entregar evidencia, justificar sus aseveraciones y representar las ideas de manera que otros las puedan entender? ¿Cómo se promueve la equidad y el acceso ante la inmensa diversidad sociolingüística? ¿Cómo pueden los profesores crear las condiciones propicias para un diálogo científico riguroso entre niños de diferentes culturas y contextos lingüísticos?

Según investigadores, hay dos estrategias eficaces que los profesores tienen a su disposición. En primer lugar, deben explicar las normas de participación en la clase de ciencias y no suponer que los estudiantes las conocen implícitamente. Cuando dan inicio a actividades científicas nuevas o extrañas, los profesores deben describir con detalle las expectativas. Esto incluye, de ser necesario, debates estructurados o roles con guion que sirvan para guiar los diálogos.

El objetivo debería ser establecer y mantener lo que Okhee Lee ha descrito como congruencia pedagógica<sup>8</sup>. Cuando se utiliza este principio, la naturaleza de una disciplina académica se mezcla con el lenguaje y las experiencias culturales y lingüísticas de los estudiantes para hacer de la ciencia algo más accesible, significativo e importante. Se les brinda a los estudiantes oportunidades de dominar nuevas formas de pensamiento y participación, a la vez que los profesores se aseguran de que sus estudiantes sepan que sus normas y las prácticas actuales son valoradas.

El trabajo de establecer, comprender y modificar las normas que rigen la interacción en clases a fin de que se adapten al pensamiento científico es una tarea constante. Los mismos estudiantes pueden ayudar a crear estas normas proponiendo, debatiendo y estableciendo criterios para definir qué se considera como una buena pregunta o una evidencia convincente. Por ejemplo, en una clase en particular, los estudiantes adoptaron los criterios para juzgar las buenas preguntas y la evidencia convincente como norma. Luego, a mediados de año, aparecieron nuevas ideas y preguntas a medida que los estudiantes evaluaban su propio desempeño. Algunos estudiantes señalaron que ellos tenían que enmendar los criterios de lo que se consideraba como una buena pregunta, pues creían que era necesario agregar que este tipo de pregunta daba lugar a más preguntas. Las buenas preguntas se inspiran en los hallazgos de otros y, a su vez, inspiran nuevas preguntas.

Los estudiantes cambiaron los criterios a fin de reflejar el hecho de que ahora entendían que el conocimiento dentro de la comunidad científica depende de que se comparta información y pruebas, y que el conocimiento por lo general se construye a partir de las contribuciones de científicos colegas.

Se ha demostrado en investigaciones que los niños son expertos en aprender a participar en actividades de presentación en clases. Aprenden rápidamente cuáles son las normas, los derechos y las obligaciones implícitas. Cuando los estudiantes se resisten a adoptar los roles o las normas de las actividades en clases, no se debe a que no sean lo suficientemente listos como para saber lo que son las normas. Por el contrario, por lo general significa que los estudiantes se rehúsan a asumir estos roles porque significa adoptar una identidad social o académica con la cual no se sienten cómodos. Los estudiantes tienen que sentir que pertenecen y que quieren pertenecer. Cuando se logra llevar a cabo un buen debate en clases, los estudiantes se sienten como miembros del grupo, con todos los derechos y el prestigio que conlleva ser parte de ese grupo, mucho antes de que logren dominar el discurso.

La segunda estrategia para fomentar la equidad en el discurso es dejando claro las conexiones que existen entre el pensamiento, los conocimientos y los recursos comunes de los estudiantes en contraposición con aquellos de los científicos. En el programa de investigación de Cheche Konnen, los investigadores llevaron a cabo estudios con estudiantes criollos de Haití y sus profesores durante el curso de los últimos 15 años, con el objeto de identificar los puntos de contacto más importantes entre la forma como los estudiantes aprenden y la forma en que se aprende ciencia. Por ejemplo, observan que los estudiantes se ven a ellos mismos en problemas y generalmente evocan analogías, argumentos y narrativas como un medio para hacer sentido de los fenómenos. Todas estas estrategias son comunes para los científicos.

Un estudiante que estaba investigando el comportamiento animal, en este caso las hormigas en distintos tipos de hábitat, se imaginó a sí mismo en esos hábitats. Su intención original había sido preparar un experimento que permitiera establecer qué hormigas preferirían un entorno oscuro a uno brillante. Sin embargo, cuando el estudiante se imaginó a sí mismo como una hormiga excavando el suelo, se empezó a cuestionar cómo cada uno de los lados de la cámara, con luz y sin luz, podrían parecer más o menos luminosos para una hormiga bajo tierra<sup>9</sup>. El programa de investigación de Cheche Konnen demuestra cómo las prácticas culturales de los estudiantes urbanos que pertenecen a minorías lingüísticas se pueden utilizar para respaldar el razonamiento científico y la resolución de problemas<sup>10</sup>.

Algunas de las estrategias que ya se revisaron antes en este capítulo, tales como la formulación del profesor y de los alumnos, el modelado de argumentos científicos y el uso de tiempo de espera, son especialmente útiles en las clases donde existe una gran variedad lingüística entre los estudiantes.

Estas estrategias ayudan a disminuir el ritmo del debate, lo que a la larga brinda tiempo para que se expresen, escuchen, repitan, reformulen y respondan ideas más complejas. De esta manera se puede facilitar la adquisición y el uso de lenguaje científico y las estructuras de discurso. También expone a los estudiantes a formas complejas de razonamiento científico, lo que les permite practicar esta forma de pensar con el respaldo y la guía del profesor y de sus compañeros. Al mismo tiempo, les ofrece una oportunidad para adquirir mayor confianza en sí mismos y en sus aptitudes al momento de presentar sus ideas, modelos y explicaciones, al igual que al momento de rebatir evidencia y formular preguntas.

A fin de que los estudiantes con diferentes trasfondos y experiencias culturales puedan entender y adquirir las ideas de todos, los profesores



tienen que encontrar formas de garantizar el acceso equitativo a todos los estudiantes para que participen en los debates ligados a la ciencia al momento de establecer reglas de inclusión. Una participación equitativa no significa que todos los estudiantes tengan que participar en todos los debates. En realidad significa que el acceso al debate debe ser equitativo. Al hablar sobre la participación equitativa, uno tiene que dar por hecho que lo que se lleva a cabo es un diálogo científico estructurado y serio, y no solo una actividad con turnos cuyo objetivo es que todos propongan una opinión o una idea. Suponiendo que este es el caso, la participación justa exige que todos escuchen

lo que se está diciendo y que todos tengan el mismo tiempo para dar a entender sus ideas y ser escuchado por el resto, de forma respetuosa. La participación no es justa cuando algunos estudiantes cada cierto tiempo dominan el diálogo, mientras que otros son sistemáticamente excluidos. Nuevamente, el objetivo es permitir que todos los estudiantes digan algo. Por ende, se trata de garantizar que el diálogo no divague, que cada estudiante escuche lo que se dice, y que cada estudiante tenga las oportunidades para contribuir ideas importantes si es que así lo desean.

Para formular ideas y argumentos, los estudiantes tienen que tener la oportunidad de pensar en voz alta, lo que implica practicar lo que algunos profesores e investigadores llaman "razonamiento preliminar" o "discurso exploratorio". Durante este tipo de diálogo inicial, los estudiantes a veces se comunican de forma entrecortada, con pausas, repeticiones, dudas y partidas falsas.

Esto los vuelve difícil de seguir. Sus ideas pueden tener más de un tipo de problema. Sin embargo, el objetivo es que los estudiantes tengan la oportunidad de aclarar sus ideas iniciales y de escuchar a otros, aprendan de esas ideas, y las ajusten o mejoren.

Para los estudiantes, hay mucho más en juego que triunfar o fracasar en el aprendizaje de la ciencia, por lo que tratar de que expresen pensamientos de los cuales no tienen certeza puede ser una tarea particularmente desafiante. Algunos estudiantes pueden sentir miedo de que los tilden de estudiosos, lo que los puede alejar de querer expresar sus pensamientos. Otros pueden estar preocupados de expresar ideas que no están del todo formadas. Otros pueden sacar provecho de todas las oportunidades que se les presenten para dar su opinión y dominar los debates en clases. Esto último provee una dinámica social compleja que es crucial para que los profesores y los estudiantes aprendan a seguir a otros.

Cuando se crea un entorno que respalda la participación equitativa en clases, es crucial prestar especial atención a las personas que están aprendiendo inglés como segunda lengua. En las ciencias, donde el vocabulario y el discurso son tan importantes, un manejo débil del inglés puede obstaculizar la tarea del profesor de reconocer o evaluar el grado de comprensión de un alumno en cuanto a los conceptos científicos, lo que a su vez vuelve complejo enseñar a partir de lo que los estudiantes ya saben.

Muchos profesores dan por sentado que los estudiantes que están aprendiendo otro idioma tienen que dominarlo bien antes de que puedan aprender sobre ciencia. Esta creencia es incorrecta. En investigaciones se sugiere que las clases de ciencia son un buen entorno para enseñar a poblaciones que hablan diversos idiomas, porque por lo general en estas clases se trata con materiales y eventos que todos los estudiantes experimentan y ven juntos. Esto entrega una base para la adquisición del vocabulario y la práctica discursiva. También motiva la lectura de textos relacionados.

Hay evidencia que cuando se imparten buenas clases los niños de todas las culturas e idiomas pueden aprender ciencias. Sin embargo, la investigación todavía no revela cuáles son los métodos que mejor funcionan en tales circunstancias. Uno de los objetivos claros a futuro debe ser desarrollar las fortalezas y las necesidades únicas que los estudiantes de diferentes contextos traen consigo a clases. Este debería ser un punto central de los cursos de preparación de profesores y el desarrollo profesional continuo. La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias deben ser más equitativos y accesibles para todos los estudiantes.

El siguiente estudio de caso demuestra cómo las formas culturalmente diversas de hablar y de pensar de los estudiantes se relacionan con las tareas y el currículo escolar.



# APOYO EXITOSO A LA DIVERSIDAD<sup>11</sup>

Jocelyn Wright enseñaba a una clase combinada pluriétnica que tenía alumnos de tercero y cuarto año en una ciudad grande en el estado de Massachusetts. Había un gran número de niños haitianos que hablaban criollo en la escuela. También se había implementado un programa bilingüe de transición de criollo haitiano. La señorita Wright hablaba un poco de criollo y valoraba los recursos culturales y lingüísticos que su grupo diverso de niños traía a clases.

El curso estaba realizando una actividad científica sobre el equilibrio, para lo cual utilizaban una pesa que tenía pequeños pesos de metal en diferentes puntos y a ambos lados de la pesa. En esta unidad científica, durante el transcurso de algunas semanas, los estudiantes habían trabajado en una serie de problemas de equilibrio.

Después de que se presentaba un problema específico, se les pedía a los estudiantes que predijeran, por medio de una votación en clases, si las pesas se equilibrarían o si se inclinarían a la derecha o a la izquierda. Después de votar por una opción, los estudiantes debatían o hablaban sobre sus predicciones y las razones detrás de ellas con sus compañeros. Después de hablar, los estudiantes tenían la oportunidad de votar nuevamente en caso de que hubiesen cambiado de parecer luego de escuchar la explicación o los argumentos de los otros. Finalmente, la profesora llevaba a cabo la demostración y los estudiantes volvían a sus puestos a llenar una ficha donde tenían que explicar su razonamiento.

Cuando ya llevaban cerca de 4 semanas estudiando la unidad, los estudiantes habían completado una serie de problemas de equilibrio, lo que les había implicado tener que predecir, debatir y cambiar de parecer. A este nivel, a los estudiantes ya se les había presentado la fórmula "multiplicar el peso por la distancia" como apoyo para calcular cómo se comportaría la pesa. Ya habían practicado la resolución de problemas de equilibrio de este tipo, pero to-

avía existía confusión sobre cuándo se debía multiplicar y cuándo sumar.

Sabrina, una alumna de cuarto año, argumentó que la configuración que se muestra a continuación lograría un equilibrio (ver ilustración 5-1). Ella les mostró su forma de razonar al grupo escribiendo en la pizarra pequeña con atril:

$$\begin{array}{ccc} 2 \times 5 = 10 & || & 1 \times 1 = 1 \quad 3 \times 3 = 9 \\ & & 1 + 9 = 10 \end{array}$$

Luego, Sabrina dijo: "Tres pesas en el 'punto tres' es igual a nueve, y una sola pesa en el 'punto uno' es igual a uno, por lo que la fuerza total en el lado derecho de la escala es de diez. Luego, en el otro lado, dos veces cinco es igual a diez, lo que hace que en ambos lados haya diez, es decir, hay un equilibrio".

Josianne pidió ser la siguiente en informar de su avance. Esta alumna, un hablante nativo de criollo haitiano, se había cambiado a la clase de la señorita Wright dos meses antes, pues antes se encontraba en un curso bilingüe de transición del haitiano al inglés.

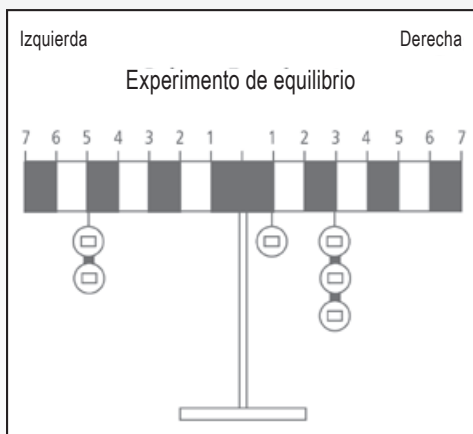


ILUSTRACIÓN 5-1. Balanza con los pesos.

La señorita Wright utilizó un procedimiento "de postas" para los turnos durante los debates de

ciencia, el cual se basaba en que el estudiante que estaba hablando debía nominar a su sucesor en la palabra. En este caso, Sabrina eligió a Josianne.

Josianne: "Estoy de acuerdo contigo [Sabrina] porque también creo que va a estar en equilibrio".

Sra. Wright: "¿Y qué te hace pensar así?"

Josianne: "Porque yo creo que va a quedar en equilibrio, porque, yo pienso así. Yo pienso que se va a equilibrar".

La señorita Wright indagó un poco más para ver si Josianne le podía revelar parte del razonamiento que la llevó a sacar esa conclusión:

Sra. Wright: "Entonces, ¿recuerdas qué te hizo pensar eso? ¿O fue solo lo que dijeron tus compañeros lo que te convenció?"

Josianne: [negando con la cabeza]: "Mm-mm".

Sra. Wright: "¿Nos puedes decir algo sobre tu forma de razonar?"

Nuevamente, la señorita Wright trató de alentar a Josianne a que explicara su forma de razonar, pero se veía que estaba teniendo problemas.

En este punto, la señorita Wright le preguntó a Josianne si le gustaría elegir al próximo interlocutor. Luego de que algunos estudiantes explicaran su razonamiento matemático, la clase sostuvo una nueva votación. La señorita Wright llevó a cabo la demostración, y la balanza efectivamente quedó en equilibrio. A continuación pidió a los alumnos que regresaran a sus asientos y escribieran por qué creían que llegaba a un equilibrio. Josianne regresó a su asiento y escribió lo siguiente:

"Porque yo pienso que tenía que quedar en equilibrio, y por eso voté por esa opción".

La señorita Wright pensó que la respuesta de Josianne podía reflejar su limitado conocimiento del inglés.

Por eso, le pidió a una de sus colegas que trabajara personalmente con Josianne a fin de evaluar si la alumna era capaz de explicar su razonamiento. Josianne contestaba a todas las respuestas primero en criollo y luego en inglés.

Profesora: "¿Me puedes decir por qué pensabas que iba a quedar en equilibrio o por qué ahora piensas que quedará en equilibrio?"

Josianne: "Lo digo porque es lo que piensa mi cerebro. Y mi cerebro piensa que va a quedar en equilibrio".

Profesora: "Bien. Me puedes decir más respecto al por qué."

Josianne [confundida]: "¿Decir más sobre por qué?"

Profesora: "¿Por qué piensas que quedará en equilibrio? ¿Qué pensó tu cerebro para que creyeras que quedaría en equilibrio?"

Josianne [con una sonrisita]: "No sé, porque no le pregunté a mi cerebro".

Profesora: "Pregúntale a tu cerebro sobre las pesas y su ubicación y por qué piensa que pensaste o piensas que quedará en equilibrio. ¿Por qué se tiene que quedar en equilibrio? ¿Por qué no se inclina hacia la derecha o hacia la izquierda?"

Josianne [impaciente]: "¡Porque yo hago la multiplicación en mi cabeza! Yo digo, aquí hay dos y aquí hay cinco, dos veces cinco aquí y tres veces tres aquí es nueve, más un punto es diez".

Claramente, todo este tiempo Josianne sabía el razonamiento detrás de su respuesta, pero no entendía lo que la profesora quería que explicara. Cuando la colega de la Sra. Wright preguntó a Josianne por qué no le había explicado "todo eso de la multiplicación" primero, Josianne respondió: "Es que no entendí la pregunta".

Josianne sabía lo que era la multiplicación y cómo utilizarla para resolver el problema. Sin embargo, no entendía el discurso que se aplica en las clases de ciencias. Ella interpretaba las preguntas de la Sra. Wright y las de sus colegas como preguntas sobre la calidad de su conocimiento y la fuente de donde lo obtuvo. ¿Había adivinado? ¿Se había convencido luego de escuchar a sus compañeros? ¿Lo había resuelto por cuenta propia?

Josianne estaba tratando con todas las maneras a su alcance de explicar cómo había encontrado el conocimiento sola. No obstante, en el discurso que se aplica a las clases de ciencias, se tiene que explicitar el razonamiento detrás de toda prueba, teoría, modelo o cálculo. Esto podía ser obvio para los otros estudiantes que estaban participando en el debate. Sin embargo, como el ejemplo lo ilustra, los estudiantes tienden a interpretar las preguntas que comienzan con "por qué" de muchas maneras. Se pueden interpretar como que piden explicaciones, ejemplos del razonamiento personal, un motivo, evidencia u otros, dependiendo de las convenciones específicas del discurso de un dominio particular.

Desde un punto de vista pedagógico, lo que es importante del ejemplo de la Sra. Wright es que ella no se rindió ante el problema de Josianne. Durante el debate grupal, ella trató de formular la misma pregunta a Josianne de muchas maneras, pero a la larga seguía con otros alumnos para que Josianne no se sintiera incómoda. La Sra. Wright sentía que el problema radicaba en su falta de habilidad para lograr captar lo que comprendía Josianne. Al final, lo que hacía la diferencia para Josianne no era específicamente el idioma. Lo más posible es que la formulación de la pregunta de partiendo con "por qué" fue lo que ayudó a Josianne a comprender. La nueva pregunta no se centraba en preguntarle a Josianne cómo sabía lo que sabía, sino cuál era la configuración de las pesas que estaba causando la inclinación.

En la ajetreada vida de la sala de clases, se necesita un ojo perspicaz (o un oído) y un buen conjunto de preguntas y tareas para captar lo que los estudiantes entienden. También ayuda si la profesora supone que sus estudiantes tienen habilidad, razones e ideas complejas, aun si no es aparente a buenas y primeras, y luego se trabaja arduo para demostrar las habilidades.

La representación de ideas por medio de la palabra y el argumento cumple una función esencial en el aprendizaje en general y, al mismo tiempo, una función específica en el aprendizaje y la práctica de la ciencia. En las clases de ciencia, los estudiantes necesitan contar con oportunidades para hablar de sus ideas y escuchar y responder a las de sus compañeros. Cuando un debate se maneja solo por medio del filtro de un

profesor o de un texto escolar, los estudiantes tienen menos oportunidades para formular y desarrollar su propia comprensión e ideas o para escuchar a sus compañeros y construir argumentos en forma grupal.

En muchas clases, los estudiantes tienen pocas oportunidades para pensar en voz alta, y menos aún para participar en argumentación realmente científica. A fin de entrar en este tipo de argumentación, los estudiantes tienen que adoptar normas y hábitos que se enfoquen en datos, análisis y la construcción de ideas de forma acumulativa y colectiva.

Crear clases tales como las del Sr. Figueroa, la Sra. Carter, y la Sra. Wright puede ser todo un reto. Las formas en que los profesores estructuran y buscan discursos y argumentos es un proceso permanente y, por lo general, complejo. Los métodos que se describen en este capítulo pueden ser puntos de partida para mejorar la práctica del discurso en clases y para ajustar las formas en que los profesores pueden estructurar las interacciones relacionadas a la ciencia que se dan entre sus estudiantes.

Para hacer esto, los profesores deben contar con oportunidades para observar clases de ciencias como las que se describen en este capítulo. Tienen que experimentar de forma directa lo que es ser un miembro de la comunidad regido por las normas de debate y argumentación científica. También necesitan ayuda para reflexionar sobre esas experiencias y planificar formas pertinentes de crear un diálogo y estructuras de argumentación científica en sus propias clases. Necesitan mayor acceso a recursos que ilustren estas prácticas y que entreguen más explicaciones sobre cómo implementarlas.

Cuando se les pide a los profesores que vayan más allá de los patrones tradicionales de interacción en la sala de clases para acoger los discursos y la argumentación de los estudiantes como una característica de la clase de ciencias, también es cierto que necesitan apoyo para lograr esto. Los patrones típicos del discurso en los colegios, tales como el patrón I-R-E descrito anteriormente, son tan predominante en la cultura de los Estados Unidos que se pueden apreciar hasta en la forma en que los niños pequeños juegan en la escuela. Los administradores del sistema escolar, los encargados de diseñar los programas y los profesores y docentes de ciencia tienen que entender y participar en el desafío de buscar nuevos métodos que prueben ser más eficaces para fomentar el diálogo y la argumentación en las clases de ciencias.

## *Fuentes de lectura complementaria*

- BELL, P., Y LINN, M.C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22, 797-817.
- HERRENKOHL, L.R., Y GUERRA, M.R. (1998). Participant structures, scientific discourse, and student engagement in fourth grade. *Cognition and Instruction*, 16(4), 431-473.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Participation and scientific practices and discourse. Capítulo 7 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 186-210). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, and A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Teaching science as practice. Capítulo 9 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 251-295). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

## CAPÍTULO 6

# Volver visible el pensamiento: modelamiento y representación

Los científicos crean modelos y representaciones como maneras de pensar en el mundo natural. Estos modelos son muy diversos, ya sea dentro de una misma disciplina o entre disciplinas diferentes. Sin embargo, en la elaboración y prueba de teorías, la práctica científica se rige por los intentos destinados a inventar, revisar y refutar modelos. Así, el uso de modelos es otra de las maneras en que los científicos vuelven su pensamiento visible.

La representación es la precursora del modelamiento completo. Hasta los niños de corta edad pueden usar un objeto para remplazar o representar otro. No obstante, es común que ellos no reconozcan o sean capaces de explicar las relaciones y diferencias entre el mundo real y los modelos: las características de un fenómeno que una representación puede o no explicar. Los niños pueden desarrollar el uso de todo tipo de representaciones simbólicas, tales como gráficos, tablas, expresiones matemáticas y diagramas, lo que deriva en la elaboración de modelos más sofisticados cuando son mayores. En la "Clase de ciencias: la naturaleza de los gases" (capítulo 4), se observó a estudiantes de un programa extracurricular de ciencias que intentaban comprender la presión del aire. Los estudiantes usaron los "perritos de aire" como modelo para representar las moléculas de aire. En algunos casos, los perritos de aire estaban representados por puntos y en otros por números (ver las ilustraciones 6-1 y 6-2)

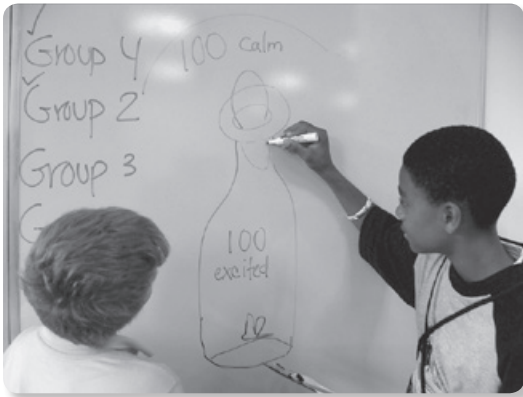
El modelamiento consiste en construir y probar las representaciones que son análogas a los sistemas en el mundo real. Estas representaciones pueden ser diversas y abarcar modelos físicos, programas informáticos, diagramas, ecuaciones matemáticas y propuestas.



*ILUSTRACIÓN 6-1.* Taylor explica el movimiento de la pared sobre ruedas con los perritos de aire representados por puntos.

Tanto los objetos descritos en un modelo, como su comportamiento y la relación entre ellos, representan objetos, conductas y relaciones teóricamente relevantes en el mundo natural. Los modelos permiten que los científicos puedan resumir y describir las características conocidas de un sistema físico y así predecir resultados a partir de estas descripciones. Por lo tanto, los modelos

constituyen herramientas importantes para la elaboración de teorías científicas.



*ILUSTRACIÓN 6-2.* Mitchell y Antwaune muestran los perritos de aire dentro y fuera de una botella en forma de números (100 perritos calmados y 100 agitados).

Los estudiantes deben comprender que los modelos no representan copias exactas, sino que son versiones simplificadas de sistemas más complejos. Es decir, ningún modelo es totalmente exacto. Por ejemplo, en el modelamiento de moléculas de

aire con los perritos de aire, hay ciertas características de las moléculas que sí se representan, tales como su movimiento constante sin intención, y otras características que no, como que están compuestas por átomos de hidrógeno y oxígeno. Es necesario orientar a los alumnos para que reconozcan cuáles características forman parte de un modelo y cómo esto los ayuda a comprender mejor el funcionamiento de un sistema. Generalmente, cuando los alumnos ven por primera vez el modelo de los perritos de aire preguntan: "¿Los perritos de aire respiran aire como los perritos reales? ¿Duermen? ¿Se mueren?" Necesitan averiguar qué propiedades de los perritos de aire son útiles para comprender el funcionamiento de las moléculas de aire.

## *Las matemáticas*

Durante los últimos 200 años, las ciencias han evolucionado hacia una mayor cuantificación, visualización y precisión. Las matemáticas son otro sistema para compartir, comunicar y comprender conceptos científicos. Generalmente, las expresiones matemáticas llevan al descubrimiento de nuevos patrones o relaciones que, de lo contrario, quizás no se habrían descubierto.

A continuación, en las actividades de representación por curso, unos niños de tercer año que investigan el crecimiento de las plantas se preguntan si los brotes (la parte de la planta que crece sobre el suelo) y las raíces crecen al mismo ritmo. Los alumnos se dieron cuenta inmediatamente que el ritmo de crecimiento no era el mismo cuando trazaron el crecimiento en un gráfico de coordenadas que mostraba los milímetros de crecimiento por día.

Sin embargo, un alumno señaló que ambas curvas, la de las raíces y los brotes, mostraban la misma forma de S. Esta forma de S apareció de nuevo en los gráficos que describían el crecimiento de los gusanos de cuerno del tabaco y las poblaciones de bacteria en un plato. Los alumnos lograron reconocer esta forma de S como un patrón gráfico estándar de crecimiento. Sin la representación matemática dada por el gráfico no habrían podido percibir la similitud entre patrones.

Dada la importancia de las matemáticas para comprender la ciencia, las matemáticas en la enseñanza básica necesitan abarcar más que solo la aritmética e incluir ideas sobre el espacio y la geometría, la medición, los datos y la incertidumbre. La medición, por ejemplo, está siempre presente en la actividad científica, aunque comúnmente se ignoran sus sutilezas. Por lo general, los alumnos aprenden los procedimientos de medición, pero rara vez una teoría de la medida. Es común que los profesores subestimen los conocimientos sobre medición de los niños, ya que los instrumentos de medida, tales como las reglas y balanzas, resuelven muchos de los desafíos de la medición. Por consiguiente, los alumnos podrían no entender que la medición implica el uso de unidades constantes de repetición y que estas unidades se pueden dividir. Incluso los alumnos de enseñanza básica más avanzados, que parecen tener la habilidad para medir longitudes con regla, podrían llegar a creer que medir solo implica contar las unidades que hay entre fronteras. Si a estos alumnos se les pasa unidades inconexas (baldosas de una longitud constante, por ejemplo) y luego se les pide que demuestren cómo medir el largo, algunos de ellos casi siempre utilizarán las unidades en función del objeto que estén midiendo, de tal forma que la primera y la última baldosa estén alineadas con el extremo del objeto, dejando espacios entre las uni-



dades del medio. Estos espacios no son un problema para el alumno que tiene el concepto de "relleno de fronteras".

## *Los datos*

El modelamiento de datos es clave para diversas actividades científicas, entre las que se encuentran la ingeniería, la medicina y las ciencias naturales. Los científicos consideran cuidadosamente los datos que se necesitan para construir los modelos. Además, los datos se estructuran y registran como una manera de avanzar en la construcción de un modelo científico o de decidir entre modelos rivales.

Los alumnos podrán entender mejor los datos si prestan la misma atención tanto a su creación como a su análisis. En primer lugar, los alumnos deben comprender que los datos se generan para responder preguntas y que la naturaleza no los entrega listos. Las preguntas determinan el tipo de información que se ha de reunir, así como muchas de las características de la estructuración y codificación de los datos.

Los datos son, por naturaleza, abstractos, ya que corresponden a observaciones que representan hechos concretos. Los datos pueden adoptar diferentes formas: se puede representar una distancia lineal por medio de un número de unidades estándar, un vídeo puede representar una observación de la interacción humana o la lectura de un termómetro puede representar una sensación de calor.

La recolección de datos a menudo exige el uso de instrumentos; sin embargo, los alumnos no suelen comprender la relación entre un hecho de interés y la función o resultado que tiene el uso de un instrumento para recabar datos acerca de este hecho. Ya sea el instrumento un microscopio, una balanza o una simple regla, los alumnos a menudo necesitan ayuda para comprender el propósito tras el uso del instrumento y de la medida. Por ejemplo, algunos alumnos pueden considerar el uso de una balanza monoplato complicado si están acostumbrados a las observaciones sensoriales de "sentir el peso", ya que ellos no entienden de forma inmediata la utilidad de usar un objeto para determinar el peso de otro.

Los datos no poseen una estructura intrínseca. Por el contrario, se les debe imponer una estructura. Los científicos y alumnos imponen una estructura al seleccionar categorías para describir y organizar los datos. Sin embargo, los alumnos a menudo no llegan a comprender esto, tal como lo demuestra su tendencia a creer que solo se pueden abordar nuevas preguntas con nuevos datos. Rara vez se les ocurre utilizar los conjuntos de datos existentes para estudiar preguntas que no se habían formularon cuando esos datos fueron recolectados. Por ejemplo, ante-

riormente se describió una unidad sobre la biodiversidad, donde los niños catalogaron diferentes especies del bosque que se encuentra adyacente al colegio. En el futuro, se pueden consultar los datos obtenidos en esta actividad para determinar la dispersión de una población dada o cuáles especies de plantas o animales tienden a agruparse en ciertas áreas del bosque.

Finalmente, se pueden representar los datos de diversas formas para ver, comprender o comunicar diferentes características del fenómeno que se estudia. Por ejemplo, un gráfico de barras de la estatura de los niños puede proporcionar una información visual rápida acerca de las distintas estaturas. Por el contrario, un diagrama de dispersión de las estaturas de los niños proporciona una relación lineal entre estatura y edad. Una meta importante para los alumnos, y que se extiende por varios años, es llegar a comprender las convenciones y propiedades de diferentes representaciones de datos. Existen muchos tipos de formas de representación, tales como tablas, gráficos de varios tipos y distribuciones. Los alumnos no solo deben entender los procesos para generar y leer las formas, sino que también deben ser capaces de criticarlas y de distinguir las ventajas y desventajas de cada una según su propósito.

La interpretación de los datos a menudo implica buscar y establecer relaciones entre los datos, y estas relaciones pueden tener diferentes niveles de complejidad. Las relaciones lineales simples son más fáciles de encontrar que las relaciones o interacciones inversas. Es posible que los estudiantes no consideren que se pueda presentar más de un tipo de relación. Por ejemplo, los niños que investigan la salud de una población de diucas pueden querer examinar el peso de las aves de la población. Es probable que el peso de las diucas adultas constituya una relación no lineal. En otras palabras, como el sobrepeso y el bajo peso atentan contra la supervivencia, se puede esperar que varios de los pesos sean intermedios y pocos se distribuyan en ambos extremos.

Es probable que para interpretar los datos se necesiten utilizar diversas medidas estadísticas. Estas medidas constituyen una abstracción mayor que va más allá de los objetos y hechos que se observaron en un principio. Por ejemplo, para entender la media es necesario entender la proporción. Si los alumnos solo aprenden a promediar los datos de una forma marcada por el proceso y no desarrollan un buen sentido de la proporción, su desempeño se reducirá, incidentalmente, a procedimientos de adición y división que no tienen sentido. Sin embargo, con una buena enseñanza, los alumnos de tercero a octavo pueden aprender a considerar de forma simultánea tanto el origen como la distribución de los datos.

Los alumnos también pueden crear diversas descripciones matemáticas del error. Esto se refleja sobre todo en el caso de la medición: ellos pueden comprender fácilmente la relación entre su propia participación en el acto de medir y la variación en las medidas como consecuencia de esto.

### *Modelos a escala, diagramas y mapas*

Los modelos a escala, los diagramas y los mapas son otros ejemplos de modelamiento. Los modelos a escala, tales como los del sistema solar, se usan ampliamente en la enseñanza de las ciencias para que los alumnos puedan visualizar objetos o procesos que no pueden percibir o manipular directamente.

La facilidad para comprender estos modelos por los alumnos depende de la complejidad de la relación que se quiere comunicar. Incluso los prescolares pueden entender los modelos a escala que se utilizan para describir la ubicación en una sala. Los alumnos de enseñanza básica pueden ver más allá de la apariencia de un modelo para investigar cómo funciona. Sin embargo, los modelos muy grandes o muy pequeños generalmente presentan un enorme desafío para los estudiantes. Por ejemplo, para alumnos del segundo ciclo de enseñanza básica puede ser difícil lidiar con las relaciones de posición de la tierra, el sol y la luna, ya que no solo implican reconciliar diferentes perspectivas (lo que se percibe de pie en la tierra o se ve desde un punto hipotético en el espacio), sino que también visualizar cómo cambiarían estas perspectivas diaria y mensualmente.

Se espera que los alumnos lean o elaboren diagramas y combinen la información del diagrama con el texto que lo acompaña. Comprender un diagrama depende más de su contenido y diseño específico que de las habilidades para resolver problemas del alumno. Puede ser difícil comprender los diagramas por varias razones: en ocasiones no está la información deseada. Otras veces, un diagrama no se presenta en un contexto familiar o fácil de reconocer. Finalmente, a veces algunas de sus características pueden crear confusión. Por ejemplo, la creencia errónea de que la tierra está más cerca del sol en verano que en invierno puede ser, en parte, debido a que las representaciones bidimensionales de la órbita tridimensional provocan esta apariencia de cercanía en algunos puntos más que en otros.

La comprensión de mapas puede ser todo un reto para los alumnos, ya que los mapas conservan algunas de las características del lugar que representan, por ejemplo, la posición relativa y la distancia, pero pueden

omitir o alterar rasgos del paisaje real. Recordemos los mapas trazados por la clase del Sr. Walker en el caso de estudio de biodiversidad del capítulo 2. En esta clase los alumnos aprendieron a desarrollar un plan más sistemático para graficar la distribución y densidad de especies comunes. Es mucho más fácil para los niños pequeños representar objetos que el espacio a gran escala. Es probable que los alumnos también tengan problemas con la orientación, la perspectiva (la tradicional vista aérea) y las descripciones matemáticas del espacio, tales como representaciones de las coordenadas polares.

### *Modelamiento y progresiones de aprendizaje*

En un estudio sobre el crecimiento biológico, Richard Lehrer y Leona Schauble observaron un cambio en las características de la comprensión del modelamiento a lo largo de los cursos de la enseñanza básica<sup>1</sup>. Se realizó una progresión del aprendizaje que destacó ideas diferentes y cada vez más complejas en distintos niveles de puntaje. Cada uno tenía un currículo y tareas diferentes:

- 1° y 2° básico: Crecimiento de bulbos en flor: enfoque en la diferencia
- 3° a 5° básico: Crecimiento de las Wisconsin Fast Plants<sup>2</sup> (plantas de crecimiento rápido): enfoque en la proporción
- 6° a 8° básico: Crecimiento de población: enfoque en la distribución

Ellos observaron que las representaciones iniciales de los alumnos de enseñanza básica generalmente se centraban en objetivos finales, por ejemplo: "¿Qué tan alto crecen las plantas?" Las preguntas de los alumnos acerca de la altura de las plantas derivaron en preguntas relacionadas con la identificación de las características de una planta que mejor representan la altura y cómo se deberían medir. Como se puede esperar, las soluciones de los alumnos a estos problemas varían según el curso.

#### **Representaciones de primero básico**

La altura de las plantas a partir de bulbos en flor se representó con tiras de papel verde para mostrar los tallos en diferentes puntos del ciclo de crecimiento (ver ilustración 6-3). En concordancia con la idea de que los niños pequeños intentan crear modelos que se parezcan a objetos reales o conocidos, los alumnos insistieron inicialmente en que las tiras de papel se adornaran con flores.

Sin embargo, a medida que el profesor atraía más y más la atención de los alumnos hacia las diferencias graduales del largo de las tiras, estos pasaron de pensar en las tiras como una "presentación" de la altura a una



ta, las diferencias en las mediciones se volvían evidentes. Sin embargo, también se dieron cuenta de que los gráficos de crecimiento de las raíces y brotes se caracterizaban por presentar formas similares: una curva logística en forma de S (ver ilustración 6-5).

Haber encontrado semejanzas en la forma de los datos que describen las raíces y los brotes, pero no su medida, provocó que los alumnos se preguntaran acerca de la importancia de las similitudes que habían observado.

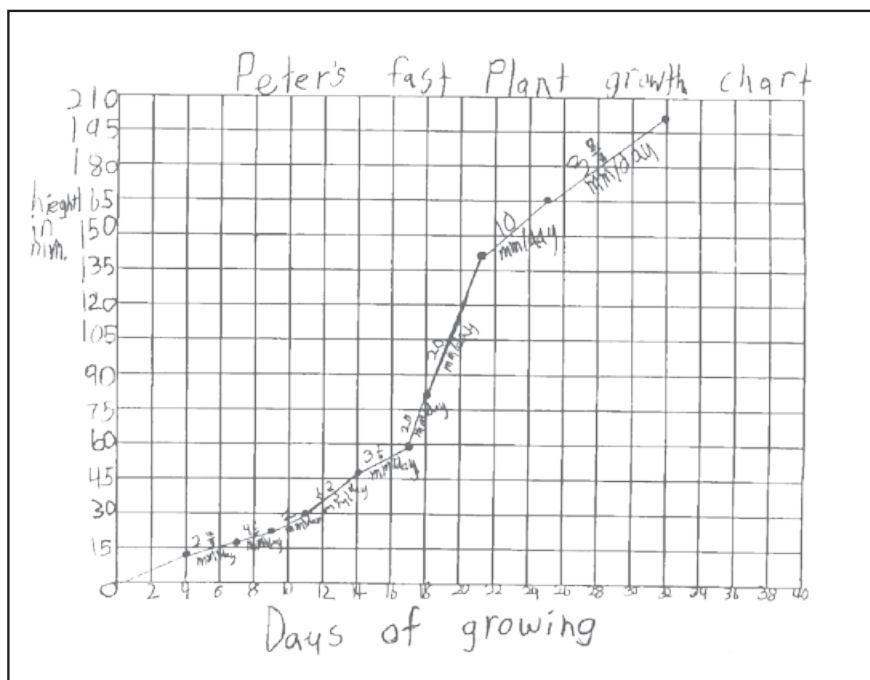


ILUSTRACIÓN 6-5. Representación de la altura de la planta a lo largo del tiempo descrita por una curva en forma de S.

¿Por qué el crecimiento de dos plantas diferentes adquiere la misma forma en el gráfico? ¿Cuándo fue más rápido el crecimiento de las raíces y brotes y cuál fue el significado de esos periodos de crecimiento acelerado en términos de función?

Los alumnos se volvieron hábiles en el uso de representaciones como modelos. Por ejemplo, los alumnos se dieron cuenta que los gráficos de coordenadas  $x,y$  del crecimiento a lo largo del tiempo de dos plantas

diferentes se parecían, ya que ambos eran igual de pronunciados. Sin embargo, los gráficos representaban diferentes tasas de crecimiento, ya que los alumnos que elaboraron los gráficos usaron diferentes escalas para representar la altura de sus plantas. El descubrimiento de que los gráficos parecen iguales pero representan tasas de crecimiento distintas incidió en las interpretaciones de otros gráficos en este y otros contextos durante el resto del año.

### **Representaciones en quinto básico**

En quinto básico se volvió a estudiar el crecimiento, esta vez en los gusanos de cuerno del tabaco (*Manduca*); sin embargo, los recursos matemáticos ahora consideraban ideas acerca de la distribución y las muestras. Los alumnos examinaron las relaciones entre los factores de crecimiento: por ejemplo, las diferentes fuentes de alimento y la relativa dispersión de las características en la población en diferentes puntos del ciclo de vida de los gusanos.

Las preguntas de los alumnos de quinto año se centraron en la diversidad de las características dentro de las poblaciones, por ejemplo, longitud, circunferencia, peso y días de pupación, en vez de centrarse en cambios simples de las tendencias principales de los atributos (ver ilustración 6-6 en la página 120). A medida que la habilidad de los alumnos para utilizar diferentes tipos de representación aumentaba, así también lo hizo su estimación sobre lo que era digno de investigar.

### **Cambios en la comprensión**

En resumen, a lo largo de los cursos de educación básica, los investigadores observaron cambios en las características, desde un énfasis inicial en los modelos que utilizaban una descripción literal hasta las representaciones que tenían un carácter cada vez más simbólico. Una capacidad cada vez mayor para usar una gama más amplia de tipos de representaciones no solo acompaña sino que también ayuda a promover el cambio conceptual.

A medida que los alumnos diseñaron y utilizaron medios matemáticos para caracterizar el crecimiento, empezaron a entender el cambio biológico en maneras cada vez más dinámicas. Por ejemplo, una vez que comprendieron las matemáticas de las proporciones y sus cambios, comenzaron a imaginar el crecimiento, ya no como un aumento lineal simple, sino que como un índice de patrones de cambio. Estos cambios, tanto en la comprensión de conceptos como en las formas de representación escritas o gráficas, parecen apoyarse mutuamente, lo que abre nuevos patrones de investigación.

Los alumnos se percataron de las semejanzas y diferencias entre los gráficos y se preguntaron si el crecimiento de las plantas era similar al de los animales y si el crecimiento de la levadura y las bacterias en una cápsula de Petri era similar al de una sola planta. Los alumnos que estudiaban el crecimiento de organismos como las plantas, los gusanos de cuerno del tabaco y las poblaciones de bacteria se dieron cuenta de que, cuando graficaban los cambios de la altura durante un periodo de vida, todos los organismos estudiados presentaron una curva en forma de S en el gráfico. Sin embargo, establecer este vínculo requería de una comprensión anterior del sistema cartesiano de coordenadas. En este y otros casos, los modelos explicativos y de datos se acoplaron con el fin de promover el desarrollo conceptual. Al mismo tiempo, una mejor comprensión de los conceptos llevó a un mayor perfeccionamiento y una mayor diversidad de los recursos.

La enseñanza actual generalmente subestima la dificultad de relacionar las representaciones con la reflexión acerca del fenómeno científico que representan. Los alumnos necesitan apoyo tanto en la interpretación como creación de las representaciones de datos significativos. Además, ellos aprenden a utilizar representaciones que son cada vez más poderosas simbólicamente y matemáticamente. Los profesores deben incentivar este proceso en distintos cursos.

Observemos más de cerca cómo los niños diseñan representaciones científicas. En el siguiente caso, que también se obtuvo del trabajo de Lehrer y Schauble, se estudia a un grupo de quinto año que trabaja en una investigación acerca del crecimiento de las plantas. Se les propone a los niños que diseñen representaciones de los datos para así lograr ciertas metas de comunicación.





# REPRESENTACIÓN DE DATOS<sup>3</sup>

Los alumnos necesitan oportunidades para construir modelos y representaciones que cumplan con determinados propósitos explicativos y comunicativos. También necesitan modelos y representaciones que mejoren y perfeccionen la experiencia, la que puede facilitarse por medio de un examen crítico de las cualidades de varios modelos o representaciones según un determinado propósito.

En el siguiente ejemplo visitaremos una sala de clases de quinto año donde los alumnos estudian las variaciones entre especies. Luego de seguir el desarrollo de las plantas de crecimiento rápido de Wisconsin por un periodo de 19 días, los alumnos están tratando de buscar la mejor manera para representar sus datos. El profesor Hubert Rohling puso en papel de rotafolios al frente de la sala una lista desorganizada de medidas que los alumnos habían entregado durante los 18 días anteriores. Les pidió que consideraran dos preguntas:

- 1) Cómo van a organizar los datos de manera que les sirvan para considerar una altura típica en el día 19.
- 2) Cómo describir la distribución de las alturas ese día. El profesor prefirió que los alumnos se enfocaran en estas características de la representación a fin de atraer su atención hacia los rasgos más importantes de la representación de un conjunto de datos.

El Sr. Rohling entendía que sus alumnos se enfrentarían al dilema de cómo retratar de mejor forma los datos, lo que sería una actividad muy útil. En lugar de asignar a los niños representaciones de datos determinadas para que las usaran en la recolección de datos, les pidió que crearan sus propias representaciones. Asimismo, incluyó un componente de incertidumbre en la tarea al pedirles que identificaran valores típicos. En general, el enfoque de aprendizaje de los valores típicos es enseñar a los niños diferentes medidas de tendencia central y de asignarles el cálculo de medias o identificar los valores modales y medianos en un conjunto de

datos. Sin embargo, la intención del Sr. Rohling era incitar a los niños a que lidiaran con el concepto de tipicidad y construyeran conocimiento generando y criticando datos.

En el proceso los alumnos se verían forzados a lidiar con la necesidad de mantener intervalos regulares entre los puntos de información (para así entregar una señal visual de la relación cuantitativa entre los datos) y la distribución de las muestras. (¿Qué características de los datos dan una idea completa acerca de la forma total del conjunto?) De esta manera, los alumnos se enfrentarían a los mismos tipos de problemas que los científicos en su trabajo. Estos últimos deben encontrar maneras de organizar la información importante para revelar características específicas de los datos.

Previamente, ya se habían agrupado a los alumnos previamente en siete equipos de trabajo compuestos por 3 a 4 alumnos. Los alumnos de cada grupo trabajaron para construir una presentación de datos que consideraran útiles para responder a las dos preguntas del Sr. Rohling. El Sr. Rohling incitó a los grupos a elaborar su propia forma de agrupar los datos, y les explicó que era importante que la presentación, por sí sola, diera cuenta de la respuesta a las dos preguntas sobre la tipicidad y las alturas.

Las soluciones de los alumnos fueron sorprendentemente diversas. De los siete grupos salieron cinco diseños representativos diferentes. Durante los siguientes dos días los alumnos debatieron acerca de las ventajas y desventajas de las opciones para representar los datos; sus preferencias cambiaron a lo largo del debate. El Sr. Rohling formó parejas de alumnos para que mostraran las representaciones de sus compañeros, para así incentivar la participación y la discusión crítica de las representaciones. Luego, volvió la discusión más fluida entre los autores de las representaciones, los alumnos que las mostraron al resto de la clase y otros compañeros. A pesar de que los alumnos tuvieron la oportunidad de intercambiar ideas entre

ellos, no aceptaron fácilmente las sugerencias de otros. Por el contrario, pasaron por un largo proceso de negociación, ajuste y finalmente acuerdo para determinar la manera de registrar lo que ellos denominaron la forma de los datos. La primera presentación que se discutió se muestra en la ilustración 6-6. Uno de los alumnos, Will, junto a su compañero de equipo, presentó este gráfico en un papel cuadriculado grande. Tal como muestra la ilustración, los alumnos primero diseñaron una escala (en el lado izquierdo del gráfico) para indicar todas las alturas de las plantas. Luego dibujaron líneas en esta escala para representar la altura de cada planta, de la más baja a la más alta. Mientras la clase pensaba sobre esta presentación, Will intentó explicar cómo este gráfico podía responder la pregunta 1: "¿Cuál sería una altura típica en el día 19?"

Will: "Las partes de arriba de las líneas representan la altura. Tienen que ver cuáles líneas se detienen y se mantienen en un nivel. Tienen... tienen el mismo número". [Apuntando al medio del gráfico, donde todas las líneas parecen tener la misma altura].

Sr. Rohling: "¿Entonces buscas una línea horizontal que te diga qué es típico?"

Will: "Sí, porque así se puede saber cuántas de ellas hay".

Sr. Rohling: "¿Y en el caso de la pregunta 2: "¿Cuál es la distribución de las plantas en el día 19?"

Will: "Se puede ver en el gráfico que parte aquí abajo a la izquierda y aumenta en la derecha".

Sr. Rohling: "Sí los datos no estuviesen desperdigados, ¿cómo se verían?"

Will: "Una línea horizontal plana".

Este diálogo muestra que Will entendió que las "mesetas" en el gráfico indican aglomeraciones

en los datos. Sin embargo, admitió que le resultó difícil leer el gráfico, especialmente desde el fondo de la sala. Will propuso que los autores consideraran utilizar colores alternados para los diferentes valores. De esta manera, sería más fácil distinguir cambios pequeños en los valores contiguos.

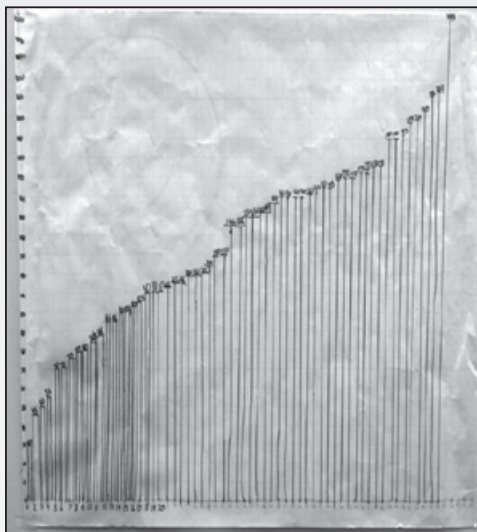


ILUSTRACIÓN 6-6. Presentación de datos que representan la altura de ejemplares individuales en una línea recta.

Los autores de la segunda presentación (ilustración 6-7) sencillamente ordenaron los valores de menor a mayor y luego los escribieron al final de la hoja; los valores que se repetían los apilaban. Al parecer a los alumnos no les alcanzó el espacio al final de la página y para evitar hacer todo de nuevo, escribieron los 4 valores que sobraban (200, 205, 212, 255) en la parte superior izquierda, enmarcados por un rectángulo. Aunque se utilizaron comas para separar los valores, tanto esta presentación como la anterior no lograron conservar el intervalo. En otras palabras, los alumnos no dejaron espacio para indicar los valores que faltaban. Por lo tanto, la distancia lineal no representa en forma

# Clase de Ciencias

precisa la dispersión de los datos. Keith y Matt interpretaron este gráfico.

Keith: "El número típico es, como el que aumenta más que los otros. Es fácil de saber. El más común es la columna más alta (el valor típico). En el caso de la siguiente pregunta para saber cuán dispersos son los datos... solo buscamos el número más bajo aquí... era 30... y si lo restamos de 255. Tenemos 225."

Sr. Rohling: "¿Entonces el gráfico les ayuda a saber eso? ¿O tienen que hacer algo con los números?"

Keith: "Se puede ver que el gráfico es bastante disperso, ya que va de 30 a 255". [Pasando su mano por la línea].

Sr. Rohling: "¿Qué podrías hacer para mostrar de mejor manera la dispersión y la tipicidad?"

Matt: "Creo que se debería sacar esta parte (señala los números "sobras" en el rectángulo). Me confunde. Se les acabó el espacio para esos números de arriba".

La tercera presentación (ilustración 6-8) muestra los valores apilados en "envases" de 10. Esta presentación conserva cada valor de caso y el intervalo (la pila), ya que la altura de cada planta se escribe sobre su "envase" en orden ascendente. Este tipo de presentación se usó el año anterior en una investigación sobre cohetes y es probable que los alumnos la recuerden vagamente.

Después de ver la presentación, Julia y Angeli-que identificaron el modo como el "valor típico" y señalaron que la mayoría de los valores estaban en la columna de los 160. Sin embargo, una alumna se confundió con el gráfico. Ella preguntó, "¿Por qué todos están en grupos de 10?" Julia le contestó: "Así lo hicieron simplemente". El Sr. Rohling no dejó que se quedaran solo con esta respuesta y fomentó el debate. Él quiso que los alumnos reflexionaran sobre por qué los valores "envasados" podían producir diferentes visualizaciones (formas de los datos) de la tipicidad y la dispersión. Con el fin de plantear estos

temas, le pidió a los alumnos que pensarán en una diferencia entre la lista simple y ordenada (ilustración 6-7) y la presentación que estaban viendo en ese momento (ilustración 6-8). Sobre la ilustración 6-7, preguntó: "¿Cómo envasaron los datos este grupo?"

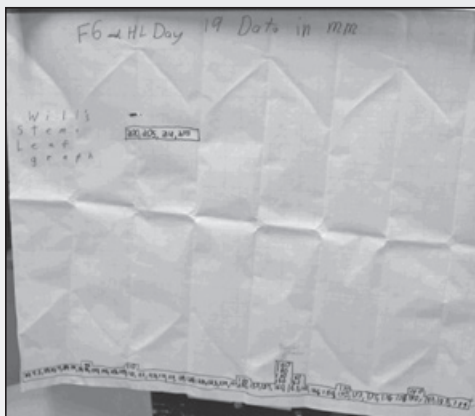


ILUSTRACIÓN 6-7. Presentación de la altura de las plantas en valores ordenados.

Un alumno respondió: "Un valor por envase". Otro alumno preguntó en relación a la ilustración 6-8: "¿Por qué elegiste envases de 10?" Tanner y Erica, los autores del gráfico, explicaron su razonamiento:

Tanner: "Quisimos agrandar los números para que se vieran más fácilmente, así no desperdiciamos tanto espacio".

Erica: "Además pensamos que sería más fácil responder las dos preguntas de esta forma".

Sr. Rohling: "¿Entonces, ustedes creen que envasarlos puede ayudar a identificar qué es típico?"

Erica: "Sí, y cuán dispersos son".

Sr. Rohling: "¿De qué manera envasar los números puede mostrarles eso?"

Tanner: "Lo típico es de 160 a 169". Yo diría que no se trata de un número típico, sino de un grupo típico.

La idea de un grupo típico o región típica llegaría a tener un rol cada vez más importante en las siguientes semanas de enseñanza, especialmente cuando la clase comenzase a debatir sobre las muestras. Por el momento, el Sr. Rohling decidió seguir con la siguiente presentación (ilustración 6-9). En esta presentación se enumeraron los valores en orden ascendente de izquierda a derecha, comenzando desde la parte superior izquierda y moviéndose hacia abajo en filas con los valores repetidos apilados. Katie y Greg, los presentadores, se dieron cuenta de que los autores escribieron su propuesta del valor típico en la parte inferior derecha de la hoja y que además, resaltaron los 160 en su presentación, probablemente para indicar que estos eran los valores considerados típicos. Sin embargo, Katie y Greg consideraron que este gráfico volvía más complejo responder a la pregunta sobre la "dispersión".

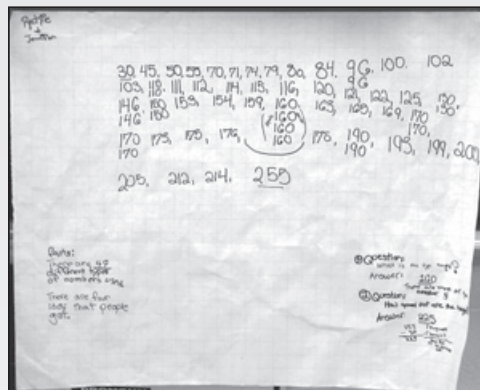


ILUSTRACIÓN 6-9. Presentación de datos con filas de valores ascendentes y pilas de valores repetidos.

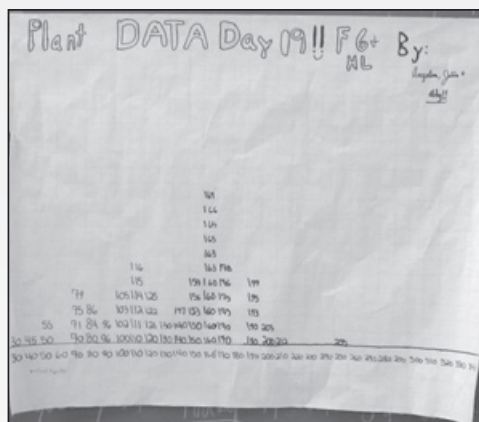


ILUSTRACIÓN 6-8. Presentación de datos en "envases" de 10.

Katie: "Este gráfico está un poco más aglomerado que otros (por ejemplo en las ilustraciones 6-6 y 6-8). No es una línea, por lo que cuesta más verlo. Al principio utilizaron filas, pero después también usaron columnas. Fue difícil de descifrar".

Sr. Rohling: "Entonces, dices que si solo tuvieras que usar los datos del gráfico. . ."

Keith: "Nos habríamos equivocado".

El Sr. Rohling luego regresó a las representaciones anteriores para yuxtaponer dos enfoques diferentes de la dispersión, uno que se enfoca en casos ordenados (ilustración 6-7) y otro en el intervalo (ilustración 6-8). Utilizó un valor inventado (555) para destacar la diferencia entre orden e intervalo.

Sr. Rohling: "Me pregunto cuál gráfico mostraría mejor la dispersión. Olvidemos el número 255 por un momento (el valor más alto en ambos gráficos) y pensemos que el valor más alto se parece a 555 (abre sus manos cada vez más). ¿Se fijan que es bastante diferente a 255? Si consideramos ese número la dispersión sería mucho mayor. Entonces imaginemos que el valor más alto es 555. ¿Qué gráfico nos permitiría ver que hay una mayor dispersión? ¿Qué pasa en el caso de los envases (ilustración 6-8)? ¿Servirá alguno de los gráficos de allá arriba?"

Julia: "Creo que esta (ilustración 6-9) puede ser más difícil de leer desde lejos. Ponen los datos en un cuadrado en vez de una línea". En ese momento, uno de los autores del gráfico reclamó, "Quisimos que los demás pudieran ver los números. Si son pequeños son difíciles de leer. Con más papel, lo hubiéramos hecho en una línea".

Sr. Rohling: "Entonces, Julia, crees que si yo anoto el número 555 aquí (agrega el valor

# Clase de Ciencias

555 inmediatamente al final de la lista ordenada de la ilustración 6-7), este gráfico sería el que demuestra más fácilmente una mayor dispersión?"

Katie: "Es posible que este gráfico (ilustración 6-8) sea el más adecuado para ver la dispersión, ya que igual dejan espacios ahí, aunque no haya nada. Entonces realmente se puede ver cuán disperso es. Se puede ver cuánto espacio hay".

Sr. Rohling: "Dices que si fuera 555, esto se vería aquí afuera? (Indicando un sector en la esquina extrema derecha del gráfico). Entonces, ¿realmente se vería la dispersión en el gráfico? Entonces, ¿qué te permite ver la dispersión?"

Isaac: "No solo los números que nosotros medimos que están entremedio, sino que también los espacios vacíos en todos los números que están entremedio".

En ese momento, los estudiantes parecieron acordar que sí la presentación debía mostrar la dispersión de los datos, era necesario ampliar el gráfico para que se mantuvieran los intervalos, incluso para los que no tienen ningún valor observado. Aunque pocas de las representaciones cumplieron con este criterio, todas las representaciones elaboradas después del debate si lo hicieron.

También se mostraron otras representaciones (ver ilustraciones 6-10 y 6-11). Así, a medida que el debate avanzaba, quedó claro que había dos sistemas de valores en competencia en el ambiente que guiaban las preferencias en las presentaciones de los estudiantes. Por una parte, se favoreció especialmente los diseños personales de los alumnos o los elaborados por amigos cercanos, además se premió la creatividad y novedad. Por ejemplo, mientras los presentadores explicaban la ilustración 6-10, se escuchaba: "¡Eso es genial!" y "¡Ustedes son geniales!" por casi toda la sala. Por otra parte, casi la mitad de los alumnos estaban preocupados, ya que la solución "genial" no parecía ilus-

trar ni tipicidad ni dispersión. La presentación de la ilustración 6-11 se consideró incluso más "genial", pero más de un alumno consideró que la lógica de su diseño no era clara. Pasaron dos días enteros de debate antes de que los alumnos pudieran finalmente cambiar su enfoque desde la novedad del diseño a un criterio que favorezca la claridad de las ideas matemáticas.

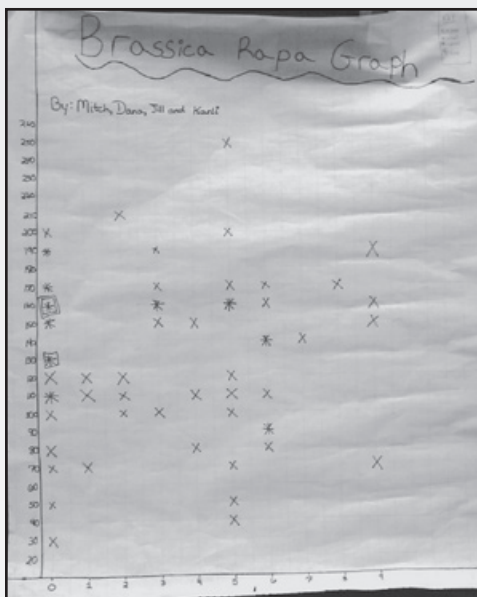


ILUSTRACIÓN 6-10. Presentación de datos en una red de coordenadas bidimensional.

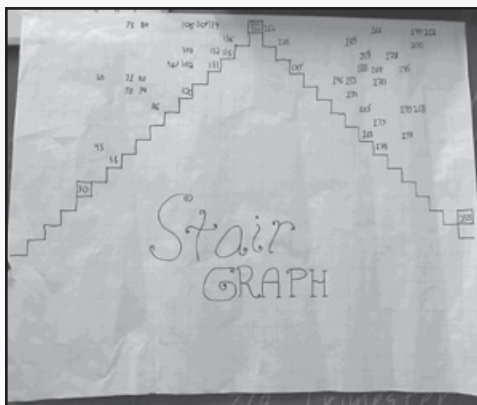


ILUSTRACIÓN 6-11. Representación de datos de una mediana en la cúspide de una pirámide.

Según ilustra este caso, los alumnos de enseñanza básica pueden diseñar representaciones que tengan rasgos comunicativos claros. Tanto las representaciones como los valiosos debates que se generan a partir de ellas, proporcionan una ventana al pensamiento de los alumnos acerca de la representación y los fenómenos que se estudian. Las representaciones múltiples y la crítica de su utilidad para un propósito determinado pueden obligar a los alumnos de enseñanza básica a desarrollar un sentido más claro de lo que deben considerar para elaborar representaciones.

Además de apoyar las habilidades de los alumnos para crear y usar las representaciones, el modelamiento de datos es un terreno fértil para fomentar el avance de las cuatro ramas del aprendizaje científico. En el caso de arriba, por ejemplo, los alumnos ampliaron su entendimiento esencial sobre el crecimiento de las plantas y las poblaciones gracias a los debates y representaciones de datos (Rama 1). Adquirieron facilidad para graficar y comprender los datos en la construcción de las representaciones de la altura de las plantas y la información acerca de la dispersión de los datos y valores típicos que se obtuvo a partir de estas (Rama 2). Se interiorizaron con las ciencias como una actividad dinámica y reflexionaron acerca de la pertinencia de las representaciones. Sus ideas cambiaron con el tiempo. Se pasó de favorecer representaciones "geniales" a aquellas que transmitieran una comunicación clara. Los alumnos que no mantuvieron los intervalos en representaciones previas, sí lo hicieron en las siguientes, contribuyendo así al entendimiento acumulado del grupo (Rama 3). Finalmente, los argumentos y enfoques que utilizaron para revisar sus modelos se rigieron por metas y normas científicas. En el análisis de la presentación de los datos, se siguieron estas normas, ya que se valoraron críticamente sus representaciones y se razonó de forma explícita acerca del desempeño de las representaciones en cuanto cumplían con las metas comunicativas (Rama 4).

Es importante señalar que ninguna de las ramas el aprendizaje se vio de forma aislada. Por el contrario, los avances en una rama apoyaron y se vieron a la luz de las otras ramas. Esto resalta un punto clave que ya se estableció en capítulos anteriores: las ciencias son complejas y aprender ciencias toma tiempo y práctica. El progreso que lograron los alumnos en el caso anterior no solo es el resultado de su compromiso con la tarea investigativa, sino que también el producto de muchos meses e incluso de años de educación científica que estimularon su conocimiento y habilidad en todas las ramas.

Se pueden obtener importantes generalizaciones a partir de los ejemplos de representación analizados en este capítulo. Los gráficos, herra-

mientas informáticas y expresiones matemáticas son ejemplos de herramientas simbólicas y comunicativas que se utilizan en el modelamiento.

Tanto los científicos como los alumnos utilizan representaciones para transmitir ideas complejas, patrones, tendencias o propuestas explicativas de fenómenos en formatos comprimidos y accesibles. Se requiere experiencia para entender y utilizar estas herramientas. Los profesores pueden ayudar a los alumnos a reflexionar acerca de las características y propósitos de las representaciones por medio del diseño y crítica de sus propias soluciones representativas. Esto se logra incentivándolos a interpretar las representaciones de sus compañeros y pidiéndoles que observen lo que una representación dada muestra o esconde, de manera que logren entender las elecciones representativas como un equilibrio entre ventajas y desventajas. A pesar de que trabajar con representaciones presenta muchos desafíos para los estudiantes, también puede ayudarles a establecer vínculos entre su conocimiento y sus habilidades en la sala de clases y las prácticas científicas más sofisticadas.

### *Fuentes de lectura complementaria*

- LEHRER, R., Y SCHAUBLE, L. (2004). Modeling natural variation through distribution. *American Educational Research Journal*, 41(3), 635-679.
- MCNEILL, K.L., LIZOTTE, D.J., KRAJCIK, J., AND MARX, R.W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *Journal of Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Teaching science as practice.. Capítulo 9 Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 251-295). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

## CAPÍTULO 7

# Aprender de las investigaciones científicas

En este libro, hemos descrito cómo la participación de los niños en la práctica científica contribuye al aprendizaje durante el primer y segundo ciclo de enseñanza básica. Usualmente, las investigaciones en estas clases se llevan a cabo durante muchas semanas o meses. En aras de encontrar respuestas científicas, los estudiantes participan en actividades prácticas parecidas a las que realizan los científicos reales, tales como formular preguntas científicas, utilizar datos para examinar fenómenos complejos y conjugar explicaciones que den cuenta de estas observaciones. Por lo general, incluso los científicos profesionales encuentran difíciles estas actividades, a pesar de que ellos cuentan con el acceso a redes sociales y laboratorios bien implementados. Por ende, se entiende que los niños también las encuentren difíciles. Sin embargo, contamos con evidencia convincente que demuestra que cuando en clases se realizan prácticas científicas reales, los estudiantes pueden aprender mucho más sobre las ciencias.

Apoyar el aprendizaje de los estudiantes en las investigaciones científicas exige un trabajo consciente y constante en términos pedagógicos. En investigaciones se ha revelado que, por lo general, solo "realizar" actividades científicas deja a los estudiantes con una impresión errónea de lo que la ciencia es y cómo funciona. Para que adquieran conocimientos y destrezas en todas las ramas de la ciencia, ya sea al momento de aprender explicaciones científicas, producir pruebas científicas, reflexionar sobre conocimientos científicos y participar en los procesos sociales de la ciencia, se necesita impartir una enseñanza constante y con enfocada, además de recibir apoyo. En este capítulo, nos enfocaremos en el tipo de apoyo que los profesores pueden prestar a sus alumnos para permitir que aprendan de las mismas investigaciones científicas que realizan. Examinaremos además varias prácticas que los profesores han desarrollado en conjunto con investigadores con



el fin de ayudar a los estudiantes a participar en las ciencias con una "mente despierta".

### ***Crear problemas significativos***

La raíz de toda investigación científica reside en los problemas complejos y desafiantes. Para que los problemas puedan cumplir la función de apoyar el aprendizaje, éstos deben ser significativos tanto desde el punto de vista de la disciplina como del estudiante.

Si un problema no logra conectar ideas científicas legítimas y fundamentales, entonces no es útil para aprender ciencia. Además, si los estudiantes no le ven el sentido al problema, son pocas las posibilidades de que logren participar en las prácticas científicas productivas que permiten aprender ciencias.

Los problemas científicamente relevantes se basan en los conceptos centrales, tales como la biodiversidad, la teoría atómico-molecular de la materia y la teoría de la evolución, y por lo general se enfocan en los conceptos más básicos que conforman esas ideas centrales. Los problemas científicamente relevantes pueden ser teóricos o prácticos. Los primeros se formulan en términos de ideas científicas básicas: ¿Cómo se puede transformar la materia? ¿Por qué los objetos yacen inmóviles en la superficie de la tierra a menos que algo los altere? ¿Por qué algunas especies sobreviven mientras que otras no?

Los problemas prácticos o aplicados permiten a los estudiantes solucionar problemas reales en formas más directas. Por ejemplo, una unidad sobre apalancamiento y ventaja mecánica puede llevar a los estudiantes a pensar y explorar la forma como un niño podría levantar a un adulto del suelo utilizando solamente una palo de madera de 2 x 4 como palanca y un bloque de hormigón como fulcro. Los estudiantes también pueden aplicar la ciencia a temas sociales más amplios. Por ejemplo, pueden explorar el impacto de una especie invasiva en un conjunto de árboles y pensar en una forma de intervención que permita preservar la salud del ecosistema local. También pueden estudiar el impacto de un problema de salud regional, como la obesidad o el asma infantil, y preparar una estrategia para educar a la comunidad respecto a la prevención de riesgos y tratamiento.

Además de ser científicamente relevantes, las investigaciones deben ser significativas para las personas que las llevan a cabo. Sin embargo, ¿qué significa que un problema sea significativo para un estudiante de educación básica? Un problema significativo debe presentar una oportunidad para lograr algo con la investigación o el resultado, ya sea algo

práctico o intelectual o ambos. En algunos casos, los beneficios de resolver un problema se pueden reconocer fácilmente. Por ejemplo, en la investigación de la palanca y el fulcro, los estudiantes encontrarán el problema presentado y la solución o el resultado relativamente más fácil de identificar y apreciar. Los estudiantes también se relacionarán más fácilmente con los fenómenos curiosos que ocurren en sus vidas diarias, tales como qué provoca que una caja de jugo vacía se compacte cuando uno succiona aire con una bombilla de forma continua.

Sin embargo, muchos de los conceptos y problemas que valen la pena investigar no guardan una relación tan cercana con las propias experiencias de los estudiantes, el conocimiento que ya poseen o los temas que les resultan familiares o que les importan. En estos casos, al principio los estudiantes se pueden sentir menos motivados a encontrar el sentido de un problema, y pueden que necesiten averiguar más acerca de él antes de sentirse motivados por encontrar el significado.

Por ejemplo, muchos estudiantes no consideran que el problema del impacto de una especie invasiva en un arboleda local sea importante. Puede que necesiten información adicional sobre por qué el problema les debería importar. Por ejemplo, la profesora podría ilustrar el concepto de interdependencia en los ecosistemas, es decir, mostrar que todas las especies están vinculadas, incluso los seres humanos, por lo que la influencia de una especie invasiva acarrea consecuencias importantes. De esta forma, se puede construir un puente entre lo que los estudiantes conocen y aprecian y el problema al cual están tratando de vincularse, a fin de darle un sentido. Por ejemplo, en un ejercicio sobre el movimiento de la luz (un tema de estudio común que se enseña en la educación básica) es posible que lo primero que se tenga que lograr sea que los estudiantes reconozcan que el movimiento de la luz es crucial para entender cómo funcionan los telescopios, los ojos y las cámaras. Luego, en las clases subsiguientes, se podría presentar de un modo investigativo y significativo para los estudiantes una descripción y modelo del movimiento de la luz con diagramas de vectores.

### *Estructurar en secuencias la enseñanza significativa*

Para que los problemas siempre sean significativos durante una investigación, desde un principio se le debe prestar gran atención a la manera de estructurar las clases en secuencias. Los estudiantes tendrán que trabajar la capacidad de lidiar con problemas cada más complejos, los que incluyen adquirir gradualmente más conocimiento sobre los conceptos que se están estudiando y las habilidades específicas que se necesitan para llevar a cabo

la investigación. Un enfoque común, aunque limitado, para estructurar investigaciones comprende primero enseñar contenido relacionado con la investigación y luego llevarla a cabo a fin de validarlo. Este enfoque tiene diferentes puntos negativos. En primer lugar, no les da a los estudiantes una razón clara de por qué están utilizando cierta estrategia de investigación para resolver un problema específico. A su vez, esto hace hincapié y fomenta una dualidad entre el contenido y el proceso científico, lo que hace que los estudiantes queden con la idea errada de que la práctica científica es algorítmica y procedimental. Finalmente, no permite reconocer los aspectos cruciales de la ciencia que se identifican en las ramas 3 y 4, es decir, la importancia de reflexionar sobre el propio conocimiento científico durante el transcurso de una investigación y la función que cumplen los compañeros al momento de elaborar argumentos científicos.

Un enfoque más productivo es enseñar deliberadamente el conocimiento y las habilidades que se necesitan "en el momento justo", es decir, en algunos puntos estratégicos durante la investigación. Cuando se les enseña el contenido en un punto de la investigación en el que se pueden aplicar, se pueden situar las nuevas ideas y las nuevas técnicas y destrezas de investigación en contextos que tengan mayor sentido.

En muchos casos, los estudiantes necesitan acceder rápidamente a algunos conceptos básicos que les permitan entender un problema y una investigación. Con el tiempo, necesitarán otras destrezas a medida que la investigación avance: es posible que necesiten un método para recolectar datos relevantes y otro método para analizar los datos. Es casi seguro que necesitarán un apoyo estructurado para establecer vínculos lógicos que les ayuden a ir de los datos a la explicación científica y a reflexionar sobre lo que han aprendido a la luz de las observaciones anteriores. Al igual que los problemas mismos, a los estudiantes estas y otras destrezas les deben hacer sentido, por lo que se les deben presentar en contextos de problemas en donde se les pueda aplicar. De esta manera, se puede contribuir a que los estudiantes comprendan su utilidad.

En recientes investigaciones, se han logrado resultados muy prometedores construyendo y poniendo a prueba unidades de currículos de ciencias los que, desde el principio, logran que los estudiantes participen en problemas que han de investigar durante el transcurso de muchas semanas o meses. Estas unidades estructuran las clases en secuencia, con el objeto de que el estudiante adquiriera conocimientos y destrezas con el tiempo. Así, cuando lleguen a cada nueva fase de la investigación estarán preparados para participar en las labores correspondientes.

"La lucha por la supervivencia" es una investigación de seis a siete semanas que apoya el aprendizaje de los conceptos centrales de la teoría de

la evolución. Creado dentro del contexto del proyecto llamado BGuILE, o *Biology Guided Inquiry Learning Environments* (proyecto de investigación sobre entornos de aprendizaje orientados hacia la biología) en Northwestern University, la unidad ha sido diseñada para apoyar el aprendizaje de los conceptos centrales de la biología evolutiva<sup>1</sup>. Por medio de un programa de computación que muestra una sequía constante en la isla Daphne Mayor, una de las islas Galápagos, los estudiantes investigan cómo la sequía afecta a las poblaciones animales y vegetales de la isla. Se les entrega algunos datos contextuales sobre la isla, leen sobre los apuntes de campo de los investigadores y examinan los datos cuantitativos sobre las características de las especies de la isla en diferentes épocas, con el fin de encontrar cambios en su demografía.

La unidad se desarrolla en cuatro fases, las cuales han sido diseñadas para ir aumentando gradualmente las exigencias de las experiencias de aprendizaje y el refinamiento del razonamiento de los estudiantes respecto a los conceptos centrales. Se les presenta a los estudiantes un problema al comienzo de la unidad: la población de pinzones de la isla se ha reducido de forma pronunciada. La tarea consiste en examinar una gama de evidencia con el objeto de determinar qué causó este declive. Dentro de este contexto, los alumnos estudian el problema durante unas seis semanas, con el objeto de lograr una mejor comprensión por medio de la lectura, la formulación de preguntas, el análisis de datos, las presentaciones y los debates.

En la primera fase, que dura 10 clases, se prepara el escenario verificando el conocimiento que los estudiantes ya tienen sobre la selección natural, entregando conocimiento contextual básico sobre los ecosistemas y la teoría de la selección natural, y fomentando la motivación en los estudiantes.

En la segunda fase, de cinco clases, los estudiantes aprenden sobre las Islas Galápagos y los métodos que los científicos utilizan para estudiar los ecosistemas. Usualmente, proponen hipótesis iniciales, trabajan con un pequeño conjunto de datos y aprenden sobre el sistema de computación que utilizarán durante gran parte de la investigación. Estas dos primeras fases ilustran cómo el conocimiento fundacional se construye sobre la base del contexto de una investigación. Aunque desde el comienzo a los estudiantes se les plantea el desafío de explicar el cambio en la población de pinzones, ellos no trabajan inmediatamente en la recolección y el análisis de datos. En vez, empiezan por comprender los aspectos específicos del caso y los principios claves de la evolución biológica.

**Estructurar en secuencias una unidad sobre selección natural.  
Las cuatro fases de aprendizaje**

Fase 1	Actividades de organización generales Determinar lo que los estudiantes saben, entregar conocimiento contextual, fomentar la motivación de los estudiantes (10 clases).
Fase 2	Contexto para las investigaciones Buscar información, generar hipótesis iniciales, trabajar con conjuntos pequeños de datos (5 clases).
Fase 3	Investigaciones con programas computacionales Investigar datos, preparar y criticar explicaciones para las observaciones (10 clases).
Fase 4	Presentar y comentar los hallazgos Preparar informes, presentar los hallazgos, analizar los puntos principales (6 clases).

Solo después de completar estas 15 clases iniciales los estudiantes comienzan a trabajar con el conjunto de datos de la selección natural. Luego de que los estudiantes se adentran en el problema y adquieren el conocimiento teórico y las destrezas que van a necesitar para avanzar en la investigación, se comienza con la tercera fase de la unidad, la cual consta de diez clases. Durante esta fase, los estudiantes exploran el conjunto de datos, preparan explicaciones sobre los patrones de cambio observados en la demografía de los pinzones, y dan su opinión sobre las explicaciones de sus compañeros. En la cuarta fase, que dura seis clases, los estudiantes, en equipos, preparan informes, presentan sus descubrimientos y analizan los principales puntos donde los informes concuerdan o no.

Las experiencias estructuradas en secuencia, como estas, brindan una especie de ruta que los estudiantes pueden seguir, y les permite adquirir conocimientos y habilidades oportunas que les servirán de ayuda cuando tengan que estudiar problemas más complejos, los que justamente requieren de ese conocimiento que acaban de aprender. Los estudiantes experimentan importantes aspectos de la práctica científica cuando confrontan evidencia, consideran diferentes maneras de observar fenómenos, interpretan evidencia, y trabajan en grupo para determinar lo que entienden y qué interpretaciones consideran convincentes. No se envía a los estudiantes a explorar por ellos solos regiones nuevas de un fenómeno o de una pregunta, sino que se les presenta una experiencia deliberadamente estructurada y diseñada, la cual se enmarca en la investigación de un problema central. De esta manera, los estudiantes pueden adquirir conocimientos sobre los aspectos principales de la evolución biológica

al mismo tiempo que desarrollan las destrezas y habilidades necesarias para trabajar con datos, aprender de los compañeros y presentar argumentos utilizando las convenciones del lenguaje científico.

### *Preparar y defender las explicaciones*

El currículo científico en la mayoría de los sistemas escolares se enfoca casi por completo en "las nociones definitivas de la ciencia", es decir, en el conjunto de los hallazgos científicos que conforman los textos escolares. Cuando a los estudiantes se les brinda la oportunidad de "hacer" ciencia, por lo general se presentan estas experiencias como experimentos con pasos y resultados predeterminados. En otras instancias, las investigaciones científicas adoptan un enfoque "obsesionado con las actividades", por lo que los estudiantes tienen que completar actividades de las cuales no entienden el propósito, además de no recibir ayuda del profesor.

Las investigaciones productivas no siguen un guion definido. Sin embargo, tampoco carecen de dirección. No se trata simplemente de entregar a los estudiantes ciertos materiales u oportunidades para trabajar en problemas científicos. En vez de eso, este tipo de investigaciones son estructuradas y reguladas por la profesora o el profesor, quien cumple una función primordial en la experiencia de investigación. Para que las investigaciones funcionen, los profesores tienen que lograr que sus estudiantes le vean el sentido a la actividad, tienen que crear espacios para interacciones sociales que sean útiles para los procesos cognitivos y deben enfocar sus esfuerzos en llevar a los estudiantes a pensar en la ciencia de manera cada vez más sofisticada. Los profesores y los investigadores han encontrado formas de estructurar y programar los aspectos de las investigaciones científicas a fin de que, con el tiempo, los estudiantes adquieran modos de pensamiento e interacción científica y que, a partir de estos, aprendan ciencia. También han encontrado prometedoras formas de enseñar a los estudiantes las prácticas fundamentales para la formulación de explicaciones científicas, al igual que maneras de integrar estas prácticas en el trabajo diario de los alumnos.

Ya hemos hablado sobre una unidad científica del proyecto BGuILE llamada "Lucha por la supervivencia". Esta unidad se diseñó a partir de una iniciativa de investigación y diseño llamada Investigación y cuestionamiento de nuestro mundo por medio de la ciencia y la tecnología



(*Investigating and Questioning Our World through Science and Technology, IQWST*). El objetivo de esta iniciativa es diseñar currículos de ciencia para el segundo ciclo de enseñanza básica, los cuales den cabida a prácticas científicas de explicación y argumentación dentro de las investigaciones en las que los estudiantes participan<sup>2</sup>.

Las unidades de la iniciativa apuntan tanto a enseñar principios científicos como prácticas científicas que implican elaborar y defender las explicaciones que los alumnos y los profesores comparten dentro de un marco que define claramente las características de esta compleja actividad. Este marco incluye tres componentes:

- **Afirmación:** ¿Qué pasó y por qué pasó?
- **Evidencia:** ¿Qué información o qué datos respaldan la afirmación?
- **Razonamiento:** ¿Qué justificación explica por qué los datos cuentan como evidencia que respalda la afirmación?

De esta manera, el currículo ayuda a los estudiantes a dar sentido a los fenómenos que se están estudiando (afirmación), articular lo que comprenden (evidencia) y defender lo que entienden ante sus compañeros (razonamiento).

Como se describe anteriormente, parte de la unidad de "La lucha por la supervivencia" incluye un proyecto de dos semanas en que los estudiantes investigan una base de datos que contiene información sobre la demografía de los pinzones en las Islas Galápagos. Los estudiantes trabajan en pares con el objeto de interpretar los datos de la computadora y determinar por qué murieron tantos pinzones durante la temporada seca de 1977 y por qué algunos fueron capaces de sobrevivir. Las explicaciones para esta pregunta que se apoyan en bases científicas utilizan los datos para identificar qué elementos de las variaciones les permiten a algunas aves sobrevivir la sequía y a otras no. Por ejemplo, una de las respuestas postula que las aves que sobreviven a la sequía tenían picos más largos, lo que les permitía abrir las semillas más duras que también habían sobrevivido la sequía. Otro argumento posible a partir de los datos (pero que científicamente es menos preciso) podría ser que las aves que pesaban más tenían mayores reservas de grasa, lo que las volvía más aptas para sobrevivir la escasez de comida.

A continuación, se encuentra un extracto de la presentación de un grupo de estudiantes, cuyos miembros utilizan un marco basado en la afirmación, la evidencia y el razonamiento para reflexionar sobre su análisis y explicar sus ideas presentes sobre la investigación.

Evan: "Una vez más, la pregunta que vimos durante todo nuestro proyecto, y que no tiene una solución sencilla, es la siguiente: ¿por

qué en 1997 murió un 40 % de la población de pinzones en la Isla Daphne Mayor, una de las Islas Galápagos, y por qué algunas aves sobrevivieron? Este es nuestro informe. Mi nombre es Evan. Ella es Leona y ella, Nelly. Aquí vamos".

Leona: [*Leyendo de un afiche*]: "Tenemos algunas pocas teorías. Una vez finalizado nuestro estudio de los pinzones en la isla, nos enfocamos en averiguar por qué la población de pinzones en la isla disminuyó de manera pronunciada en 1977. Creemos que el descenso de la población comenzó con el cambio climático en Daphne Major. En 1977, vimos que hubo una considerable escasez de lluvias en comparación con el año anterior (1976). He aquí un gráfico que muestra los años y los diferentes cambios. [Apunta al gráfico.] Se registraron 167 centímetros de precipitaciones en la temporada de lluvias de 1976, pero solo se registraron 20 centímetros de precipitaciones en la temporada de lluvias de 1977. La falta de lluvias causó una disminución de la vida vegetal, por el hecho de que todas las especies vegetales, incluidos los cactus, necesitan agua o lluvia para sobrevivir. Por ejemplo, en la temporada seca de 1976, había 130 semillas de portulaca en la isla, pero en la temporada seca de 1977, cuando no se registraron precipitaciones, no se encontraron en ningún lugar portulacas. En este cuadro se muestra que en la temporada de lluvias de 1977 habían 20 semillas de portulaca, en la temporada seca del mismo año no habían y en la temporada de lluvias de 1978 se vuelve a registrar un aumento, hasta llegar a las 380 semillas".

Evan: "Luego de que termine de leer, voy a explicar brevemente de qué se trata el cuadro. Lo que hicimos después fue encerrar en un círculo todos los pinzones en ambos grupos: el conjunto de los pinzones con sobrepeso y el conjunto de los pinzones con bajo peso que sobrevivieron. Determinamos que aproximadamente un 61 %, o 14 de 23, de los pinzones con sobrepeso sobrevivieron la sequía, mientras que solo un 40 %, o 9 de 23, de los pinzones de poco peso sobrevivieron la sequía. También nos dimos cuenta de que los pinzones con sobrepeso eran por lo general machos, y los pinzones bajo el peso normal eran hembras".

Nelly: "Aquí están los grupos. Encerramos en un círculo los con sobrepeso, 14 en círculos, y todos son machos. Y todas los otros aquí son hembras. Hay 9 círculos y todas están con bajo peso".

Podemos ver el marco que comprende afirmación, evidencia y razonamiento en la parte de la presentación de Leona. Como ella explica, el grupo *afirma* que las lluvias son la razón tras el declive en la demografía de los pinzones. El grupo entrega un registro de las precipitaciones



anuales como evidencia de la afirmación. Luego, continúan razonando que las plantas requieren lluvias para sobrevivir y que los pinzones necesitan plantas como fuente de alimento para sobrevivir. En este punto de la investigación, Leona y sus compañeros todavía no han dado con la explicación que mejor explicaba el declive en la población de los pinzones.

Sin embargo, la unidad todavía no está completa, y ellos y sus compañeros tienen que encontrar una forma científica e informada para trabajar, representar y analizar el problema científico. A medida que siguen examinando los datos y desarrollan sus destrezas científicas, se podrán ir preparando para aprender aún más de la investigación.

### *Redactar la función de los estudiantes*

Otra forma en que los profesores pueden estructurar y dirigir el pensamiento de los estudiantes mientras participan en investigaciones científicas es definir y asignarles funciones particulares que deben asumir durante las etapas de la investigación. Cuando los científicos se reúnen a hablar sobre sus trabajos y a intercambiar ideas, este intercambio ocurre en un entorno de creencias y objetivos en común que regulan esa participación. Se hacen preguntas entre ellos, critican sus ideas y se ponen a prueba de acuerdo con un conjunto acordado, pero por lo general implícito, de convenciones culturales. Las comunidades en las salas de clases se basan en los mismos conjuntos de creencias, objetivos y modos de participación con el objeto de aprender de las investigaciones científicas. Sin embargo, si los estudiantes no cuentan con buen entrenamiento ni la suficiente experiencia en comunidades de este tipo, entonces necesitarán guía y estructuración explícita para compartir en formas que sean científicamente provechosas y para aprender de las investigaciones científicas.

La comunidad científica llega a un consenso por medio de propuestas y argumentación sobre ideas, ya sean estas comunicadas de forma escrita u oral. Esto les brinda a los científicos un medio para poner a prueba sus ideas ante otros científicos, quienes a su vez les entregan sus opiniones. De esta manera, la comunidad científica llega a una comprensión consensuada sobre cómo funcionan algunos aspectos del mundo natural. Una práctica muy similar toma lugar en las aulas científicas que sí funcionan. Los estudiantes hacen preguntas, hablan y escriben sobre los problemas, dan argumentos sobre los modelos y, con el tiempo, llegan a una comprensión más detallada y científicamente válida de los fenómenos naturales. Este tipo de interacción, que es tanto social como cognitiva, no solo apoya el aprendizaje, sino que también comunica cómo se crea el conocimiento científico.

Como ya se señaló en el capítulo 5, el diálogo en clases puede ser provechoso en términos académicos, tanto en forma general como en forma

específica para la ciencia, sus ideas y sus prácticas. El aprendizaje que se obtiene de las investigaciones científicas de orden práctico se mejora de manera sustancial cuando los estudiantes les presentan sus ideas y argumentos a sus compañeros. En estas instancias, la comunicación entre los estudiantes lleva al aprendizaje general, pero también entrega a los alumnos la experiencia única de ciencia orientada a la práctica.

Por ejemplo, cuando los estudiantes debaten el valor de una observación científica dada están haciendo algo similar a lo que los científicos hacen cotidianamente. No obstante, son pocos los estudiantes que han tenido la experiencia de hablar y pensar con sus compañeros de la manera en que se espera que lo hagan durante las investigaciones. De hecho, las experiencias de clase normales sugieren una dinámica diferente, en donde las respuestas se buscan en los textos escolares y los profesores, sin recurrir a las opiniones de los compañeros o a la información presentada. Rara vez se celebra la argumentación entre los estudiantes como actividad y por lo general se considera una experiencia áspera.

Para ayudar a los estudiantes a comprender correctamente las formas de interactuar durante las investigaciones científicas, los educadores han ideado métodos para ayudarlos a adquirir nuevos roles sociales y construir en conjunto nuevas normas de interacción que emulen la forma de interactuar de los científicos. Los educadores puede establecer tales normas por medio de la imitación deliberada del modelo de interacción (el que comprende preguntar, escuchar, reflexionar y responder) que los científicos utilizan en sus intercambios, al igual que asignar funciones basadas en los elementos básicos de este tipo de interacción. Este enfoque tiene su origen en el enfoque de enseñanza recíproca para la comprensión de lectura, que les vuelve patente a los estudiantes el proceso de comprensión<sup>3</sup>. En este tipo de enseñanza, los profesores modelan los elementos importantes de la comprensión, como predecir, resumir y cuestionar. Posteriormente, los estudiantes empiezan a manejar los elementos individuales de la tarea. Esencialmente, la tarea se distribuye entre los estudiantes, aunque todos comparten la responsabilidad de terminarla.

En el siguiente caso de estudio, observaremos más de cerca a una clase de quinto año en donde a los estudiantes se les enseña y se les asignan funciones que deben cumplir durante la investigación. Estos roles han sido diseñados para emular una variedad de prácticas sociales e intelectuales que son más o menos naturales para los científicos experimentados. Se debe tomar en cuenta que en este estudio de caso la palabra "teoría" se utiliza para referirse a las explicaciones de los estudiantes más que a las teorías científicas formales, como lo son la teoría de la evolución o de la tectónica de placas.

## DIFERENCIAS ENTRE MASA Y DENSIDAD<sup>4</sup>

Durante el último mes, Clarence Wilson, un profesor de quinto año en un colegio público al sur del barrio de Bronx, ha estado trabajando con sus colegas para diseñar una unidad sobre masa y densidad. La unidad combina la exploración de un fenómeno de la vida real que guarda relación con las ideas de hundir y flotar, con un modelo conceptual de densidad diseñado e implementado por computador. Utilizaron un programa llamado Modeling with Dots (modelar con puntos), el que pone a disposición de los estudiantes un modelo de densidad basado en "puntos y recuadros" (ver ilustración 7-1).

De acuerdo con el modelo, cada recuadro representa una unidad estándar de volumen (una unidad de tamaño o ut), mientras que un punto representa una unidad de masa (um). El número de puntos por recuadro representa la densidad (um/ut). Por lo tanto, ambos objetos que se muestran tienen el mismo tamaño: 8 recuadros, u 8 ut. El objeto de la izquierda pesa 24 unidades de masa, mientras que el objeto de la derecha, con 40 unidades de masa, es más pesado. La densidad del objeto de la derecha es mayor (5 um/ut contra 3 um/ut).

Utilizando otro programa llamado Archimedes, los estudiantes fueron capaces de llevar a cabo experimentos simulados con objetos que se

hundían y flotaban, junto con el modelo de densidad de puntos y recuadros (ilustración 7-2).

Al momento de llevar a cabo estos experimentos, los estudiantes del Sr. Wilson podían escoger libremente el material que compondría el objeto y el líquido, y luego tendrían la oportunidad de recoger los datos que encontrarán en los experimentos. Se consideró constante el tamaño de los objetos en las simulaciones, a fin de que los estudiantes se pudiesen enfocar en la densidad como variable. Se les alentó a descubrir la regla que utilizaba el computador para determinar si el objeto flotaría o se hundiría en tal o cual líquido. Esta regla, que se atiene a la realidad, se basa en las densidades relativas del objeto y el líquido.

En la ilustración 7-2, el objeto flota. Las densidades relativas del material con respecto al líquido es 1:3, y un tercio del objeto se hunde en el líquido.

La idea era que la unidad durara cerca de 15 clases. Los estudiantes participaron en algunas actividades de referencia preliminares, las que implicaban hacer predicciones sobre 16 objetos comunes, entre los cuales se encontraban una cuchara plástica, una manzana y un pedazo de grafito.

Ellos predijeron que los objetos se hundirían o flotarían, compartieron sus predicciones y sus

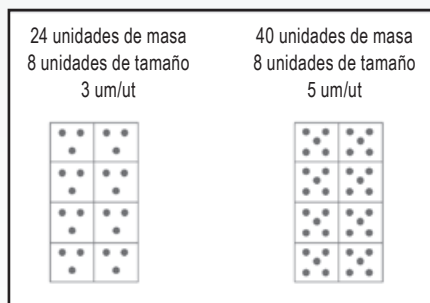


ILUSTRACIÓN 7-1. Dos objetos representados en el modelo de recuadro y puntos, con sus datos especificados.

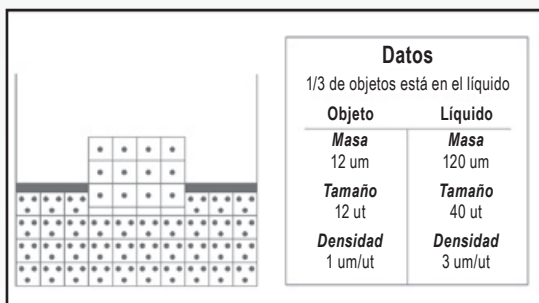


ILUSTRACIÓN 7-2. Representación de recuadros y puntos de un objeto flotante en un líquido, con datos especificados.

formas de razonar, pusieron a prueba sus pronósticos, registraron sus resultados y escribieron informes que luego compartieron con sus compañeros.

Se les asignó a los estudiantes roles procedimentales rotativos, tales como el de investigador, redactor y diseñador de afiches. Mientras trabajaban en pequeños grupos, recorrieron una serie de estaciones de trabajo: primero se les pidió ordenar un conjunto de objetos, por masa y luego por volumen; a continuación tenían que hacer predicciones; posteriormente registrar sus resultados; y finalmente preparar un informe de la clase. Los objetos que se utilizaron en las distintas etapas fueron cilindros y cubos grandes y pequeños, un conjunto de esferas de madera, vidrio acrílico, plástico reciclado y aluminio. Un conjunto diferentes de estos elementos se utiliza en cada estación de trabajo.

Después de este periodo de exploración, predicción y teorización, se les presentó a los estudiantes el modelo de puntos y recuadros de masa, volumen y densidad. Trabajaron en las computadoras para explorar y aplicar el modelo de densidad a los distintos objetos, algunos de ellos reales y otros imaginarios. Luego, revisaron algunos trabajos anteriores utilizando el modelo, a partir del cual explicaron por qué algunos objetos reales se hundían mientras que otros flotaban. Finalmente, aplicaron el modelo (con y sin ayuda del computador) al momento de explorar la expansión termal, que es la razón de por qué el alcohol caliente ocupa más espacia-

pero pesa lo mismo y tiene menor densidad. También exploraron por qué algunos objetos se hundían en el agua caliente pero flotaban en el agua fría.

Al comienzo de la investigación, el Sr. Wilson decidió tratar algo nuevo: asignar roles de público a los estudiantes cuando un grupo presentaba sus hallazgos. Tenía la esperanza de que esto ayudaría a alentar un diálogo productivo y la participación de todos durante la presentación de los estudiantes. Por lo general, el tiempo de presentación se había convertido con el tiempo más en una conversación entre el grupo que presentaba y el Sr. Wilson que en un diálogo con toda la clase, que era la intención inicial. Se les asignó a los estudiantes en el público, de forma rotativa, tres roles: estar atento a predicciones y teorías, revisar resúmenes de resultados y evaluar la relación entre las predicciones las teorías y los resultados. Estos tres roles fueron diseñados para ayudar a darle una guía a los estudiantes a medida que exploraban, por medio del diálogo, tres prácticas intelectuales importantes en la ciencia: predecir y teorizar, resumir resultados y relacionar las predicciones y las teorías a los resultados (lo que a veces se denomina coordinación entre teoría y evidencia).

El Sr. Wilson sospechaba que tener que asumir y actuar roles sería difícil para sus estudiantes, por lo que creó diferentes estrategias para apoyarlos. Luego de la presentación de los roles, la clase hizo una "tabla de preguntas", en la cual se mostraban ejemplos de preguntas correctas para cada uno de los roles en el público de estu-

PÚBLICO DE ESTUDIANTES ROLES	PRÁCTICAS INTELECTUALES EN LA CIENCIA
1. Revisar predicciones y teorías	Predecir y teorizar
2. Revisar resúmenes de resultados	Resumir resultados
3. Evaluar la relación entre predicciones, teorías y resultados	Relacionar las predicciones y teoría con los resultados

# Clase de Ciencias

diantes. Para el primero, que consistía en revisar las predicciones y las teorías, las preguntas de la tabla decían:

**"¿Cuáles eran algunas de tus predicciones?"**

**"¿Puedes defender tu predicción usando teoría?"**

**"¿Es tu teoría inteligible, plausible y útil?"**

Estos tres últimos conceptos correspondían a términos que el Sr. Wilson había trabajado con los alumnos durante todo el año.

Para el segundo rol, revisar los resúmenes de los resultados, los alumnos podían preguntar:

**"No me queda completamente claro lo que hallaste... ¿Puedes explicar la evidencia con mayor claridad?"**

Para el tercer rol, relacionado con las predicciones, teorías y resultados, las preguntas señalaban:

**"¿Encontraste lo que habías predicho originalmente?"**

**"¿Tus resultados respaldaron tu teoría?"**

**"¿Qué evidencia tienes que confirmen o refuten tu teoría?"**

Al comienzo de la unidad, los estudiantes dependieron mucho de la tabla de preguntas al momento de actuar sus roles de público. Al principio, tuvieron complicaciones para distinguir entre predicciones y teorías. Para lidiar con esto, el Sr. Wilson creó una "tabla de teorías", la cual guardaba registro de las distintas teorías que se proponían a lo largo del tiempo. Se revisaban las teorías constantemente siempre que los estudiantes decidieran que algunas de las teorías se podían descartar sobre la base de los resultados obtenidos por algunos de los grupos. La idea detrás de la tabla de teoría es reforzar la noción de que la ciencia comprende un proceso de revisión de pensamiento constante, dado que siempre aparece nueva evidencia. El Sr. Wilson había decidido que la tabla de teoría lo iba a ayudar también a cambiar la noción que reinaba entre sus estudiantes (y entre muchos

otros) de que la ciencia tenía por objeto "llegar a la respuesta correcta". La tabla de teoría sirvió para mostrar abiertamente la manera en que el pensamiento conjunto de los estudiantes cambiaba con el paso del tiempo. A continuación se muestra un extracto de una de las clases del Sr. Wilson en la que los estudiantes utilizan roles de audiencia de forma eficaz.

Sr. Wilson: "¿Quién sabe alguna teoría sobre la madera? Por ejemplo, ¿por qué flota la madera? ¿Por qué predijeron que la madera flotaría?"

Deana: "Porque yo he visto que flota".

Sr. Wilson: "Entonces, lo que estás diciendo es que el hecho de haber visto algo antes es una razón o una explicación de por qué algo flota o se hunde".

Deana: "Sí, creo que sí".

Sr. Wilson: "¿Así lo crees? ¿Qué más nos puede decir?"

Deana: "Porque si lo has visto antes, entonces es una teoría".

Jody: "Espera, ¿no habíamos decidido que la experiencia es una buena ayuda para hacer predicciones, pero que no valía para explicar por qué algo ocurría?" [*Christina levanta la mano.*]

Sr. Wilson: "Christina, ¿hay algo que quieras añadir?"

Christina: "Bueno, como que no concuerdo con Deana, porque una teoría es como diferente a una predicción. Una teoría es por qué algo pasa. No se trata solo de adivinar o predecir".

Caleb: "Yo sé lo que es una teoría. Una teoría es como 'todas las maderas flotan'. Eso significa que todas las maderas tienen que flotar, porque de lo contrario la teoría está mal. Mi teoría es que uno puede atrapar aire debajo de la madera".

Sr. Wilson: "Bien, entonces déjeme ver si entiendo lo que están diciendo. ¿Dices que la aseveración 'todas las maderas flotan' es una teoría?"

Caleb: "Sí, una teoría que ha sido probada que es correcta".

Sr. Wilson: "¿Me dice eso por qué la madera flota?"

Caleb: "Uh, no, no realmente".

Sr. Wilson: "Muy bien, entonces ¿me puedes dar un ejemplo? Tomemos un trozo de madera. Algunos de nosotros hemos visto en experimentos que la madera flota. Tenemos evidencia de que la madera flota. Pero, ¿por qué flota la madera? ¿Qué hace que flote? ¿Tienes una teoría que nos puedas compartir?"

[*El Sr. Wilson anota la teoría de Caleb en la tabla de teoría.*]

149

Elinor: "Tu teoría no me es realmente [mira a la tabla de preguntas] inteligible. No comprendo completamente lo que quieres decir con eso de que 'la madera atrapa el aire por debajo'. [Ella mira a la tabla de preguntas nuevamente.] De hecho, tampoco me resulta muy plausible. Lo que quiero decir es, ¿cómo sabes que la madera atrapa el aire y lo deja debajo? No es como una copa ni nada, por lo que ¿cómo podría un trozo de madera hacer eso? ¿Qué evidencia tienes que confirmen tu teoría? ¿Viste burbujas de aire? ¿O solo lo pensaste?"

Caleb [*Sonriendo*]: "Como que se me vino la idea. Pero me gusta. Quiero decir, tal vez tenga alguna relación con el aire".

Este es un ejemplo de cómo los profesores pueden estructurar deliberadamente los roles de los estudiantes para guiar el razonamiento y el diálogo de los estudiantes hacia aspectos importantes de la investigación científica. Durante un número de clases, los estudiantes practicaron la toma de roles y llegaron a comprenderlos de dos formas. En primera instancia, aprendieron a tomar roles procedimentales, lo que les entregó un marco para lograr que el grupo realizara su trabajo. (Es importante notar que estos roles eran genéricos y no estaban ligados a prácticas científicas específicas). Sin embargo, además de estructurar las tareas de los grupos de forma productiva, los roles procedimentales dieron a los estudiantes la oportunidad de experimentar con los roles asignados y de llevar a cabo tareas interdependientes. Luego, se les asignó a los estudiantes uno de los tres roles de audiencia. De forma rotativa, los estudiantes escucharon las presentaciones de sus compañeros y les hicieron preguntas con el fin de verificar sus predicciones y teorías, revisaron los resúmenes de los resultados y evaluaron la relación entre las predicciones, las teorías y los resultados. En este caso, los estudiantes actuaron los roles científicos. Se definieron mejor los roles específicos del público por medio de una demostración pública en donde se indicaron algunos ejemplos de preguntas pertinentes específicas de cada rol. A su vez, la contribución de los alumnos al asumir los roles fue un gran aporte.

En el caso de la clase del Sr. Wilson, vimos a los estudiantes cumplir funciones en el contexto de una presentación. Christina llevó a Deana a explicar su predicción (Rol 1, revisar las predicciones y las teorías). Posteriormente, dado que Caleb había afirmado que "toda la madera flota", Elinor consultó la tabla y encontró el lenguaje apropiado para rebatir su afirmación, que para ella no era plausible. Con el respaldo del profesor, que escucha las ideas, y de los compañeros que entienden como cumplir con sus roles en los debates científicos, los estudiantes pueden trabajar sin problemas en clarificar, respaldar y refinar sus ideas.

Redactar la función de los roles y enmarcar la ciencia en un marco de explicación son dos maneras en que los profesores creativos puede enseñar y apoyar a sus estudiantes de forma explícita para que estos puedan afirmar y dar sentido a las investigaciones científicas. Hemos elegido hablar sobre estas estrategias en particular porque han sido más estudiadas que otros enfoques y sus resultados son prometedores. Otras estrategias que los profesores pueden utilizar para promover el diálogo incluyen colocar "semillas de debate", tales como "concuero con X cuando dice Y, porque [citar evidencia]" o "Me gustaría preguntar a X que explique su razonamiento [evidencia, modelo, teoría, etc.] en más detalle porque no la entendí completamente". También podrían utilizar otros métodos, tales como los debates orientados a la adopción de posturas, en los que los estudiantes deben elegir ciertas posturas (por ejemplo, ante dos explicaciones posibles para un mismo fenómeno observado) y defenderlas de acuerdo con los comentarios de sus compañeros. Todo esto se realiza antes de llevar a cabo la demostración y obtener el resultado determinado. Hay muchas formas de invitar a los estudiantes a participar en el discurso científico como participantes legítimos, incluso antes de que se encuentren completamente preparados para realizar investigaciones científicas.

# OBSERVAR NUESTRO PENSAMIENTO CIENTÍFICO

*Las investigaciones científicas pueden durar meses y años en la enseñanza básica y, cuando funcionan, puede provocar cambios importantes en la forma en como los alumnos piensan sobre los tópicos que están estudiando, sobre su propio pensamiento y aprendizaje y sobre el objetivo de la ciencia. Cuando logran darse cuenta cómo su razonamiento acerca de un fenómeno ha cambiado y evolucionado, los estudiantes están viendo el aprendizaje en acción. En otras palabras, llegan a comprender el sentido real de aprender algo, un tipo de comprensión que se defiende en la rama 3. Al igual que gran parte del aprendizaje en las ciencias, este tipo de progresión no puede progresar sin el apoyo deliberado de los profesores y los materiales de enseñanza necesarios. Es clave reflexionar sobre el propio conocimiento científico para hacer y aprender ciencia. Los científicos integran el conocimiento que obtienen a través de las investigaciones solo cuando se le examina en relación a lo que ya conocen, a lo que creen que podría ser o a lo que antes ponían en duda. Los niños, al igual que los científicos, tienen que aprender a apreciar la historia de su propio pensamiento y corregirlo, de ser necesario, a la luz de las investigaciones posteriores.*

*Para analizar cómo los profesores pueden lograr que sus estudiantes reflexionen sobre el cambio que sufre su conocimiento utilizando este método, vamos a visitar la clase de la Hermana Mary Gertrude Hennessey, una profesora de 1° a 6° año en una pequeña escuela básica fuera de la ciudad.*

*La Hna. Hennessey sabe que, para lograr que con el tiempo sus alumnos reflexionen sobre su propio conocimiento, ellos necesitan varias oportunidades para trabajar en los conceptos científicos claves. Ella enfoca sistemáticamente sus clases a las ideas principales que se enseñan de forma acumulativa año tras año. También permite que sus alumnos hablen y piensen profundamente sobre su conocimiento de dos maneras: primero, los guía hablando y analizando la forma en que la comunidad científica diseña y desarrolla conocimiento; segundo, los ayuda a pensar en detalle sobre su propio pensamiento y cómo ser "metacognitivos".*

*En investigaciones se ha señalado que los estudiantes de 6° año de la Hna. Hennessey comprenden mucho mejor la naturaleza de la ciencia que los alumnos de sexto año de una escuela similar. En la tabla a continuación se muestra la forma en que su rol y el de los estudiantes cambian de primero a sexto año.*

---

Echemos un vistazo a la Hna. Hennessey y sus estudiantes en acción<sup>5</sup>:

Durante una demostración en clase en el curso de primer año de la Hna. Hennessey, se coloca un gran contenedor transparente con agua sobre un retroproyector. Se le pide a los estudiantes que predigan lo que creen que les ocurrirá a los objetos que se coloquen en el agua. Los objetos en cuestión son dos rocas, una piedra de granito pequeña de 2 centímetros de diámetro, y una piedra pómez grande de 10 centímetros de diámetro. No se les permitió a los estudiantes tocar las piedras antes de la demostración.

A una estudiante, Brianna, se le pidió que explicara sus predicciones.

Hna. Hennessey: "¿Quién puede predecir lo que cree que le va a pasar a estas piedras? ¿Brianna?"

Brianna: "Yo creo que las dos piedras se van a hundir, porque yo sé que las piedras se hunden. He visto muchas piedras hundirse, y cada vez que tiro una piedra al agua, se hunde".



## METACOGNICIÓN CADA VEZ MÁS SOFISTICADA DE PRIMERO A SEXTO AÑO<sup>6</sup>

AÑO	ROL DEL ESTUDIANTE	ROL DEL PROFESOR
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicar de forma explícita sus opiniones sobre el tópico en cuestión.</li> <li>Comenzar a apreciar el pensamiento que se utiliza para respaldar las opiniones.</li> <li>Comenzar a diferenciar entre lo que uno piensa y por qué uno lo piensa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encontrar una gama de formas en que los estudiantes puedan exteriorizar y representar lo que piensan sobre un tema.</li> <li>Proveer a los estudiantes distintas experiencias para comenzar a articular el razonamiento necesario que respalde ideas y creencias.</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comenzar explicar la necesidad de entender las ideas de los otros (usualmente las de los compañeros) antes de debatir sobre ellas o comentarlas.</li> <li>Hacia finales de año, comenzar a reconocer la incoherencia en los pensamientos de otro, pero no necesariamente en el pensamiento propio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguir brindando un entorno educacional en el que los estudiantes puedan expresar lo que piensan sin sentirse rechazados por los otros.</li> <li>Presentar el concepto de coherencia en el pensamiento.</li> <li>Modelar el pensamiento coherente e incoherente (los estudiantes saben cuando el profesor está siendo incoherente).</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explorar la idea de que los pensamientos tienen consecuencias y de que lo que uno piensa puede influenciar lo que uno elige ver.</li> <li>Comenzar a diferenciar entre comprender lo que un compañero dice y lo que uno cree que está diciendo.</li> <li>Comenzar a comentar sobre cómo sus propias ideas han cambiado con respecto a lo que pensaban antes y considerar si sus ideas presentes necesitan ser corregidas con el tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomentar el discurso metacognitivo entre los estudiantes con el fin de iluminar las representaciones internas de los estudiantes.</li> <li>Entregar muchos ejemplos de ideas de los estudiantes que obtenga de su trabajo personal (y que recoge de año en año).</li> </ul>
4-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comenzar a considerar las implicancias y limitaciones de su pensamiento personal.</li> <li>Comenzar a considerar formas de corregir el pensamiento personal.</li> <li>Comenzar a evaluar su propio pensamiento o el de otros en términos de inteligibilidad, plausibilidad y productividad de las ideas.</li> <li>Seguir articulando criterios de aceptabilidad de ideas (por ejemplo, coherencia y generalización).</li> <li>Seguir empleando representaciones físicas de su pensamiento.</li> <li>Comenzar a emplear las analogías y las metáforas, debatir su uso explícito y diferenciar entre modelos físicos y conceptuales.</li> <li>Expresar y defender ideas sobre lo que "la enseñanza debería ser".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entregar ejemplos históricos de personas importantes que han cambiado sus opiniones y sus explicaciones con el tiempo.</li> <li>Comenzar a utilizar las representaciones externas de pensamiento de los estudiantes como forma de evaluar sus ideas/creencias (en términos de inteligibilidad, plausibilidad y productividad) con el fin de (a) crear, cuando sea necesario, una incomodidad en la mente del estudiante para así facilitar el intercambio conceptual o (b) buscar formas de fomentar el cambio conceptual en la mente del aprendiz.</li> </ul>

Hna. Hennessey: "Parece que quieres decir algo más".

Brianna: "El agua no puede aguantar las piedras como aguante a un bote, por lo que sé que las piedras se van a hundir".

Hna. Hennessey: "Pareces muy segura. Déjame probar con otro objeto".

Brianna: "No, primero tiene que lanzar la piedra. Primero tiene que poner a prueba mi idea".

[La Hna. Hennessey coloca la piedra pequeña en el estanque, la cual se hunde.]

Brianna: "Ve, le dije que se iba a hundir".

[La Hna. Hennessey deja de lado la piedra más grande y toma otro objeto.]

Brianna: "No, tiene que hacer lo mismo con la piedra grande, porque si la piedra pequeña se hunde, entonces la grande también se tiene que hundir".

[La Hna. Hennessey coloca la piedra grande en el estanque y esta flota.]

Brianna: "¡No! ¡No!", [Brianna niega con la cabeza.] "Eso no calza con lo que pienso. No calza con lo que tengo en mente".

Durante la actividad que se describe anteriormente, Briana experimentó una forma de introspección que implica procesar e interpretar tanto la experiencia pasado como la presente. Por ejemplo, cuando Briana dijo: "Yo creo que ambas rocas van a hundirse... He visto muchas piedras hundirse, y cada vez que tiro una piedra al agua, se hunde... siempre se hunde". En este caso, ella estaba mostrando lo que pensaba en ese momento sobre cómo la piedra en particular se comportaría en el agua de acuerdo con su experiencia pasada sobre lo que pasaba con las piedras y el agua.

A medida que el debate siguió, Briana llegó a revelar su parecer sobre la naturaleza del agua. Ella utilizó su noción sobre el agua para apoyar sus ideas sobre las piedras. Por ejemplo, ella dijo: "El agua no puede sostener las piedras como lo hace con un bote. Yo sé que las piedras se van a hundir".

Briana instó a la Hna. Hennessey en dos ocasiones a que probara su predicción diciendo: "Usted tiene que poner a prueba mis ideas primero" y "Usted tiene que poner a prueba la grande también, porque si la pequeña se hunde, entonces la grande también se tiene que hundir". Es importante destacar que Briana pidió a la profesora que comprobara su predicción, y no solo que probara qué pasaba con la piedra. Briana estaba consciente de que el objeto de la demostración era llegar a comprender su forma de pensar personal.

La reacción de Briana al ver que la piedra grande flotaba indica que ella estaba consciente de que el resultado era anómalo, y que esto no era coherente con su visión presente ni del agua ni de las piedras. "¡No! ¡No!", dijo ella. "No calza con lo que tengo en mente". Su comentario también revela que está reflexionando sobre su propio razonamiento científico; en otras palabras, ella está siendo metacognitiva.

Con el tiempo, el nivel de reflexión sobre el pensamiento científico se vuelve más sofisticado. Aquí hay otro escenario en el que participan la Hna. Hennessey y una de sus estudiantes de sexto año.

Jill escribió un ensayo como parte del proceso de evaluación en su clase de física. La tarea que le habían asignado se enfocaba en "el elemento de cambio" en su forma de pensar. Se formularon las siguientes preguntas:

- ¿Piensas que tus ideas sobre la fuerza o las fuerzas que afectan a los diferentes objetos han cambiado?
- De ser así, ¿en qué formas crees que han cambiado? ¿Por qué piensas que tus ideas han cambiado?

# Clase de Ciencias

He aquí lo que Jill escribió:

En el pasado creía, por ejemplo, que EL LIBRO EN LA MESA tenía solo 1 fuerza, y que esa era la fuerza de gravedad. No era capaz de entender que algo inanimado podía empujar en contra. Pensaba que esta fuerza en contra no era una fuerza real, sino como un obstáculo en el camino de la fuerza o una influencia externa que afectaba el libro.

Sin embargo, mis ideas han cambiado desde principios de año. La Hna. Hennessey me ayudó a ver la diferencia entre el nivel macroscópico y el microscópico. Eso fue el año pasado. Sin embargo, nunca pensé mucho acerca de la diferencia.

Este año, comencé a pensar acerca del libro en la mesa de manera distinta al año pasado. Estaba pensando en el nivel macroscópico, no en el microscópico. Este año, la mesa tenía otro significado que el año pasado. El año pasado, concebía a los seres vivos como la parte importante y ahora creo que las moléculas son la parte importante. Cuando finalmente reflexioné al respecto, pude ver las cosas desde otra perspectiva. Me di cuenta de que no me era difícil pensar que había dos fuerzas en equilibrio en vez de solo la fuerza gravedad afectando al libro. ¡Me tomó todo un AÑO darme cuenta de este concepto! Ahora sé que valió la pena demorarse todo un AÑO para entender eso, porque ahora veo fuerzas equilibradas en todos lados.

Se necesitan fuerzas en equilibrio para producir velocidad constante. El libro sobre la mesa tiene cero velocidad, lo que quiere decir que tiene un ritmo permanente de cero. La Hna. Hennessey me preguntó por qué mis ideas habían cambiado. ¡Yo creo que mis ideas cambiaron porque comencé a expandir mi mente para llegar a ideas más complejas! Como la idea de que las moléculas de una mesa pueden causar un efecto sobre el libro, que las fuerzas equilibradas y las desequilibradas son una mejor forma de explicar la causa del movimiento, y que la velocidad constante e inconstante son cosas importantes para describir el movimiento.

En su ensayo, Jill fue capaz de analizar su pensamiento anterior y actual. Lo más importante es que fue capaz de reconocer que le tomó mucho tiempo adquirir esos conocimientos y ese modo de pensar. El ensayo también revela lo que Jill piensa sobre la naturaleza de las moléculas (ellas pueden causar un efecto) y su parecer acerca de la naturaleza de una explicación (algunas explicaciones son mejores y más importantes que otras). En la primera oración, Jill solo reveló lo que solía entender de las fuerzas que afectaban al libro sobre la mesa. En las siguientes oraciones, reveló sus creencias sobre la naturaleza de los objetos animados e inanimados y, hasta cierto punto, la naturaleza de las fuerzas. Jill afirma de forma explícita que ella está consciente de que sus ideas han cambiado con el tiempo, y ofrece una explicación causal ante su cambio de pensamiento. Asimismo, advierte que estaba consciente de que el punto central de su reflexión había cambiado, al igual que su manera de pensar. Jill señala que puede generalizar y aplicar su nueva comprensión a nuevas situaciones.

Jill además revela una impresionante comprensión de lo que los físicos llaman cinética, un conjunto de conceptos en torno a la acción de las fuerzas que producen o cambian el movimiento de un cuerpo. Entender esto es crucial. Los estudiantes pueden ser capaces de cuestionar y monitorear sus ideas, pero si su conocimiento no está bien y completamente estructurado para evaluar esas ideas, entonces no probará ser un beneficio. La metacognición en sí no es útil si la buena cognición no es "meta" o reflexiva.

Lo que es notable de la enseñanza de al Hna. Hennessey es la combinación estratégica de alentar a sus estudiantes a pensar sobre la naturaleza del pensamiento científico (el propio y el de otros) y las investigaciones serias que producen conocimiento profundo o conceptos científicos.

Ejemplos tales como el anterior muestran parte de la naturaleza y la gama de habilidades que los estudiantes tienen para reflexionar acerca del conocimiento científico, cómo se construye y qué tan complejo y certero es. Estas capacidades no son blanco o negro; más bien, existen en un ambiente de colaboración y creación constantes: Briana está comenzando el proceso, mientras que Jill demuestra estar completamente comprometida con la reflexión en torno al pensamiento científico.

Uno se puede preguntar, ¿cómo logró la Hna. Hennessey resultados tan notables? ¿Qué había en la manera en que enseñaba y en el entorno de su clase que contribuyó a la comprensión de parte de sus estudiantes sobre la forma en que se crea conocimiento dentro de la ciencia? He aquí algunos de los métodos que ella utiliza. Se debe destacar la función que cumple discutir sobre las maneras de dialogar sobre lo que uno piensa y cómo expresarlo.

*Estrategias para enseñar a construir conocimiento científico*

**PUNTO CENTRAL**

1. Enseñar el cambio conceptual
  - Lograr que los estudiantes se den cuenta de sus ideas iniciales
  - Alentar a los estudiantes a llevar a cabo discursos metacognitivos sobre las ideas
  - Emplear analogías vinculantes y puntos de referencia para ayudarlos a considerar y manipular ideas
  - Alentarlos a aplicar sus nuevos conocimientos en diferentes contextos
  - Brindar tiempo a los estudiantes para que hablen sobre la naturaleza del aprendizaje y de la ciencia
2. Promover la comprensión metacognitiva
3. Llevar la atención de los estudiantes a conceptos claves complejos y específicos del dominio

**PRÁCTICAS PEDAGÓGICAS**

- Ayudar a los estudiantes a comprender, poner a prueba y corregir sus ideas.
- Establecer una comunidad en clases que negocia significado y construye conocimiento.
- Aumentar la responsabilidad de los estudiantes respecto a la dirección de aspectos importantes de sus propias indagaciones

**FUNCIÓN DE LOS ESTUDIANTES**

- Hacerse responsables de la representación de ideas
- Trabajar para diseñar ideas
- Monitorear el estado de las ideas
- Considerar el razonamiento que subyace las creencias específicas
- Decidir las maneras en que se pueden comprobar las creencias específicas
- Evaluar la coherencia entre ideas
- Analizar hasta qué punto estas ideas se pueden llevar a otras situaciones

La Hna. Hennessey dejó claro a la clase que la ciencia no es solo un conjunto de conocimiento, sino también una forma de pensar. Todos los profesores de ciencia en práctica, los estudiantes, los profesores y hasta los padres tienen que comprender la naturaleza y la estructura del conocimiento científico y de los procesos por medio de los cuales se construye, lo que implica que no basta solo con comprender el conjunto de conocimientos producidos por la ciencia. Ellos tienen que entender cómo aprendemos el conocimiento científico y por qué creemos en él, y no solo saber el contenido.

En las clases de ciencia que incluyen un componente importante de metacognición, las actividades se presentan a fin de lograr que los estudiantes tomen conciencia sobre sus ideas iniciales y de que demuestren que un problema conceptual puede requerir que sea resuelto. Se pueden considerar diferentes técnicas en este sentido. Se les puede pedir a los estudiantes que hagan predicciones sobre una instancia y que den razones para lo que dicen. El debate en clase en torno al alcance de las predicciones del alumno puede recalcar formas alternativas de pensamiento, lo que a su vez puede resaltar el elemento conceptual del análisis. Además, recolectar datos que exponen a los estudiantes a discrepancias inesperadas o plantean problemas complejos que los alumnos no saben cómo resolver inmediatamente son formas en las que

se puede llevar a los estudiantes a salirse de su marco conceptual con el fin de comprender lo que está pasando.

Otro componente clave de la metacognición es la frecuencia de tiempo con que se tiene que reflexionar, tomar notas o completar la tabla donde se lleva registro de los cambios de las ideas con el tiempo. Los investigadores han documentado que los niños, por lo general, repiten experimentos o interpretan resultados sin conectarlos a hipótesis anteriores. Los estudiantes necesitan oportunidades regulares para reflexionar luego de los experimentos científicos. La reflexión ayuda a los estudiantes a supervisar su propio conocimiento y llevar cuenta del progreso de sus investigaciones. También les ayuda a identificar los problemas que existen con sus planes actuales, a volver a diseñar los planes y a tener claro qué queda pendiente.

Por ende, se necesitan de diferentes enfoques para que los estudiantes desarrollen la capacidad de pensar sobre el razonamiento científico.

Las investigaciones en clases constituyen una emocionante forma en que los alumnos pueden lograr una comprensión sólida del contenido de la ciencia, las prácticas del trabajo científico y la naturaleza de la misma ciencia. Sin embargo, las investigaciones que se realizan en la actualidad por lo general no sirven para brindar apoyo al aprendizaje de los estudiantes.

Un sistema de educación científico eficaz debe reflejar una noción de la ciencia fructífera y con base en la práctica. Lo anterior significa volver a considerar qué cuenta como ciencia con el fin de incorporar mejor las ramas del aprendizaje científico. Las investigaciones no tienen ni deben estructurarse según un guion, basarse en experiencias superficiales con resultados predeterminados, ni tampoco puede ser exploraciones caóticas y si estructura, que dejan poco con respecto a la comprensión de la realidad. Las investigaciones eficaces deben ser investigaciones organizadas y estructuradas que guíen a los estudiantes en el uso de métodos científicos para trabajar problemas importantes.

Las investigaciones que facilitan el aprendizaje de los estudiantes exigen que el profesor entienda cómo cambian los problemas científicos y que hayan tenido las experiencias reales que quieren recrear para sus estudiantes. Las escuelas, universidades, fundaciones, centros de ciencia, museos y entidades de gobierno deben encontrar maneras para que los profesores presencien estas experiencias, lo que les permitirá perfeccionar su conocimiento y sentirse más cómodos con la práctica de la ciencia, lo que los llevará a crear un entorno adecuado donde el alumno pueda aprender.

### *Fuentes de lectura complementaria*

- HERRENKOHL, L.R., Y GUERRA, M.R. (1998). Participant structures, scientific discourse, and student engagement in fourth grade. *Cognition and Instruction*, 16(4), 431-473.
- MCNEILL, K.L., LIZOTTE, D.J., KRAJCIK, J., Y MARX, R.W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (2007). Teaching science as practice. Capítulo 9 en Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade, *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8* (pp. 251-295). R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (Eds.). Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

## CAPÍTULO 8

# Un sistema que fomenta el aprendizaje de las ciencias

Hoy comprender lo que se necesita para aprender y enseñar las ciencias de manera eficaz es muy diferente a como se concebía hace 20 o 30 años. Ahora sabemos que los niños de corta edad traen consigo una base sólida de conocimientos y destrezas al entrar a la escuela, lo que incluye conocimientos del mundo natural, la capacidad para participar en razonamientos complejos acerca del mundo natural, una comprensión básica de conjuntos de datos, ideas contradictorias sobre diferentes conceptos científicos, y la capacidad de razonar respecto a un dominio científico en particular a medida que avanza el tiempo. También son capaces de trabajar de manera cooperativa con sus compañeros de clase y profesores, en formas que se asimilan a las prácticas de la comunidad científica: formulan preguntas informadas, presentan ideas a sus pares mediante una gama de métodos, e incorporar y valorar de manera crítica diversas ideas y observaciones con el fin de llegar a una comprensión científica en común. Con esta base, los niños de corta edad que comienzan su educación básica pueden empezar a construir y extender sus conocimientos de las ciencias a medida que pasan de curso.

Una buena enseñanza es crucial para que los estudiantes entiendan y dominen las ideas y prácticas científicas. Los estudiantes deben trabajar con los conceptos científicos presentados por medio de problemas bien diseñados y desafiantes, que tengan sentido tanto desde un punto de vista científico como personal. Es necesario desafiar a los estudiantes para que entiendan el mundo natural de maneras nuevas e innovadoras. Es necesario guiarlos para que adopten las prácticas de la comunidad científica, la que tiene maneras específicas de apreciar las ideas, formular explicaciones y respaldar las afirmaciones sobre el conocimiento.

Para enseñar y aprender bien las ciencias es necesario utilizar las cuatro ramas de la competencia científica. Los estudiantes de educación bá-



sica pueden aprovechar al máximo el aprendizaje de las ciencias si participan en experiencias estructuradas durante las clases, cuentan con el apoyo de los profesores mediante la enseñanza, y tienen oportunidades de explorar y hacer conexiones entre los diferentes conceptos científicos claves a lo largo de un periodo de semanas, meses y años.

Las prácticas típicas en las clases de ciencia actuales no reflejan los hallazgos más recientes respecto a los métodos más eficaces para aprender y enseñar las ciencias. Los currículos de hoy en día tienden a cubrir demasiados temas dispares de manera superficial, y muchos se basan en una idea arcaica de cómo los niños aprenden. No apoyan ni fomentan la enseñanza de las ideas centrales de las ciencias de manera progresiva desde el jardín infantil hasta octavo año de enseñanza básica.

La investigación que se describe en este libro tiene repercusiones importantes para el sistema educativo en general y para cada uno de los profesores que forman parte de él. El sistema incluye estándares, programas curriculares, evaluaciones, desarrollo profesional y preparación de profesores. Todos estos aspectos deberían volver a examinarse a la luz de los nuevos conocimientos sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Por supuesto, los objetivos sistemáticos son a gran escala, por lo que tomará años y cambios en las políticas e iniciativas de inversión para hacerlos realidad.

Cuando las diferentes partes del sistema de educación se conceptualizan, diseñan e implementan de manera coordinada, se logra un efecto positivo en los docentes, en las escuelas y en el aprendizaje de los estudiantes<sup>1</sup>. Por ejemplo, se han obtenido resultados prometedores en escuelas y distritos que participan en las iniciativas de cambio sistemático local financiadas por la Fundación Nacional para las Ciencias, las que fueron diseñadas con el fin de respaldar este importante cambio en todos los sistemas<sup>2</sup>. Para lograr con éxito este tipo de cambio, se deben definir claramente los objetivos y los estándares para el aprendizaje, los cuales deben orientar la organización del sistema y el uso de los recursos. Este libro defiende una visión de sistemas coordinados, marcando especial énfasis en el *aprendizaje de las ciencias*. Examinamos lo que significa entender las ciencias, lo que los niños hacen al momento de aprender las ciencias y lo que los educadores pueden hacer para apoyar y alentar el aprendizaje de las ciencias durante la infancia. Tanto el sistema como los que interactúan en él deben cambiar para dar respaldo a las nuevas nociones respecto al aprendizaje en esta área.

Este nuevo conocimiento acerca del aprendizaje de las ciencias debería pasar a ser la base que cimiente este sistema de las siguientes maneras:

- Los estándares deberían actualizarse para que el énfasis recaiga sobre los conceptos científicos centrales. Al mismo tiempo, deberían definir objetivos específicos y coherentes para la enseñanza y los programas curriculares, los que se deben organizar en torno a estas ideas centrales.
- Los programas curriculares deberían permitir que se cumplan estos objetivos por medio de una enseñanza sostenida y progresiva a lo largo de la educación básica.
- La enseñanza debería integrar las cuatro ramas de la competencia científica en formas interactivas y estimulantes.
- Las evaluaciones deberían servir como retroalimentación inmediata para profesores y estudiantes sobre la forma de razonar de los alumnos. Además, también deberían respaldar los esfuerzos de los profesores por mejorar sus métodos de enseñanza.
- El desarrollo profesional y la preparación de docentes debería centrarse en métodos eficaces para enseñar las ciencias, en la manera en que los niños aprenden conceptos científicos y en ayudar a los docentes a entender los conceptos científicos centrales y cómo éstos se interrelacionan.

A pesar de que esta nueva manera de concebir el aprendizaje de las ciencias requiere la participación de muchas personas en el sistema de educación, la función primordial la cumple el profesor quien, por medio de sus clases, ejerce una influencia directa en la experiencia que los estudiantes tienen en el aula. En este capítulo, se hace hincapié en los conocimientos y las destrezas específicas que los profesores necesitan para enseñar bien las ciencias, y en las maneras en que el sistema debería cambiar si lo que se busca es respaldar la capacitación y el desarrollo profesional de los profesores.

### ***Los docentes como estudiantes***

En *Rosa Parks Community School*, una escuela pública en el sur de Bronx, EE. UU., el equipo docente ha estado trabajando de manera coordinada para cambiar la manera de enseñar las ciencias. La directora, Marianne Goldenada, ha servido de guía y les ha brindado su apoyo en esta empresa. Todo el equipo docente de enseñanza básica, junto a la directora y la subdirectora, ha decidido que el aspecto principal del plan de mejora de la escuela debe centrarse en el aprendizaje de las ciencias.

Con el fin de lograr esto, decidieron prestar más atención al aprendizaje de los estudiantes. Esto incluía explorar juntos cómo aprenden

los estudiantes, qué es lo que respalda su aprendizaje y cómo se puede medir su trabajo y desempeño. A pesar de que se habían comprometido a seguir los estándares para las ciencias redactados por el distrito, también habían decidido crear lo que llamaban "trayectorias de aprendizaje de año a año", las que se elaboran en torno a un conjunto de conceptos científicos centrales que se enseñan poco a poco y año a año.

Este año, todos los profesores de la escuela trabajarán juntos para perfeccionar sus conocimientos y crear actividades pedagógicas relacionadas entre sí sobre un tema central de la física: la naturaleza y estructura de la materia; y un tema central de las ciencias biológicas: la biodiversidad, la variación biológica y los cambios poblacionales. Los profesores trabajarán con la modalidad de "grupos de estudio", mediante la cual se reúnen a nivel de curso una vez a la semana y a nivel de facultad una vez al mes. Durante estas reuniones se planifican las unidades, se comparan los comentarios, se leen artículos e informes curriculares y se presentan frente a los colegas tanto los problemas como los aciertos.

La directora Goldenada inspira a sus profesores en la escuela *Rosa Parks* a que aprendan junto con sus alumnos, además de visitar las clases, participar en las sesiones de los grupos de estudio, ayudar a los profesores cuando necesitan más tiempo o materiales, y divulgar las lecturas y ejemplos del trabajo de los estudiantes durante las reuniones mensuales de la facultad. Los profesores confían y se sienten cómodos compartiendo sus problemas con ella.

La Sra. Goldenada, quien había sido una profesora de educación diferenciada y luego coordinadora del departamento de ciencias, considera que cuestionar, teorizar, modelar, recolectar datos, examinar evidencia y cambiar de parecer (que ella denomina "revisar") son igual de importantes que obtener la respuesta correcta. Asimismo, es una firme defensora de la idea de que se debe enseñar a partir de lo que los estudiantes ya saben, y los ayuda a confiar en sus propias capacidades al momento de entender conceptos en grupo, formular preguntas y compartir experiencias y problemas con los otros.

Lo que quiere la Sra. Goldenada es hacer que la enseñanza de las ciencias sea entretenida y desafiante. Sin embargo, no es tan fácil formar un equipo de profesores seguros de sí mismos. Ninguno de los profesores en *Rosa Parks* se graduó en ciencias en la universidad. Solo unos pocos tomaron cursos de pregrado en ciencias y matemáticas avanzadas, y esos cursos no estaba orientados o no servían demasiado para la enseñanza de las ciencias en la educación básica.

Cuando la Sra. Goldenada asumió su cargo como directora de *Rosa Parks*, muchos de los profesores ya estaban cansados de enseñar ciencias.

Con casi 900 estudiantes de educación básica, la escuela era grande, y más del 80 % de los estudiantes recibía almuerzos gratis o a un precio reducido. Asimismo, más del 40 % de los estudiantes hablaba un idioma diferente en su hogar, y una cantidad significativa de estudiantes abandonaban sus estudios. Las capacidades de los estudiantes en ciencias variaban enormemente: algunos habían estado estudiando ciencias de forma intensiva desde el jardín infantil, mientras que otros recién comenzaban a explorar las ciencias basadas en la indagación.

Las Sra. Goldenada cree firmemente en el valor de los profesores como investigadores y estudiantes, tal como los alumnos a los que educan. Por esta razón, en este escenario en donde tantos profesores enseñaban en diferentes cursos y años, la Sra. Goldenada pensó que sería lógico que los profesores dominaran unos pocos conceptos claves en vez de que enseñaran muchos conceptos de manera superficial y rápida.

La Sra. Goldenada propuso la idea de realizar reuniones mensuales con el equipo de profesores, las que denominó "Desayunos científicos", que pronto se llevaron a cabo cada mes e incluían un "simposio científico" al final de la jornada escolar. En estas reuniones se discutían unos pocos conceptos centrales de las ciencias, y la idea era que todos los profesores aprendieran ciencia juntos, investigaran temas en común, se centraran en lo que los estudiantes parecían saber sobre estos temas, recolectaran y compartieran ejemplos del trabajo hecho por estudiantes, discutieran maneras de responder a ese trabajo o lo examinaran en busca de evidencia que muestre lo que los estudiantes entienden, y llevaran un registro del avance del conocimiento que van adquiriendo los estudiantes año tras año.

Bajo el mando de la Sra. Goldenada, todos los profesores estuvieron de acuerdo en planificar e implementar un programa curricular adaptado a las ciencias.

Para este fin, utilizaron materiales con los que ya contaban y los modificaron para que respondieran a las necesidades de sus estudiantes. Asentaron planes para crear un conjunto de unidades coherentes y cada vez más sofisticadas en torno a un concepto central de las ciencias, el cual explorarían todos juntos en equipos conformados por cada curso. La idea era pasar una unidad en el otoño y otra en primavera. De esta manera, los docentes podían comparar sus apuntes de los cursos y se podían enfocar en una unidad a lo largo de varias semanas para examinar lo que habían aprendido los estudiantes y lo que serían capaces de hacer a medida que pasaran de curso, para así enseñar los conceptos durante años y no solo semanas. También les permitiría estar al tanto de lo que funciona y de lo que no, y compartirían materiales y técnicas para mantener un diálogo constante con todos en la escuela.

Los profesores de *Rosa Parks* no habían comenzado desde cero. Para prepararse, consultaron muchos informes nacionales de gran calidad, como los documentos de las *Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias y la Indagación, Selección de Materiales Pedagógicos y Parámetros de Referencia para la Alfabetización Científica*. Con frecuencia, la Sra. Golde-nada daba inicio a las reuniones matutinas entregando un comunicado fotocopiado de uno de estos informes. Cada uno debía leer el comunica-do para debatirlo a la luz del trabajo que se encontraban realizando y los objetivos que la escuela había fijado para las ciencias. De esta manera, los profesores seguían aprendiendo, año tras año, junto a sus alumnos.

Los líderes en el ámbito de la educación, como la Sra. Goldenada, están conscientes de lo difícil que es enseñar bien las ciencias y crear oportuni-dades constantes y recurrentes para que los profesores puedan mejorar sus habilidades y conocimientos. Aparte de los esfuerzos a nivel escolar que ya se describieron, existen muchas maneras de perfeccionar los co-nocimientos y las habilidades que tienen los profesores. Por ejemplo, se pueden organizar oportunidades para el perfeccionamiento de los profes-ores por medio de cursos universitarios o en museos, con grupos de es-tudio de profesores y por medio de capacitaciones. Sin importar cómo se estructure, es absolutamente importante que el perfeccionamiento de los profesores se centre en objetivos conceptuales importantes y que integre características del entorno que beneficien los entornos de aprendizaje.

Para poder enseñar bien las ciencias, los profesores deben contar con un conjunto de conocimientos, el que se puede dividir en tres categorías amplias que se superponen de manera parcial: conocimiento sobre las ciencias, conocimiento sobre cómo los estudiantes aprenden las ciencias y conocimiento sobre cómo se deben enseñar las ciencias.

## *Conocimiento sobre las ciencias*

Para poder enseñar de manera eficaz, los profesores deben entender bien la asignatura y materia que enseñan. Cada vez se cuenta con más evi-dencia que respalda el hecho de que lo que sabe un profesor sobre las ciencias influye en su capacidad de enseñar, y tiene importantes repercu-siones en el éxito y tipo de diálogo que los profesores pueden mantener con sus alumnos. Es importante poner atención a los conocimientos es-pecíficos que los profesores tienen sobre las ciencias, y no solo al "nivel" (de acuerdo con el número de cursos, diplomas o certificados en ciencias) que los profesores requieren para enseñar las ciencias. Si no se presta la debida atención a lo que los profesores deben saber para poder enseñar las ciencias y cómo pueden adquirir este conocimiento, con frecuencia

las soluciones se limitarán a la adición de más cursos a cierto programa o credencial requerida.

Las ramas del aprendizaje de las ciencias que se presentaron en el capítulo 2, otorgan un marco útil para analizar el tipo de ciencias que los profesores aprenden en la actualidad y para identificar los aspectos de la competencia científica que el desarrollo profesional de hoy en día no es capaz de respaldar. Cuando se analizan los programas curriculares de las ciencias de pregrado a la luz de las ramas, emergen dos patrones recurrentes. En primer lugar, al igual que en muchos de los currículos de ciencias para la educación escolar básica y media, los currículos de ciencias universitarios tienden a hacer hincapié en el conocimiento conceptual y factual (rama 1). Aunque se dedica algo de tiempo a realizar investigaciones (rama 2), con frecuencia son experimentos artificiales en donde se les explica a los estudiantes tanto el proceso como el resultado. Con muy poca frecuencia durante la ciencia a nivel universitario se dedica tiempo a reflexionar acerca de los conocimientos científicos (rama 3) y la participación en las ciencias (rama 4) es aun menos común.

Por lo tanto, no es sorprendente que los futuros profesores de ciencias tengan esta misma visión respecto de las ciencias. Con frecuencia, esta disciplina es para ellos un conjunto de afirmaciones, mientras que la práctica científica no es más que aplicar el método científico de modo secuencial. En un estudio de Mark Windshittl se da un ejemplo de esta limitada noción de las ciencias. En él, se investigan las nociones que tienen los futuros profesores de ciencias al diseñar y llevar a cabo estudios en el contexto de un curso de métodos científicos en la enseñanza media<sup>3</sup>. Entre los participantes del estudio se encuentran 14 profesores en práctica que ya cuentan con un título de Licenciado en Ciencias. Durante el estudio, se hizo un seguimiento de lo que los profesores pensaban sobre las ciencias, por medio de lo que ellos registraban con regularidad en sus bitácoras del semestre. Además, se realizaron entrevistas para conocer las experiencias científicas que ellos habían tenido desde el segundo ciclo de educación básica en adelante. Cuando los investigadores analizaron los esfuerzos de los profesores por implementar proyectos de indagación (desde la formulación de preguntas hasta las presentaciones frente a otros), descubrieron que la mayoría tenía una "visión mundana" de las ciencias. En otras palabras, para ellos las hipótesis eran conjeturas sin mucha base sobre cómo los problemas deberían enmarcarse y examinarse. La teoría científica asume un papel periférico cuando se concibe a las ciencias de esta manera, y es relegada a jugar un papel secundario, pues solo se le considera como una herramienta opcional que uno podría utilizar para explicar los resultados.

En nuestra sociedad, muchos de los profesores de enseñanza básica, al igual que muchos de los adultos que cuentan con una educación universitaria, solo conocen las ciencias superficialmente. Los cursos universitarios inadecuados, la formación de profesores o programas de certificación deficientes y la cantidad insuficiente de oportunidades de desarrollo profesional han contribuido a profundizar el problema.

¿Qué tipo y nivel de conocimientos científicos se debe tener para poder enseñar ciencias de manera eficaz? Esta pregunta solo lleva a más preguntas: ¿Qué significa entender lo suficientemente bien un concepto como para *enseñarlo bien*? ¿Qué deben saber los profesores para poder diseñar clases interactivas y rigurosas, organizar actividades para que los estudiantes puedan mostrar lo que piensan, enseñar a partir de lo que ya saben los estudiantes y crear un entorno en donde todos los estudiantes participen de manera equitativa en debates científicos? ¿Cuál es la mejor manera en que los profesores pueden aprender lo que necesitan saber? Para poder hacer realidad esta nueva visión de la enseñanza de las ciencias en la educación básica, como se describe en este libro, aquellos encargados de definir el contenido y las prácticas de la formación de profesores tendrán que encontrar las respuesta a estas preguntas.

### *La forma en que los estudiantes aprenden ciencias*

Una enseñanza eficaz requiere que los profesores entiendan lo que hacen los estudiantes cuando están aprendiendo y qué recursos cognitivos, lingüísticos y emocionales traen consigo y utilizan. A pesar de que con frecuencia contemplamos la enseñanza desde el punto de vista del profesor, es importante destacar la educación como un proceso que se centra principalmente en la experiencia que tienen los estudiantes. Las ramas del aprendizaje de las ciencias caracterizan aquello que los niños hacen cuando aprenden ciencias, tanto desde el punto de vista cognitivo como de comportamiento. En capítulos anteriores, se describió la manera en que los niños utilizan el lenguaje y otras representaciones de su razonamiento para comunicar y adquirir conocimientos, y cómo las experiencias fuera de la escuela tienen repercusiones en su manera de apreciar las ciencias.

Para poder reconocer y perfeccionar estas capacidades, es esencial que los profesores de ciencias aprendan no solo ciencias, sino también la forma cómo los niños aprenden ciencias.

Uno de los puntos importantes de los nuevos hallazgos sobre cómo los estudiantes aprenden es que todos aquellos involucrados en el sistema de educación deben volver a pensar sobre los supuestos que tienen

respecto a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Las iniciativas de desarrollo profesional deberían orientarse a desafiar las ideas convencionales respecto a los estudiantes y desarrollar una noción contemporánea basada en la investigación.

Como ya se ha mencionado en este libro, se deben desafiar varias creencias comunes acerca de los estudiantes de ciencias, tales como: (1) Los niños de corta edad no son capaces de razonar de manera abstracta y deberían aprender las ciencias por medio de la observación (no por medio de la adquisición de teorías); (2) Los contenidos y procesos científicos deberían ser divididos y enseñarse por separado; (3) Cuando los estudiantes participan en "investigaciones" y exploraciones no estructuradas aprenden conceptos y principios científicos; (4) Las ideas que tienen los niños acerca del mundo natural son en su mayoría conceptos erróneos que los profesores deberían identificar y corregir o reemplazar con conceptos de la ciencia canónica.

Estas creencias se reflejan en los estándares, los programas curriculares y la enseñanza. Para poder avanzar en esta materia, debemos encontrar maneras de desafiar estas creencias y respaldar la creación de materiales y formulación de métodos de enseñanza que integren los nuevos conocimientos que se tienen sobre el aprendizaje de las ciencias.

### *Saber cómo enseñar ciencias eficazmente*

Para poder enseñar bien las ciencias, los profesores deben entenderlas de una manera diferente a cómo la conciben los científicos. Un científico entiende la teoría científica y sus orígenes históricos, las preguntas que se buscan responder y las maneras en que se resuelven las preguntas de investigación en su área de estudio. No obstante, un científico no tiene por qué saber cómo enseñarle lo que sabe a un niño o a otros que no saben del tema, como tampoco tiene por qué saber cómo organizar oportunidades de práctica científica que sean estructuradas y apropiadas.

Los profesores deben conocer y saber sobre las ciencias de una manera que les permita enseñarla. En otras palabras, no basta con que solo sepan acerca de un tema: deben saber cómo enseñarlo. Deben entender la función que cumplen las ramas del aprendizaje científico en el contexto de enseñanza. Este "conocimiento pedagógico del contenido" integra una comprensión fundamental de una disciplina con una comprensión de cómo los estudiantes adquieren los conocimientos en dicha disciplina. Un profesor de ciencias también debe saber cómo crear oportunidades de aprendizaje científico; cómo seleccionar problemas y materiales de enseñanza apropiados; cuáles son los puntos importantes en una inves-



tigación que sirven para enseñar una nueva habilidad; y cómo ayudar a los estudiantes a entender las cualidades únicas del lenguaje y el razonamiento científico y cómo ellos se relacionan con el lenguaje cotidiano.

Podríamos redactar una enorme lista de aspectos pedagógicos específicos de la enseñanza de las ciencias, pero un ejemplo concreto quizás explique mejor la manera en que el conocimiento científico que tiene un profesor se relaciona con el conocimiento pedagógico. Volvamos a considerar los desafíos a los que se enfrentan los profesores cuando enseñan cómo llevar a cabo una investigación científica, tal como se expuso en el Capítulo 7. En un principio, el profesor debe seleccionar un problema a investigar. Este problema debe hacer sentido desde una perspectiva científica. Es decir, la actividad debe estar conectada claramente con los conceptos y los métodos científicos. De igual manera, la actividad también debe ser significativa desde una perspectiva de aprendizaje dentro del aula. Es decir, debe brindar oportunidades para que los estudiantes puedan vincular el conocimiento, las experiencias y los intereses que poseen al tema que el profesor les presenta. Cuando los estudiantes se encuentran trabajando en una investigación, el profesor debe estar preparado para contestar y utilizar, para la ventaja de todos, las ideas y las preguntas que surjan de los resultados.

Asimismo, el profesor debe estar consciente de que es posible que los estudiantes pasen por alto instancias clave de una demostración o no sepan interpretarlas como es debido. El profesor debe estar preparado para guiar de manera sutil a los estudiantes, a fin de que estos lleguen a adquirir nuevos conocimientos por medio de diálogos e interrogantes que brinden frutos.

En cada clase, los profesores enfrentan el desafío de identificar los aspectos de un problema que los estudiantes están entendiendo, cómo se puede mejorar esa comprensión adquirida, y qué tipos de experiencias servirán para que poco a poco lleguen a cumplir los objetivos de enseñanza. En este proceso, los profesores deben sopesar y tener en cuenta los objetivos de aprendizaje científico que se buscan cumplir y los medios pedagógicos con los que cuentan para determinar lo que saben los niños y cómo mejorar dicho conocimiento.

### *Entregar a los profesores oportunidades para aprender*

Los profesores siempre aprenden de sus experiencias en las clases y de las interacciones informales que tienen con sus colegas. Estos intercambios con estudiantes y colegas pueden ser muy útiles cuando se organizan de una manera similar a cómo se organizaron las experiencias

del equipo docente de la escuela *Rosa Parks*. Por medio del apoyo entre colegas y de parte de la administración de la escuela, los profesores en *Rosa Parks* pudieron desarrollar un conocimiento de las ciencias, un conocimiento del aprendizaje de los estudiantes respecto a las ciencias, y un conocimiento sobre las mejores maneras de enseñar las ciencias. No obstante, en la mayoría de las escuelas de educación básica, los profesores no tienen el tiempo para organizar grupos de estudio con colegas o para capacitarse, ni los recursos, materiales o conocimientos de contenido o pedagógico necesarios para que ellos mismos puedan aprender las ciencias que luego enseñarán.

Los profesores deberían tener acceso a recursos, como los programas de desarrollo profesional eficaces, que se sostienen a largo plazo y vinculan la capacitación de manera coherente y clara a la materia y labores de enseñanza. Los institutos basados en programas curriculares, los programas de capacitación, los grupos de estudio y el perfeccionamiento de profesores también pueden brindar oportunidades a los docentes para mejorar sus conocimientos sobre una asignatura, con el objeto de que puedan reflejarlo mejor en la práctica.

Gracias a estudios recientes sobre las oportunidades de aprendizaje profesional, ahora sabemos mucho más acerca de cuáles son las actividades que más ayudan a los profesores.

Estos criterios hacen hincapié en los objetivos y el rigor, además de sugerir que la capacitación y las oportunidades educativas para los profesores son un tema importante. En este aspecto, las oportunidades educativas son un subproducto de un diseño cuidadoso y de la participación de todo el sistema de educación. Por lo general, los programas de desarrollo profesional brindan a los profesores la oportunidad de analizar fenómenos, pensar de manera científica, representar e interpretar datos, construir modelos y de participar en la formulación de afirmaciones y argumentos sobre los datos, junto a otros colegas.

#### *Tipo de apoyo que necesitan los profesores para enseñar bien las ciencias*

- Un programa curricular o materiales complementarios de gran calidad.
- Instancias y medios que les permitan resolver sus dudas (textos, colegas, expertos externos).
- Tiempo y apoyo para aprender más sobre las ciencias.
- Oportunidades para explorar una variedad de materiales y experimentar problemas que puedan enfrentar los estudiantes.
- Tiempo para conocer y evaluar el conocimiento que los estudiantes ya poseen cuando llegan a clases.

Por medio de estos programas, los profesores pueden adquirir una valiosa experiencia en una amplia gama de temas científicos.

Asimismo, los programas de desarrollo profesional deberían demostrar cómo los profesores pueden respaldar el aprendizaje de los estudiantes. Los profesores deben: aprender a identificar cómo los estudiantes piensan; deben tener estrategias que respalden ese razonamiento a medida que se desarrolla; deben conocer más estrategias pedagógicas que cumplan una función específica en el aprendizaje de los estudiantes; y deben utilizar sus propios conocimientos para poder responder de manera estratégica frente al razonamiento de los estudiantes. Los buenos programas de desarrollo profesional otorgan a los profesores la oportunidad para desarrollar estas destrezas.

Pero, ¿cómo se llevan estas afirmaciones a la práctica? En Lansing, Michigan, EE.UU., un subsidio de la Fundación Nacional para las Ciencias otorga financiamiento para una asociación entre la Universidad Estatal de Michigan y el distrito escolar de Lansing, con el propósito de crear oportunidades de capacitación para docentes basadas en la investigación. En el proyecto PI-CRUST (Fomento de las comunidades inquisitivas para reformar la enseñanza de las ciencias en la ciudad), los profesores de enseñanza básica han estado trabajando en grupos por curso durante los últimos cinco años. Se han centrado en la ciencias que ellos enseñan en sus cursos, en las dificultades comunes que los niños enfrentan cuando estudian las ciencias, en el análisis de los programas curriculares, en la revisión de las unidades orientadas a la indagación y basadas en los estándares que han adoptado, y en los conocimientos pedagógicos, entre los que se incluyen conocimientos sobre representaciones, analogías y modelos que ayudan a los niños a construir grandes ideas. Los responsables con más experiencias de la universidad y del distrito están a cargo de estas comunidades de aprendizaje profesional, las que se reúnen después del horario escolar cada dos semanas y durante el verano para realizar un estudio intensivo de los conceptos científicos de una unidad específica. Los responsables de estas comunidades también asisten a las clases de los profesores como observadores o asistentes de los profesores, para así mejorar las clases según lo que han aprendido los estudiantes.

Durante una sesión de verano reciente, la comunidad de aprendizaje profesional de segundo año de educación básica se dedicó a estudiar los conceptos esenciales y los modelos relacionados con el estudio del sonido.

Realizaron investigaciones para perfeccionar sus conocimientos; exploraron diferentes representaciones y materiales que podrían ayudar a que los niños entiendan cómo se propaga el sonido; analizaron la unidad del programa curricular actual; corrigieron, añadieron, eliminaron o secuenciaron algunas actividades en clase; leyeron informes de investigaciones acerca de las ideas que tienen los niños frente al sonido; y

revisaron fragmentos del libro de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias: *Stop Faking It! Finally Understanding Science So You Can Teach It* (¡Deja de improvisar! Finalmente entendiendo las ciencias para poder enseñarlas) para adquirir más conocimientos respecto al tema. Los profesores también diseñaron evaluaciones previas, centrales y posteriores para conocer lo que los niños pensaban sobre cómo ocurren los sonidos, cómo se propagan y cómo cambia la entonación y el volumen. El invierno siguiente, enseñaron esta unidad corregida, enfocándose por nueve semanas en el aprendizaje de los niños y en sus propias prácticas pedagógicas, compartiendo el trabajo de los niños con todas las clases de segundo año, registrando en video sus clases y haciendo modificaciones tanto de manera individual como en conjunto. El verano siguiente, se reunieron nuevamente para perfeccionar la unidad, de acuerdo con la información recolectada, y para compartir la unidad corregida con otros profesores de segundo año en el distrito.

La comunidad de aprendizaje profesional a nivel de jardín infantil descubrió que ya contaba con una unidad bastante buena sobre la basura y el reciclaje, pero no tenía los recursos necesarios para ayudar a los estudiantes a entender dónde va la basura después de que la botan en el basurero de la sala. Los profesores programaron una visita a un centro de desechos y reciclaje para que ellos mismos pudieran aprender más sobre el tema. Además grabaron la visita en video. Luego contrataron a un estudiante universitario de comunicación para que editara el video y así pudieran mostrar a sus estudiantes cómo los camiones de basura recogen la basura de la escuela y la transportan a un vertedero, en donde grúas la cubren con tierra y la almacenan en áreas especialmente diseñadas y selladas. En este video también se mostraban las operaciones de selección y reciclaje en el vertedero, incluyendo la selección de materiales que se pueden utilizar como abono. Los profesores planificaron usar este video para ayudar a los estudiantes a entender las diferentes formas en que la basura puede ser manipulada, reciclada y transformada en abono orgánico.

En ambos ejemplos, los profesores se enfocaron en entender, representar y enseñar contenidos específicos a sus estudiantes en diferentes cursos. Analizaron el currículo, lo corrigieron y adaptaron para que se ajustara a la necesidades de los estudiantes, documentaron lo que sus estudiantes pensaban acerca de lo que estaban aprendiendo, y compartieron sus recursos y experiencias con otros profesores del distrito. En cada proyecto se destacaron profesores líderes que conformaron una comprensión específicamente acabada de los contenidos y el programa curricular de cada curso. Asimismo, de estos proyectos se rescataron

*Las oportunidades de aprendizaje para los profesores deberían...*

1. Reflejar un énfasis claro en el aprendizaje del estudiante en un área de contenido específica.
2. Centrarse en las fortalezas y necesidades de los estudiantes en dicha área de estudio, además de analizar la evidencia útil obtenida de las investigaciones.
3. Incluir un apoyo a nivel escolar e integrado al trabajo, que sirva para que los profesores evalúen el trabajo de los estudiantes, diseñen o refinan unidades de estudio u observen y reflexionen acerca de las clases que sus colegas preparan.
4. Brindar el tiempo suficiente durante el día y a lo largo del año para poder revisar y reflexionar acerca del trabajo que han realizado. El desarrollo profesional también debe realizarse durante varios años.
5. Recalcar la participación colectiva de grupos de profesores, incluyendo profesores de la misma escuela, departamento o curso.
6. Brindar a los profesores una visión coherente del sistema pedagógico, desde los estándares de desempeño y contenido, los materiales pedagógicos, las evaluaciones locales y estatales, al desarrollo de una comunidad profesional.
7. Recibir el apoyo continuo de los líderes escolares y del distrito.

recursos útiles para otros profesores, especialmente profesores principiantes y nuevos en el distrito, o profesores que comenzaban a enseñar en un nuevo curso. En palabras de un profesor de jardín infantil: "No tenía conciencia de lo poco que entendía sobre la basura y el reciclaje hasta que visité el vertedero. Ahora siento que realmente puedo enseñar esta unidad a mis alumnos, y entender el proceso y cada una de sus partes".

Solo en unos pocos estudios se han examinado las oportunidades de desarrollo profesional disponibles para los profesores de ciencias que trabajan en establecimientos de educación urbanos con estudiantes de escasos recursos y de grupos minoritarios. Como se mencionó con anterioridad, no se ha llegado a un acuerdo sobre las maneras más eficaces de enseñar a las poblaciones de estudiantes heterogéneas. Por lo tanto, en estos estudios se examinaron una gama de oportunidades de capacitación para profesores. Algunos se centraron en las cualidades y desafíos únicos de trabajar con estos grupos, mientras que otros abarcaron enfoques que no estaban relacionados únicamente con la enseñanza de este grupo en específico. A pesar del limitado número de estudios, el desarrollo

profesional para profesores que enseñan a estudiantes de diversos orígenes ha arrojado resultados prometedores, entre los que se incluye un impacto positivo en los logros de la alfabetización y el conocimiento científico de los estudiantes y en la reducción de las brechas que existen entre los resultados de los subgrupos demográficos.

Los profesores de estudiantes que recién comienzan a aprender el idioma como segunda lengua deben promover el desarrollo lingüístico y los resultados académicos de sus alumnos. En un número de investigaciones, se ha indicado que los esfuerzos de desarrollo profesional tienen un impacto positivo en los profesores, pues les ayuda a integrar la cien-

cia con el desarrollo de la alfabetización para luego trabajar con estos estudiantes. Por ejemplo, en un estudio que formó parte de una iniciativa sistémica local auspiciada por la Fundación Nacional para las Ciencias, se involucró a profesores de educación básica que enseñan a alumnos principalmente de trasfondos latinoamericano<sup>4</sup>. Después de participar en un programa de desarrollo profesional de cinco semanas de duración durante el verano, la mayor parte de los profesores habían ampliado sus ideas respecto a las conexiones entre la enseñanza de las ciencias indagatorias y el desarrollo de un segundo idioma, con el objetivo de integrar ambos aspectos. En otro estudio, se brindaban oportunidades de desarrollo profesional a profesores de educación básica con clases de estudiantes de diversos trasfondos culturales y sociales<sup>5</sup>.

Las creencias y las prácticas de los profesores que enseñaban ciencias a estudiantes de minorías lingüísticas cambiaron de manera positiva. Al final del año escolar, estos estudiantes mostraron mejoras estadísticamente importantes en cuanto a conocimientos científicos y lingüísticos (redacción), mayor habilidad para trabajar en actividades científicas de indagación y una reducción en la brecha de los resultados.

Como parte de una iniciativa de reforma a lo largo del sistema, otro grupo examinó el desarrollo profesional respecto al fomento de la alfabetización y conocimiento científico con una mayoría de estudiantes de educación básica de lengua hispana<sup>6</sup>. Durante un periodo de cuatro años, el programa de ciencias basado en la indagación quedó a la disposición de todos los profesores en todos los establecimientos de educación básica del distrito. Se les brindó oportunidades de desarrollo profesional, apoyo profesional en clases y materiales completos para todas las unidades de ciencias. En los resultados se indicó que los logros en alfabetización y conocimientos científicos de los estudiantes de minorías mejoraron de manera directamente proporcional al número de años que habían participado en el programa.

En otro estudio se examinó el impacto que tuvieron las prácticas de enseñanza basadas en estándares en los logros en el área de las ciencias y en las actitudes de los estudiantes de raza negra en el segundo ciclo de enseñanza básica. Entre estas prácticas, se incluye la indagación extendida, la resolución de problemas, las preguntas de respuestas abiertas y el aprendizaje cooperativo<sup>7</sup>. Los programas de desarrollo profesional consistían en cursos de verano de seis semanas y seis seminarios a lo largo del año académico, con el apoyo de la Fundación Nacional para las Ciencias. Los resultados indican que el desarrollo profesional diseñado para mejorar los conocimientos que tienen los profesores sobre el contenido y el uso de prácticas pedagógicas basadas en los estándares no solo

mejora los resultados de los estudiantes en las ciencias, sino que además reduce las desigualdades que se registran en los patrones de logros de los estudiantes urbanos de raza negra.

Los investigadores tienen distintas opiniones sobre las cualidades específicas de la enseñanza de las ciencias que mejoran el aprendizaje en poblaciones de estudiantes heterogéneas. A pesar de que aún no está claro cuáles son los beneficios de un enfoque por sobre otro, en estos estudios se sugiere que, si se ofrecen las oportunidades de aprender una gama de estrategias nuevas para enseñar a estos estudiantes, los profesores pueden mejorar su trabajo y el aprendizaje de los estudiantes.

Los tipos de oportunidades de desarrollo profesional descritas con anterioridad no son la única opción que hay para los líderes escolares. Además de estos programas, las escuelas pueden invertir en los recursos de educadores de ciencia especializados, como los especialistas científicos, los profesores líderes, los encargados de las capacitaciones, los mentores, los profesores de demostraciones y los profesores guía.

Los especialistas científicos pueden cumplir una amplia variedad de funciones en las escuelas. Pueden dedicarse a trabajar por completo con los profesores o pueden cumplir funciones de enseñanza en todo un nivel, por ejemplo, o solo en un curso. Estas últimas opciones no son muy comunes en los establecimientos de educación básica en los EE.UU. Sin embargo, en algunos países, incluyendo algunos con mejores resultados académicos que los estudiantes de EE.UU., con frecuencia confían en los especialistas científicos para que enseñen en los cursos incluso de segundo año.

Puede ser una estrategia útil hacer uso de especialistas científicos en las escuelas y sistemas en donde los profesores no cuentan con el conocimiento científico o la confianza como para enseñar a nivel de educación básica.

No se han llevado a cabo muchas investigaciones respecto a los beneficios de utilizar especialistas por asignatura, y los resultados de son variados. La evidencia sugiere que los profesores líderes pueden tener una influencia importante en la práctica de sus colegas, a pesar de que tales efectos suelen ser más comunes en escuelas que están apaleando diferentes problemas al mismo tiempo. Las escuelas con profesores líderes en las ciencias también tienden a tener estudiantes que les va bien en las asignaturas científicas, al menos cuando estos especialistas forman parte de gestiones de reforma más amplias.

Como se ha demostrado en estudios, los profesores no han tenido acceso a los distintos tipos de oportunidades de desarrollo profesional necesarias para llevar a cabo una enseñanza eficaz de las ciencias. Todavía queda mucho por aprender acerca de la conexión entre lo que los profesores saben y cómo este conocimiento afecta el ritmo de aprendizaje de

sus estudiantes. Los estudios futuros deberán centrarse en una gama de temas, desde la eficacia de los grupos de apoyo para el aprendizaje profesional, hasta el valor de analizar el trabajo hecho por los estudiantes. Por el momento, los docentes y el personal administrativo a nivel escolar deberán implementar buenas prácticas de reflexión, hasta que la investigación aporte una dirección más definitiva.

### *Los siguientes pasos*

Muchas de las escuelas y sistemas escolares no están en la mejor situación como para planificar y llevar a cabo un cambio sistemático a gran escala que apoye la enseñanza de las ciencias a nivel de educación básica de acuerdo con todos los aspectos que se describen en este libro. Sin embargo, esto no debería impedir que se hagan progresos. Tanto las personas por sí mismas como los grupos pueden avanzar en algunos aspectos de este plan. Aquí se describieron algunas de las maneras específicas en que las personas pueden hacer cambios progresivos enfocados en construir un sistema que apoye la enseñanza de las ciencias en la educación básica a nivel local.

### **Personal administrativo en la educación**

El personal administrativo cumple una función crucial en el respaldo que se otorga a la enseñanza de las ciencias de gran calidad. En el presente libro se describen algunas de las características de una buena enseñanza de las ciencias que los profesores podrían integrar e identificar en sus clases. Los administradores pueden cumplir la importante función de alentar a los estudiantes, a los profesores, al profesional encargado de las evaluaciones y de los programas curriculares y a los formadores de profesores, para que miren con otros ojos las suposiciones básicas acerca de las ciencias y cómo los estudiantes aprenden. Los encargados de las evaluaciones y el desarrollo curricular, por ejemplo, deberán aprender acerca de las cuatro ramas de la competencia y sopesar cómo el sistema de enseñanza los ayuda, cómo los estudiantes progresan a lo largo de las ramas y qué tipos de oportunidades de aprendizaje se le deberían brindar a los profesores de ciencias.

Los administradores cumplen una función crucial al brindar el espacio, el tiempo y los incentivos para que estos actores adquieran las ideas que se presentan en este libro y examinen de manera crítica su práctica actual.

Los administradores a nivel escolar pueden ayudar a crear una comunidad escolar que respalde continuamente el aprendizaje de las ciencias.



El significado variará de escuela a escuela. Por ejemplo, en las escuelas en donde la enseñanza de las ciencias es deficiente, los administradores pueden entregar este libro a los profesores y pedirles que piensen acerca de los pasos pequeños que podrían avanzar en pos de mejorar la enseñanza de las ciencias (leer a continuación para ideas específicas). En una escuela donde solo unos pocos profesores han adoptado recientemente las ideas en este libro, los administradores pueden cumplir una función clave de respaldo. Pueden ayudar a informar a otros profesores, estudiantes y a los padres acerca de los cambios que ocurrirán en las clases de estos profesores. A momentos, puede ser que las clases sean un poco bulliciosas. También puede ser que el trabajo que los estudiantes exhiben en los muros parezca extraño como, por ejemplo, los gráficos hechos por los estudiantes, las listas de hipótesis de trabajo, los relatos del razonamiento de los estudiantes, entre otros. Los administradores pueden ayudar a que todos comprendan lo que estos profesores están haciendo y alentar a otros a que se unan a esta iniciativa y brinden su apoyo.

### **Encargados de las oportunidades de desarrollo profesional**

Es necesario brindar oportunidades de desarrollo profesional para que los profesores entiendan las ciencias, entiendan cómo los niños comprenden las ciencias y entiendan cómo se deberían enseñar. Si los profesores han de crear experiencias científicas enriquecedoras y fructíferas para los estudiantes, ellos mismos deberían haber pasado por esas experiencias y haber trabajado con las cuatro ramas de competencia de maneras que se relacionen directamente con sus clases. Los profesores deben recibir apoyo para convertirse en aprendices y, al mismo tiempo, en investigadores, tanto de la ciencia que enseñan y del razonamiento de sus estudiantes, como de las mejores maneras de organizar la adquisición de conceptos, herramientas y prácticas complejas de parte de los estudiantes.

Los encargados del desarrollo profesional tendrán que estudiar este libro y otros estudios sobre el aprendizaje de las ciencias, para así poder organizar instancias de desarrollo profesional sólidas y centradas en las ciencias. Para crear y respaldar el desarrollo profesional enfocado en las ciencias y en el aprendizaje de los estudiantes, los encargados deberían trabajar en conjunto con profesores, administradores escolares y especialistas en el desarrollo curricular para la enseñanza de las ciencias. Es posible que tengan que convencer a sus colegas y supervisores para que brinden apoyo y permitan un mayor acceso a los profesores. Pueden respaldar los argumentos que necesitan apoyo con la evidencia descrita en este libro y con el estudio en el cual se basa este libro: *Taking Science to School* (Llevar la ciencia a la escuela).

Es necesario contar con herramientas y recursos que respalden el aprendizaje de profesores. El personal encargado del desarrollo profesional a nivel escolar y de distrito puede cumplir una función importante: identificar y compartir recursos con los profesores. En particular, los educadores necesitarán acceso a buenas instancias de enseñanza de las ciencias que puedan estudiar en tiempo real, en textos como el presente o por medio de videos y tecnologías interactivas. Es posible que los encargados del desarrollo profesional tengan que buscar recursos locales y consultar redes de profesionales con el fin de encontrar materiales que sean un ejemplo de buenas prácticas en la enseñanza de las ciencias.

### **Responsables del desarrollo curricular**

El programa curricular es una herramienta crucial para mejorar la educación de las ciencias. Por medio de este, se articulan las metas para la educación de las ciencias y se caracterizan las experiencias que los estudiantes deberían tener para poder progresar hacia esas metas. Sin embargo, los currículos con frecuencia no logran identificar y respaldar la gama de prácticas que yacen en la enseñanza eficaz de las ciencias.

Algunos especialistas curriculares serán parte de un sistema que se encuentra listo para embarcarse en una revisión sistemática de su currículo de ciencias para la educación básica y para mejorarlo de maneras que sean acordes a los conceptos centrales, las progresiones de aprendizaje y la práctica científica. Sin embargo, otros tendrán que buscar maneras más discretas de mejorar los programas curriculares. Por ejemplo, estos últimos pueden comenzar a discernir las maneras en que el currículo se construye en torno a los objetivos descritos en este volumen y a identificar qué cosas se pueden corregir. Para empezar, pueden preguntarse: ¿Presenta nuestro currículo a la ciencia como un proceso mediante el cual se formulan teorías y modelos a partir de evidencia que sean coherentes y se puedan llevar a la práctica? ¿Se presentan las discusiones sobre metodologías científicas en un contexto orientado a resolver preguntas y temas en particular, en vez de presentarlas como plantillas o recetas que se deben seguir al pie de la letra? ¿Incluye esta discusión sobre métodos científicos un enfoque que va más allá de los experimentos e incorpora ejemplos de las disciplinas científicas que emplean métodos de observación e históricos? Estas preguntas ayudarán a los profesionales encargados de los currículos a identificar las falencias en sus propios programas curriculares en las cuales deberían centrar sus esfuerzos.

## Docentes

Es posible que los profesores quieran saber qué pueden hacer de inmediato para mejorar la enseñanza de las ciencias, tanto en las clases de mañana como en la planificación de unidades de estudio que podrán enseñar en las semanas y meses a venir. A pesar de que algunos de los cambios descritos en este libro requerirán modificaciones significativas en el sistema educativo, cada profesor puede comenzar a practicar ahora aspectos de la enseñanza de las ciencias que aquí se describen.

Organizar un currículo para las ciencias en torno a conceptos centrales que se vuelven a estudiar progresivamente con más complejidad durante meses y años es el tema central de este libro. Incluso si los profesores no tienen control sobre el currículo de la enseñanza básica, estos pueden trabajar con los materiales que ya existen al tiempo que adoptan los principios de las progresiones de aprendizaje y las ideas centrales. Un profesor puede comenzar con una unidad de las ciencias que le sea familiar para aclarar las ideas científicas centrales que incluye. Los profesores tendrán que utilizar su juicio y los recursos disponibles para determinar qué nivel de comprensión es adecuado para cierto curso y año de estudio. Con estas ideas centrales y metas en mente, los profesores pueden utilizar textos escolares y otros materiales de apoyo para dar inicio a investigaciones que se desarrollarán por semanas y para identificar cómo las ramas de competencia pueden aprovecharse y cómo se pueden enseñar habilidades específicas dentro de dicha unidad. Nuevamente, en este volumen se han otorgado ejemplos de cómo los profesores han llevado a la práctica estas nociones, y esperamos que los docentes puedan utilizar estos ejemplos para su beneficio.

Examinar y escuchar de cerca las ideas de los estudiantes son componentes primordiales para la enseñanza de las ciencias. Incluso los profesores novatos pueden comenzar ahora a buscar maneras de incitar a sus alumnos a razonar, y a vincular este razonamiento con el currículo de las ciencias. A lo largo de este libro, se entregan ejemplos de los tipos de problemas y frases que los profesores expertos utilizan para que sus estudiantes expresen por escrito lo que piensan, por medio de diagramas o con lenguaje hablado. Los profesores pueden comenzar a mejorar en este aspecto revisando los ejemplos, creando preguntas y frases análogas a los temas que se encuentren enseñando y poniéndolas a prueba con sus estudiantes.

En las clases en donde los alumnos estudian las ciencias de forma práctica, los profesores y los estudiantes deben lograr que las ideas se expresen sin prejuicios, deben apoyar las primeras ideas que surgen y deben alentar el análisis crítico de las ideas de los otros. Como se ha

señalado en este libro, crear estas clases requiere de un enorme esfuerzo y de que tanto los profesores como los estudiantes se atengan a las normas de participación. El ejemplo de la Sra. Carter y de la Sra. Wright en el capítulo 5 puede ser particularmente ilustrativo, pues describe cómo los profesores pueden alentar y supervisar intercambios productivos y positivos entre los estudiantes.

Para algunos profesores, el escenario de estudiantes criticando las ideas de otros puede ser abrumador, y puede ser que prefieran comenzar instaurando periodos cortos de tiempo para tales debates. De manera alternativa, los profesores pueden preferir aplazar los intercambios largos y a voz alta entre los estudiantes hasta que realmente sepan cómo establecer y supervisar las normas de participación. Es posible que pidan a los estudiantes escribir lo que piensan sobre un tema, para luego hacer una lista de todas las ideas en un espacio público en donde todos puedan conocerlas y tomarlas en consideración. Esto permitirá que los estudiantes descubran la diversidad de ideas que tienen sobre los conceptos científicos, lo que puede formar la base para resolver dudas y generar explicaciones que incluyan la mayor parte de las observaciones. Aparte de ayudar a los estudiantes a generar explicaciones rivales, los profesores pueden seleccionar textos que traten sobre el desarrollo histórico de las ciencias y describan los desacuerdos y cómo éstos se resuelven en las ciencias. Estos esfuerzos iniciales no siempre ayudan a los estudiantes a aprender cómo actuar en una comunidad científica, pero les servirán para ver que los argumentos y las ideas contrarias son esenciales para las ciencias.

Aparte de los educadores en el sistema escolar, muchos otros grupos influyen en la educación de las ciencias en los Estados Unidos. Los padres, las sociedades científicas, los museos y centros científicos, las universidades, las editoriales y las organizaciones comunitarias cumplen una función importante al momento de apoyar el aprendizaje científico. Cada uno de estos grupos puede trabajar de manera individual y en conjunto para mejorar la educación de las ciencias. Les pedimos que reflexionen acerca de su trabajo de acuerdo con los fundamentos que la investigación entrega sobre el aprendizaje de las ciencias.

El aprendizaje y la enseñanza de las ciencias que ocurre en las clases actuales de Estados Unidos podría ser mucho mejor. Los estudiantes deberían adquirir más conocimientos a partir del que ya poseen, deberían ser capaces de formular buenas preguntas, deberían encontrar maneras de explorar tales preguntas, deberían investigar y evaluar modelos alternativos y deberían argumentar sus puntos de vista.

Con una población de estudiantes cada vez más diversa y con brechas aún más pronunciadas en los resultados de las ciencias, la meta de lograr

que todos los estudiantes sean competentes en ciencias puede parecer difícil de alcanzar. Es importante recordar que los niños de corta edad llegan a la escuela con una base sólida de habilidades de razonamiento, conocimiento del mundo natural y con una curiosidad innata. Para aprovechar estas habilidades, los profesores deben conocer las fortalezas que comparten sus alumnos, como también la manera en que cada estudiante es diferente. Los profesores deben estar dispuestos y ser capaces de adquirir o perfeccionar lo que saben de las ciencias, y deben recibir apoyo cuando se atreven a integrar enfoques pedagógicos que han demostrado ser beneficiosos para todos los estudiantes. Esto es posible cuando los profesores actúan de acuerdo con la premisa de que, sin importar la experiencia previa, los conocimientos que tengan y las diferencias culturales y lingüísticas, cada uno de sus estudiantes es capaz de aprender sobre ciencias.

Todavía se debe seguir trabajando para identificar las mejores maneras de poner en práctica el tipo de enseñanza que se describe en este libro. Sin embargo, por ahora contamos con los suficientes conocimientos como para avanzar en esa dirección. En investigaciones ha quedado demostrado lo mucho que los estudiantes son capaces de lograr en entornos de aprendizaje científico. Nos han mostrado lo que la enseñanza de las ciencias puede y debería ser y qué camino debería seguir. Así que, ¡manos a la obra! ¡En sus marcas, listos, ciencia!

# NOTAS

## Capítulo 1

- <sup>1</sup> Este caso se basa en un estudio realizado en conjunto con los profesores que participaron en el Proyecto de diálogo productivo en ciencias y matemáticas, financiado por la Fundación Dacis y las escuelas públicas de Springfield, Massachusetts, dirigido por Susan Catron, Sarah Michaels y Richard Sohmer. Para más información, visitar <http://www.investigatorsclub.com>.
- <sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigación. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Committee on Developments in the Science of Learning. J.D. Bransford, A.L. Brown, y R.R. Cocking (Eds.). Washington, DC: National Academy Press.
- <sup>3</sup> Este caso se basa en el Proyecto de diálogo productivo en ciencias y matemáticas, financiado por la Fundación Davis y las escuelas públicas de Springfield, Massachusetts, dirigido por Susan Catron, Sarah Michaels y Richard Sohmer.

## Capítulo 2

- <sup>1</sup> La imagen del largo de la cuerda que representa la manera en que se entrelazan las diferentes ramas se tomó prestada del volumen anterior del Consejo Nacional de Investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. *Mathematics Learning Study Committee*. J. Kilpatrick, J. Swafford, y B. Cocking (Eds.). Washington, DC: National Academy Press.
- <sup>2</sup> CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN. (1996). *National science education standards*. National Committee on Science Education Standards and Assessment. Washington, DC: National Academy Press.
- <sup>3</sup> Este caso se basa en el trabajo de profesores e investigadores que participaron en el Proyecto de Modelamiento de la Naturaleza, dirigido por Rich Lehrer y Leona Schauble de la Universidad de Vanderbilt, y en el trabajo de Glenn Adelson de Wellesley College, botánico y formador de profesores.

### Capítulo 3

- <sup>1</sup> El término "teorías" en este caso se refiere a la estructura conceptual de las ideas de los niños. Las teorías de los niños (o teorías básicas) son similares a las teorías científicas en el hecho de que reflejan una concepción interrelacionada y, a veces, coherente del mundo natural. No obstante, no son concepciones científicas explícitas, completas o precisas del fenómeno.
- <sup>2</sup> Este caso proviene del trabajo de profesores en una escuela de educación básica en Worcester, Massachusetts, EE.UU. Destaca el programa curricular desarrollado por Richard Sohmer para el Club de Investigadores, fundado por la Fundación Spencer (para más información, visitar <http://www.investigatorsclub.com>); y se basa en la enseñanza y publicaciones del profesor de física a nivel de enseñanza media, Jim Minstrell (para más información, visitar <http://www.facetinnovations.com>).

### Capítulo 4

- <sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigación. (1996). *National science education standards*. National Committee on Science Education Standards and Assessment. Washington, DC: National Academy Press.
- <sup>2</sup> Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- <sup>3</sup> SCHMIDT, W., WANG, H., Y MCKNIGHT, C. (2005). Curriculum coherence: An examination of U.S. mathematics and science content standards from an international perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 37, 525-559.
- <sup>4</sup> Se puede encontrar mucha más información sobre las progresiones de aprendizaje en SMITH, C., WISER, M., ANDERSON, C.A., Y KRAJICK, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessments: A proposed learning progression for matter and atomic molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 4.
- <sup>5</sup> Este y los dos casos siguientes se basan en un programa real, el Club de Investigadores, el que fue diseñado y estudiado gracias al financiamiento de la Fundación Spencer.
- <sup>6</sup> Este caso se basa en SOHMER, R., Y MICHAELS, S. (2007). The Investigators Club: An alternative to textbook science. In *Voices in Urban Education*, 14(winter). Providence, RI: Annenberg Institute for School Reform. Para más información y videos descargables sobre los Perritos de Aire, visite <http://www.investigatorsclub.com>.

- 7 Dada la edad y experiencia de sus alumnos, el Sr. Figueroa tomó la decisión pedagógica de evitar marcar la diferencia entre "peso" y "masa". Él sabe que masa es el término científico correcto para referirse a la cantidad de materia que algo contiene, y que peso es la medida de la fuerza de gravedad sobre un objeto. La masa es una medida universal, mientras que el peso cambia según la ubicación. Sus alumnos aprenderán a distinguir entre estos dos conceptos en los años a venir. Sin embargo, como sus alumnos utilizaron el término peso, y su meta era ayudarles a entender que el peso (o la masa) puede medirse de maneras más precisas que solamente sentir el peso con una mano, simplemente decidió seguir utilizando el término peso.
- 8 A algunos profesores no les será tan fácil conseguir dos balones y un bombín. Esta misma actividad podría llevarse a cabo con globos. En este caso, el profesor coloca dos globos sin inflar en una balanza de plato y la ajusta para que quede en equilibrio. Con los globos, la demostración es más compleja porque los globos se expanden al inflarlos, y este cambio en su tamaño es tan notorio que crea otros problemas en relación a la resistencia del aire. El globo inflado caerá más lentamente (como es muy probable que los niños anuncien) que el globo sin inflar, a pesar de que en realidad sea más pesado.
- 9 SMITH, C., MACLIN, D., GROSSLIGHT, L., Y DAVID, H. (1997). Teaching for understanding comparison of two approaches to teaching students about matter and density. *Cognition and Instruction*, 15(3), 317-393.

## Capítulo 5

- 1 Este capítulo reflexiona sobre el trabajo de Cathy O'Connor y Sarah Michaels en "Accountable Talk: Classroom Conversation That Works" (set de 3 CD-ROM), Institute for Learning, University de Pittsburgh. (Para más información, visite <http://www.instituteforlearning.org>.)
- 2 CHAPIN, S., O'CONNOR, C., Y ANDERSON, N. (2003). *Classroom discussions: Using math talk to help students learn: Grades 1-6*. Sausalito, CA: Math Solutions.
- 3 Este caso se basa en el trabajo de la profesora Gina Lally, en colaboración con las investigadoras Suzanne Chapin y Cathy O'Connor. Para más detalles sobre cómo establecer normas para instaurar diálogos productivos en clase, ver CHAPIN, S., O'CONNOR, C., Y ANDERSON, N. (2003). *Classroom discussions: Using math talk to help students learn. Grades 1-6*. Sausalito, CA: Math Solutions.



- <sup>4</sup> Esta sección se basa en gran parte en el capítulo "Equity and Access," del libro digital *Accountable Talk: Classroom Conversation That Works*, por Cathy O'Connor, Sarah Michaels, y Lauren Resnick. (Para más información, visite <http://www.institutelearning.org>.)
- <sup>5</sup> LIPKA, J. (1998). Expanding curricular and pedagogical possibilities: Yup'ik-based mathematics, science, and literacy. In J. Lipka with G.V. Mohatt and the Ciulistet Group (Eds.), *Transforming the culture of schools: Yup'ik Eskimo examples*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- <sup>6</sup> AU, K.H. (1980). Participation structures in a reading lesson with Hawaiian children: Analysis of a culturally appropriate instructional event. *Anthropology and Education Quarterly*, 11(2), 91-115. Ver también: THARP, R., AND GALLIMORE, R. (1989). *Rousing minds to life: Teaching, learning, and schooling social context*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- <sup>7</sup> LEE, C.D. (2001). Is October Brown Chinese? A cultural modeling activity system for underachieving students. *American Educational Research Journal*, 38(1), 97-141.
- <sup>8</sup> LEE, O. (2002). Science inquiry for elementary students from diverse backgrounds. En W. Secada (Ed.), *Review of research in education* (pp. 23-69). Washington, DC: American Educational Research Association.
- <sup>9</sup> WARREN, B., BALLENGER, C., Ogonowski, M., ROSEBERY, A.S., Y HUDICOURT-BARNES, J. (2001). Rethinking diversity in learning science: The logic of everyday sense-making. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(5), 529-552.
- <sup>10</sup> HUDICOURT-BARNES, J. (2003). The use of argumentation in Haitian Creole science classrooms. *Harvard Educational Review*, 73(1), 73-93.
- <sup>11</sup> Este caso destaca el trabajo de la profesora e investigadora Judith Richard, y se basa en videos y transcripciones de sus clases. Los nombres de los profesores y estudiantes son seudónimos. Para más información, consultar Michaels, S., O'Connor, M.C., y Richards, J. (1994). Literacy as reasoning within multiple discourses: Implications for policy and educational reform. En *Proceedings of the Council of Chief State School Officers 1990 Summer Institute on Restructuring Learning* (pp. 107-121). Washington, DC: Chief State School Officers.

## Capítulo 6

- <sup>1</sup> LEHRER, R., Y SCHAUBLE, L. (2006). Scientific thinking and science literacy. En W. Damon y R. Lerner, K.A. Renninger, y I.E. Sigel (Eds.), *Handbook of child psychology*, 6° ed. (vol. 4). Hoboken, NJ: Wiley.

- <sup>2</sup> *Wisconsin Fast Plants* es una herramienta curricular popular que utiliza una especie vegetal pequeña, resistente y de rápido crecimiento, criada por Paul Williams de la universidad de Wisconsin-Madison para que sea utilizada en entorno educativos.
- <sup>3</sup> LEHRER, R., Y SCHAUBLE, L. (2004). Modeling natural variation through distribution. *American Education Research Journal*, 41(3), 635-679. Reproducido con el permiso de la editorial.

## Capítulo 7

- <sup>1</sup> REISER, B.J., TABAK, I., SANDOVAL, W.A., SMITH, B.K., STEINMULLER, F., Y LEONE, A.J. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. En S.M. Carver y D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress*. (pp. 263-305). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- <sup>2</sup> KRAJCIK, J., Y REISER, B.J. (2004). *IQWST: Investigating and questioning our world through science and technology*. Evanston, IL: Northwestern University.
- <sup>3</sup> PALINCSAR, A.S., Y BROWN, A.L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117-175.
- <sup>4</sup> Este caso se basa en un conjunto de ejemplos en clases adaptados de la investigación de Carol Smith y colegas, y Leslie Rupert Herrenkhol y colegas. Para más detalles, consultar: SMITH, C., SNIR, J., Y GROSSLIGHT, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9, 221-283; HERRENKHOHL, L.R., PALINCSAR, A.S., DEWATER, L.S., Y KAWAKI, K. (1999). Developing scientific communities in classrooms: A socio-cognitive approach. *Journal of the Learning Science*, 8(3,4), 451-493; HERRENKHOHL, L.R., Y GUERRA, M.R. (1998). Participants, structures, scientific discourse, and student engagement in fourth grade. *Cognition and Instruction*, 16, 433-475.
- <sup>5</sup> Esta viñeta se obtuvo de HENNESSEY, M.G., Y BEETH, M.E. (1993). *Students' reflective thoughts about science content: A relationship to conceptual change learning*. Informe presentado en "Symposium on Metacognition and Conceptual Change" en la reunión anual de la Asociación Americana de Investigación Educativa (Atlanta, abril 1993). Disponible en Centro de Información de Recursos Educativos (ED407271).
- <sup>6</sup> SMITH, C.L., MACLIN, D., HOUGHTON, C., Y HENNESSEY, M.G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school

science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18, 349-422.

## Capítulo 8

- <sup>1</sup> NEWMANN, F.M., SMITH, B., ALLENSWORTH, E., Y BRYK, A. (2001). Instructional program coherence: What it is and why it should guide school improvement policy. *Education Evaluation and Policy Analysis*, 23(4), 297-321.
- <sup>2</sup> BANILOWER, E.R., BOYD, S.E., PASLEY, J.D., Y WEISS, I.R. (2006). *The LSC capstone report: Lessons from a decade of mathematics and science reform*. Chapel Hill, NC: Horizon Research.
- <sup>3</sup> WINDSHITL, M. (2004). Folk theories of "inquiry": How preservice teachers reproduce the discourse and practices of the scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 481-512.
- <sup>4</sup> STODDART, T., PINAL, A., LATZKE, M., Y CANADAY, D. (2002). Integrating inquiry science and language development for English language learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8), 664-687.
- <sup>5</sup> HART, J.E., Y LEE, O. (2003). Teacher professional development to improve the science and literacy achievement of English language learners. *Bilingual Research Journal*, 27(3), 357-383.
- <sup>6</sup> AMARAL, O., GARRISON, L., Y KLENTSCHY, M. (2002). Helping English learners increase achievement through inquiry-based science instruction. *Bilingual Research Journal*, 26(2), 213-239.
- <sup>7</sup> KAHLE, J., MEECE, J., Y SCANTLEBURY, K. (2000). Urban African-American middle school science students: Does standards-based teaching make a difference? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 1019-1041.

# ANEXO A

## Preguntas para los docentes

### Capítulo 1

1. ¿Le parece familiar la historia sobre la Sra. Fredericks al comienzo de este capítulo? ¿Cuáles son los puntos similares entre las experiencias de la Sra. Fredericks como profesora y los de usted como profesor o profesora o los de los otros docentes en su escuela o distrito? ¿Cuáles son las diferencias?
2. ¿Qué hicieron específicamente la Sra. Martínez y el Sr. Dolens para ayudar a sus alumnos a aprender a partir de los conocimientos, intereses y experiencia ya adquirida con la que llegaban a la escuela, al mismo tiempo que les enseñaban más acerca de las prácticas y herramientas científicas?
3. En los estudios de caso que describen las clases de la Sra. Martínez y del Sr. Dolens se sugiere que, en las ciencias, es más importante que los niños aprendan una teoría sólida sobre las mediciones, una que incluya varios tipos de cualidades y unidades, a que los niños simplemente aprendan a medir cosas. ¿Cuál es la diferencia entre esto y enseñar a los niños a medir? En estos casos, ¿dónde queda en evidencia que los profesores están ayudando a los niños a adquirir y a desarrollar una comprensión de los principios de medición?
4. Si usted estuviera en la situación de la Sra. Martínez o del Sr. Dolens, ¿cómo podría integrar a los apoderados en la exploración de las mediciones, para que puedan entender lo que usted está haciendo en clases y para, al mismo tiempo, extender el aprendizaje de los niños hasta el hogar?
5. Para los directores: ¿cómo se podría facilitar una instancia de diálogo y discusión con los profesores, con los líderes de la comunidad o con los padres, utilizando ya sea este capítulo o los estudios de caso que se describen en el mismo capítulo?

### Capítulo 2

1. ¿Dónde queda en evidencia el uso de las cuatro ramas de aprendizaje de las ciencias en la investigación del Sr. Walker y de la Sra. Rivera

sobre la biodiversidad en el patio de la escuela? ¿Qué elementos de la investigación de estos profesores podrían implementarse en su clase, o escuela o distrito?

2. Si tuviera que implementar una investigación similar en su clase o escuela, ¿cómo daría inicio a esta actividad? ¿Qué tipo de apoyo necesitaría? ¿Qué recursos utilizaría?
3. Para directores y especialistas en ciencias: ¿Cómo brindaría apoyo a los profesores que quieren realizar un proyecto de larga duración como el de biodiversidad? ¿Cómo adaptaría el proyecto para que se ajuste a su ubicación geográfica, así como a su escuela y región?
4. ¿Qué entiende usted por "las ciencias como práctica"?

### Capítulo 3

1. ¿Cómo pueden los educadores aprovechar las base de conocimientos y habilidades que los niños de corta edad comparten para ayudarles a que aprendan ciencias?
2. ¿Cómo pueden las nociones erróneas que tienen los niños sobre las ciencias servir de base para adquirir más conocimiento científico? ¿Cómo difiere el nuevo conocimiento de las nociones anteriores de los niños?
3. Imagine que usted está haciendo la misma demostración con el acuario y el vaso de vidrio vacío que la Sra. Faulkner mostró a su curso. Suponga que antes de la demostración, los estudiantes hicieron las siguientes cuatro predicciones:
  - 1) El vaso se llenará de agua y el papel se mojará.
  - 2) Un montón de agua entrará al vaso, pero el papel no se mojará.
  - 3) Un poco de agua entrará al vaso, pero el papel no se mojará
  - 4) No entrará agua al vaso y el papel no se mojará. ¿Qué predicción utilizaría para dar inicio al debate? ¿Por qué? ¿Qué haría si nadie menciona la predicción 3 o la 4?
4. ¿Cree que fue buena la unidad de la Sra. Faulkner sobre la presión del aire? ¿Por qué sí o por qué no? ¿Cómo se podría mejorar? Si considera que fue una actividad buena, ¿cuáles son los factores más importantes que contribuyeron a su éxito?
5. Para los padres: si su hijo o hija fuera alumno de la Sra. Faulkner, ¿qué le gustaría saber sobre la investigación de la presión del aire? ¿Cómo le gustaría que lo informaran acerca de la participación y el aprendizaje de su hijo o hija? ¿Qué dudas o preocupaciones tendría?

## Capítulo 4

1. ¿Cuáles son las diferencias entre la idea de enseñar a partir de conceptos centrales durante periodos extensos y las prácticas que usted utiliza actualmente en sus clases? ¿Cuáles son para usted los beneficios y los desafíos de enseñar de esta manera?
2. En el estudio de caso de la caja sorpresa, ¿cuáles son algunas de las maneras en que el Sr. Winter ayudó a sus alumnos a prepararse para el aprendizaje de las ciencias en los años a venir?
3. Como profesor o profesora, ¿qué ideas se le ocurren para adaptar una sola unidad de ciencias con el propósito de cumplir tanto las metas a corto plazo como aquellas a largo plazo propuestas en las progresiones de aprendizaje?
4. ¿Qué cosas en común tienen los tres estudios de caso descritos en este capítulo?

## Capítulo 5

1. Grabe el audio de una de sus clases de ciencias y escuche la naturaleza y la calidad de los diálogos que ocurren. ¿Identifica alguna evidencia de un patrón I-R-E? ¿Cuál es el equilibrio en un diálogo entre el profesor y los alumnos? ¿Hay alumnos que hablen más que otros? ¿Hay evidencia de técnicas de diálogo descritas en este capítulo? ¿Cómo se hace visible y público el razonamiento de los estudiantes?
2. ¿Cuáles son las características únicas de un debate orientado hacia la adopción de posturas? ¿Cómo difiere de las formas típicas de debates y diálogos en clases? ¿Cuáles son los beneficios del debate orientado a una postura respecto al aprendizaje de las ciencias?
3. ¿Cuáles son algunas de las maneras en que usted comparte con el público las ideas de sus estudiantes en el aula o en la escuela?
4. ¿Por qué es tan importante distinguir entre la argumentación científica y la argumentación cotidiana? ¿Cuáles cree usted son las mayores diferencias?
5. ¿Qué métodos utiliza la Sra. Carter para apoyar el diálogo y la argumentación y para respaldar el razonamiento científico? ¿Cómo incluye a todos sus alumnos en la conversación? ¿Funcionan bien sus métodos?

## Capítulo 6

1. Escoja dos unidades de estudio en un nivel escolar en particular de su escuela. Examine los materiales del profesor y los textos escolares de los estudiantes y busque algún indicio de que se enseña la estructu-

ración de modelos y representaciones. ¿Se pide a los estudiantes que desarrollen modelos y representaciones (conceptuales, matemáticas, gráficas, etc.) de los fenómenos científicos? ¿Qué preguntas tratan los niños de responder al diseñar modelos? ¿Se les da a los niños distintas y extensas oportunidades para examinar, criticas y mejorar sus propios modelos y representaciones de los fenómenos científicos? ¿Qué podría hacer usted para mejorar la enseñanza sobre los modelos y representaciones?

2. Para directores y encargados del desarrollo profesional: Póngase de acuerdo con los profesores para que usted pueda ir a presenciar las clases de ciencia en su escuela. Observe las clases en busca de indicios de las funciones metacognitivas que cumplen los estudiantes como los profesores, como se indicaba en la tabla de hallazgos de la Hna. Gertrude Hennessey. ¿Cómo se comparan las prácticas de los profesores y estudiantes de todos los niveles que usted observa en su escuela con los hallazgos de la Hna. Hennessey? Aliente a que los docentes examinen sus propias clases y comparen notas con colegas de diferentes cursos en su escuela.

## Capítulo 7

1. Escoja una unidad ejemplar en el currículo de ciencias para la educación básica de su escuela o distrito. ¿Se pide a los niños que trabajen en problemas científicos durante un periodo de tiempo? ¿Son los problemas "significativos" en ambos sentidos de la palabra, según se presenta en este capítulo? De ser así, ¿cómo? De no ser así, ¿qué se puede hacer para mejorar los problemas estudiados y la capacidad de los estudiantes de apreciar su significancia?
2. Para directores, especialistas en ciencias o profesores: Observe a los estudiantes que participan en los debates científicos o que dan explicaciones. ¿Logra identificar algún indicio del marco que comprende afirmación, evidencia y razonamiento según se describe en este capítulo? ¿Cómo se puede adaptar la práctica actual para hacer un mejor uso de este marco?
3. ¿Cómo es que la asignación de los roles de los estudiantes ayuda a respaldar mejor la participación equitativa en las clases? ¿Qué otros métodos ayudan a lograr un participación más equitativa, según se describen en este libro?

## Capítulo 8

1. ¿De quién es la responsabilidad de garantizar que los profesores cuenten con un buen programa curricular para las ciencias? ¿De quién es la responsabilidad de garantizar que los profesores tengan el tiempo durante la jornada laboral para participar en grupos de estudio u oportunidades de desarrollo profesional? ¿Qué funciones específicas deberían cumplir los directores, profesores, encargados del desarrollo profesional y profesionales en evaluación durante la creación y perfeccionamiento de los programas curriculares de ciencias?
2. ¿Qué se puede hacer de inmediato que sirva para mejorar la enseñanza de las ciencias en su distrito, escuela o clase? ¿Qué puede hacer usted por su cuenta? ¿Con quién se puede asociar para que su trabajo tenga más alcance?
3. De qué manera están alineadas las evaluaciones, el currículo, las prácticas pedagógicas y las oportunidades de desarrollo profesional en su escuela o distrito? ¿Qué deficiencias observa en este aspecto? ¿Qué desafíos impiden mejorar el alineamiento?
4. ¿Cuáles son los desafíos y posibilidades en su escuela o distrito respecto al apoyo que se puede brindar al aprendizaje continuo para los profesores junto a sus pares, aprendizaje que se debe enfocar en el contenido que deberían enseñar?





## ANEXO B

# Actividades de evaluación basados en una progresión de aprendizaje para la teoría atómico-molecular

### *Desde jardín infantil a 2° año de educación básica*

- A. Entregue a los estudiantes un conjunto de objetos que sean diferentes entre sí y que ya hayan sido explorados en clases según el tipo de material, el tipo de objeto, el color, el tamaño, entre otros. Pida a los estudiantes que ordenen los objetos en diferentes categorías según el tipo de material, el tipo de objeto u otras características. En cada caso, los estudiantes deberían explicar el razonamiento detrás del orden que hayan dado a los objetos. En esta tarea, los estudiantes fijan clasificaciones exhaustivas de acuerdo con las características principales de los objetos. Los estudiantes que no saben cómo clasificar no serán capaces de escoger sistemáticamente todos los objetos de un mismo tipo.
- B. Representaciones de datos sobre las propiedades de los objetos en una tabla de datos.

**Sección de trabajo con lápiz y papel:** muestre a los estudiantes una imagen de un conjunto de objetos (etiquetados A, B, C, etc.) de diferentes colores (rojo, azul), forma (cubo, esfera) y tamaño (grande, pequeño). Pídeles que elaboren una tabla en donde se describa cada objeto de acuerdo con las propiedades de color, forma y tamaño. Como alternativa a la elaboración de una tabla, una actividad más abierta sería pedir a los estudiantes que diseñen una manera de mostrar todas las cosas importantes que podríamos decir a la gente sobre los objetos. En este caso, la tarea implica que el niño resuelva por sí solo cómo diseñar una representación comunicativa. Esta variación, sin duda, permite

una gran variedad de soluciones, las que pueden ser comparadas e interpretadas por los otros estudiantes que no llegaron a la misma solución.

**Sección de desempeño:** entregue a los estudiantes una serie de formas (geométricas sólidas) que sean de diferente color, forma y tamaño (grande, mediano, pequeño). Pídales que elaboren una tabla en donde se describa cada objeto en detalle de acuerdo con su color, forma y tamaño (muestre una fotografía de la configuración). Estos objetos con diferentes atributos también pueden ser utilizados para la actividad de la Caja sorpresa, en donde los estudiantes hacen preguntas para identificar qué objeto (según su color, forma y tamaño) se encuentra dentro de la caja.

**Sección de desempeño:** entregue a los estudiantes una serie de objetos que varíen respecto a una misma dimensión (largo, área, peso o volumen). Pídales que midan la dimensión elegida y que elaboren una tabla de datos en donde se muestren los valores de la dimensión de cada uno de los objetos.

**Interpretación:** en estas secciones del ejercicio los estudiantes deben elaborar tablas sencillas, pero bien organizadas, para representar sus datos con claridad. Una parte importante del desempeño sería la capacidad de los estudiantes de describir cada objeto con precisión y detalle de acuerdo con todas las propiedades o dimensiones estudiadas, y que sepan organizar cada propiedad o dimensión en columnas (o filas) separadas.

### *De 3° a 5° año de educación básica*

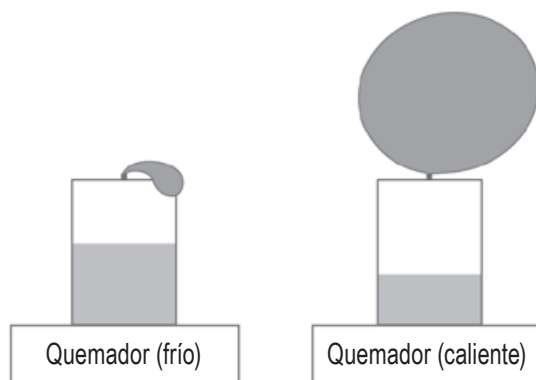
**Sección de trabajo con lápiz y papel:** (muestre una imagen o dibujo de dos globos no inflados en equilibrio, cada uno colgando de cada extremo de una barra que está suspendida con una cuerda atada en su punto medio). ¿Cuál de estas imágenes muestra lo que ocurrirá cuando el globo sea inflado? ¿Cómo lo saben?

- A) En la imagen se muestra que el globo sin inflar y el inflado están en equilibrio.
- B) En la imagen se muestra que el globo inflado es más pesado (se inclina hacia abajo).
- C) En la imagen se muestra el globo inflado es más liviano (se inclina hacia arriba)
- D) No se puede predecir a partir de la información otorgada.

**Interpretación:** en esta sección se evalúa si los estudiantes se dan cuenta de que el aire pesa y que, por lo tanto, al inflar un globo, este se volverá más pesado y se inclinará hacia abajo. Si los estudiantes entienden esto, deberían seleccionar la opción B y explicar que el aire pesa, por lo que la barra se inclinaría hacia abajo. Otras ideas alternativas típicas son que el aire no pesa (añadir aire no alterará el equilibrio) o que el aire tiene peso negativo (las cosas suben cuando se inflan con aire, por lo que el lado de la barra con el balón inflado subirá). Se pueden incluir otras secciones en donde se pregunte acerca del peso de un balón (o neumático) a medida se infla o desinfla.

### *Desde 6° a 8° año de educación básica*

**Sección de trabajo con lápiz y papel:** un contenedor con un orificio pequeño en la parte superior se coloca sobre un quemador. Hay agua en el contenedor. Se ata un globo desinflado al orificio. Se enciende el quemador. El agua comienza a hervir y el globo se empieza a inflar (ver imagen):



1. ¿Qué hay dentro del globo?
  - A. Aire
  - B. Oxígeno e hidrógeno
  - C. Aire y vapor de agua
  - D. Calor

2. Considere la masa combinada (cantidad de cosas) del contenedor, agua y globo (sin inflar e inflado) y lo que contiene el globo. Cuando el agua hierve:
- A. La masa (cantidad de cosas) permanece igual porque \_\_\_\_\_
  - B. La masa (cantidad de cosas) disminuye porque \_\_\_\_\_
  - C. La masa (cantidad de cosas) aumenta porque \_\_\_\_\_
  - D. No se puede predecir.

**Interpretación:** estas preguntas evalúan si los estudiantes creen que lo que emana del agua hirviendo es material, para saber si aplican el concepto de la conservación de la masa en esta situación, y qué es lo que creen que emana del agua. El porcentaje de estudiantes que creen que lo que emana del agua hirviendo sigue siendo agua aumenta durante el segundo ciclo de enseñanza básica. Algunos estudiantes creen que lo que sale del agua hirviendo es aire, o es posible que digan que el agua se desintegra en oxígeno e hidrógeno (lo que deja en evidencia una confusión entre transformaciones físicas y químicas). Los estudiantes pueden aplicar de forma adecuada la conservación de la masa y predecir que, cuando el agua líquida cambia de estado, la masa no se ve alterada. Por el contrario, pueden creer que la masa del gas será menor que la masa del líquido porque los gases se suponen como sustancias ligeras o sin peso.

## ANEXO C

# Diálogo productivo desde un punto de vista académico

Además de las maniobras discursivas, los profesores pueden hacer que los estudiantes participen en diferentes tipos de formato de diálogo, cada uno con sus normas de participación y turnos particulares. Por ejemplo, hablar con el compañero, llevar a cabo discusiones grupales, realizar presentaciones y embarcarse en trabajo grupales. En un número de estudios se sugiere que el diálogo académicamente productivo trae muchos beneficios para las actividades en clases. Este tipo de diálogo permite comprometerse y entender mejor el contenido que se estudia. Asimismo, suscita un razonamiento asombrosamente preciso y elaborado de parte de aquellos estudiantes que por lo general no se consideran como estudiantes habilidosos. Algunos de los mecanismos que se consideran como responsables de su eficacia al momento de respaldar el aprendizaje de los estudiantes son:

- Conversar acerca de las teorías, los conceptos, las evidencias, los modelos y los procedimientos puede provocar que surjan nociones erróneas. Esto puede ayudar a los profesores a reconocer y abordar lo que los estudiantes entienden y lo que no, y puede ayudar a los estudiantes a estar conscientes de las incoherencias o creencias incorrectas.
- Los formatos discursivos, tales como los debates con todo el grupo, pueden ayudar a los estudiantes a mejorar sus capacidades de elaborar nuevos argumentos científicos y de razonar lógicamente. Cuando un estudiante propone una afirmación, el profesor puede pedir que dé evidencia que la respalde.
- Permitir que los estudiantes hablen acerca de lo que piensan, las teorías que creen y las interpretaciones basadas en la evidencia

que sostienen les da más oportunidades de observar, escuchar y ser parte del razonamiento científico.

- El diálogo en clases lleva a los estudiantes a ver más allá de sus conocimientos incompletos, débiles o pasivos, pues se vuelven más conscientes de las discrepancias entre lo que ellos piensan y lo que otros piensan.
- La capacidad de comunicar con claridad y precisión es el sello distintivo de que se ha logrado llegar a un razonamiento científico acabado. El diálogo en clases brinda un contexto para que los estudiantes practiquen este aspecto.
- El diálogo en clases puede motivar a los estudiantes a que se sientan más cercanos a los argumentos y a los puntos de vista de sus compañeros.

### *Fuentes de lectura complementaria*

BRICE-HEATH, S. (1983). *Ways with words: Language, life, and work in communities and classrooms*. New York: McGraw-Hill; Oxford University Press.

CAZDEN, C. (2001). *Classroom discourse: The language of teaching and learning*. Portsmouth, NH: Heinemann.

LEMKE, J.L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.

MICHAELS, S., AND SOHMER, R. (2001). Discourses that promote new academic identities. In D. Li (Ed.), *Discourses in search of members* (pp. 171-219). New York: University Press of America.

## ANEXO D

# Resúmenes biográficos del grupo de supervisión y coautores

Kevin J. Cowley es un profesor adjunto de educación y psicología cognitiva del Centro de Investigación y Desarrollo del aprendizaje de la Universidad de Pittsburg, en donde también ejerce como director del Centro para el Aprendizaje en Entornos Extraescolares. Sus investigaciones se enfocan en el desarrollo del razonamiento científico de los niños en entornos informales, formales y cotidianos. En sus investigaciones, se centra en la forma como los niños adquieren y desarrollan el conocimiento y las habilidades en contextos como museos o en Internet, y en las mejores maneras de coordinar sus experiencias científicas. Ha sido profesor visitante del Departamento de Psicología y Educación de la Universidad de Nagoya, en Japón. Tiene un doctorado en psicología de la Universidad de Carnegie Mellon (1994).

Janet English, quien actualmente está con licencia y no está enseñando, es directora de los servicios educativos para KOCE-TV, el Servicio Público de Difusión Radial y Televisiva (PBS) de Orange County, en California, EE.UU. Durante 13 años, ha enseñado ciencias a nivel de 8° año de enseñanza básica, y comunicación y multimedia a nivel de 7° y 8° año en la escuela Serrano (Serrano Intermediate School) en el distrito escolar unificado de Saddleback Valley en Orange County (EE.UU.). Fue galardonada con el Premio Presidencial por su Excelencia en la enseñanza de matemáticas y ciencias en 2003. En KOCE-TV, ayudó en los inicios del proyecto Schoolhouse Video, por medio del cual se transmiten por PBS los videos que relatan el trabajo que han realizado los estudiantes.



Ha contribuido y trabajado en las *Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias*; ha sido asesora de la Iniciativa Cal Tech para las Ciencias Preuniversitarias; y es miembro del comité de la Iniciativa de Defensa al Financiamiento, que ayuda a los científicos e ingenieros cesantes que están en vía de transición hacia una carrera como profesores en escuelas dentro de la ciudad. Fue directora de química y física del Instituto de Educación Química en la Universidad de Colorado del Norte; instructora para el Instituto de Profesores de Apple y la Facultad de Educación de Apple; y formadora de profesores del Proyecto de Asistencia Tecnológica de California, EE.UU. Es miembro asociado del Comité Consultor de Profesores del Consejo Nacional de Investigación y es vicepresidenta del Consejo Consultor de Profesores de California, EE.UU.

La Hermana Mary Gertrude es una administradora escolar a nivel de enseñanza básica en la escuela Saint Ann en Stoughton, Wisconsin, EE.UU. Ha enseñado ciencias en los cursos de 1° a 6° básico. Además de poner en duda las teorías existentes sobre el desarrollo de los niños, la Dra. Hennessey trabajó en conjunto con la Facultad de Educación a nivel de posgrado de la Universidad de Harvard en un estudio diseñado para evaluar la afirmación de que los estudiantes de enseñanza básica pueden progresar de manera significativa en el desarrollo de una epistemología sofisticada y constructivista de la ciencia, si es que se enmarcan en un currículo de ciencias coherente que esté diseñado para apoyar el razonamiento de los estudiantes respecto a temas epistemológicos. Asimismo, también ha dirigido un estudio de varios años en el que se describe la naturaleza multifacética de las capacidades metacognitivas de los estudiantes más jóvenes. Es miembro fundador y ex presidenta de la Junta de Profesores de Ciencia a nivel de Enseñanza Básica de Wisconsin. Ha colaborado en investigaciones de entidades tales como el Centro de Astrofísica del Instituto Smithsonian, el Grupo de Investigación en Física de la Universidad de Maryland, la Universidad Estatal de Ohio, el Laboratorio Educativo Regional de la zona Norte Central y la Universidad de Wisconsin-Madison. Ha sido galardonada con numerosos premios nacionales y estatales por su excelencia en la enseñanza de las ciencias. Tiene un doctorado en filosofía de la Universidad de Wisconsin-Madison.

Sarah Michaels es profesora de pedagogía e investigadora jefe del Centro Jacob Hiatt para la Educación Urbana de la Universidad de Clark. Sociolingüista de profesión, ha participado de cerca en investigaciones y en la enseñanza en las áreas del lenguaje, cultura, alfabetización y los discursos en matemáticas y ciencias. Fue la directora fundadora del Centro Hiatt para la Educación Urbana y trabaja en pos de unir la formación de profesores, las investigaciones en educación sobre el discurso en clases y

los esfuerzos de los distritos en la reforma de la educación. Actualmente, se dedica a replantear la formación de profesores y el desarrollo profesional para que se centre en un discurso de clases riguroso, coherente y equitativo. Michaels es coautora de la serie de CD-ROM *Accountable Talk: Classroom Conversation That Works* (en colaboración con el Instituto para el aprendizaje de la Universidad de Pittsburgh), una herramienta que se está utilizando en los distritos urbanos a lo largo del país. En pos de promover los estudios realizados por profesores, trabaja para brindar apoyo a los profesores como teorizadores, a los innovadores en materia curricular y a los líderes de la educación que utilizan las herramientas de etnografía y análisis discursivo para generar nuevos conocimientos útiles que apuntan a mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes en sus propias clases o en otras. Michaels tiene a su haber varias publicaciones sobre el tema de análisis discursivo en clases, ha sido galardonada en diferentes instancias por sus labores de enseñanza y financiamiento, y participa en un gran número de consejos revisores de publicaciones universitarias, series de textos escolares y de fundaciones educacionales. Antes de unirse a Clark en 1990, Michaels era directora del Instituto de Alfabetización de Newton, Massachusetts (EE.UU.), y jefa de proyecto de una variedad de becas en lenguaje y escolaridad como investigadora adjunta e instructora en la Facultad de Educación a nivel de posgrado de la Universidad de Harvard. Es licenciada de Barnard College y doctora en educación (lenguaje y alfabetización) de la Universidad de California, Berkeley (EE.UU.).

Brian J. Reiser es profesor de ciencias del aprendizaje en la Facultad de Educación y Políticas Sociales de la Universidad de Northwestern. Sus investigaciones abordan el tema del diseño y estudio de los entornos de investigación y las herramientas de indagación de respaldo para las ciencias. Estos proyectos exploran el diseño de los entornos de aprendizaje basados en computadores, los cuales estructuran en etapas la investigación y la argumentación científica acerca de los fenómenos biológicos y el diseño de las herramientas de indagación de respaldo que ayudan a los estudiantes a organizar, reflexionar y comunicar el progreso de sus investigaciones. Este trabajo se está realizando como parte de las iniciativas del Centro de Tecnologías del Aprendizaje en Escuelas Urbanas, el cual se encuentra trabajando para entender cómo se puede hacer que las tecnologías del aprendizaje cumplan una función primordial en las clases de ciencias en escuelas urbanas. Reiser es además miembro de la facultad central del Centro para Materiales Curriculares para las Ciencias, una colaboración al Proyecto 2061, de la Universidad Estatal de Michigan, la Universidad de Northwestern y la Universidad de Michigan.

Colabora en los consejos editoriales de las revistas *Interactive Learning Environments* y *Journal of the Learning Sciences*. Fue miembro del Comité de Diseño de Evaluaciones para los logros de la enseñanza de las ciencias en educación básica y media, del NRC. Tiene un doctorado en psicología de la Universidad de Yale (1983).

Leona Schauble es profesora de pedagogía en la Universidad de Vanderbilt. Sus investigaciones se centran en las relaciones entre el razonamiento cotidiano y el razonamiento letrado más formal con tintes culturales, tales como el razonamiento científico y matemático. Los temas que aborda son el cambio de nociones en los contextos de la experimentación científica, el razonamiento cotidiano, las inferencias casuales, y los orígenes y el desarrollo del razonamiento basado en modelos. Antes de Vanderbilt, trabajó en la Universidad de Wisconsin, en el Centro de Investigación y Desarrollo del Aprendizaje de la Universidad de Pittsburgh, y en el taller televisivo para niños en Nueva York. Hace poco fue miembro de la Sociedad Estratégica para la Investigación en Educación, una iniciativa afiliada por el NRC diseñada para recopilar una base de conocimientos robusta, que sea el producto tanto de las investigaciones como de la práctica. Esta base servirá de apoyo para que los responsables de la educación escolar mejoren el aprendizaje de los estudiantes. Schauble tiene un doctorado en psicología del desarrollo y educacional de Universidad de Columbia (1983).

Heidi A. Schweingruber (coautora) es encargada en jefe del programa en el Consejo para la Enseñanza de las Ciencias del NRC. Fue encargada del estudio de la NRC, el cual dio como resultado el informe *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Por el momento, se encuentra a cargo del proceso de revisión, encargado por el congreso, de los programas de educación preuniversitaria de la NASA. Antes de unirse al NRC, era una investigadora adjunta del Instituto de las Ciencias de la Educación del Departamento de Educación de los EE. UU. En este lugar estaba encargada del programa de evaluación de los programas curriculares prescolares y de un programa de becas para la enseñanza de las matemáticas. Ella fue un enlace de la Iniciativa de Ciencias y Matemáticas del Departamento de Educación y asesora del programa Early Reading First. Antes de dedicarse al trabajo de políticas, fue directora de investigación del Proyecto de Matemáticas Escolares de la Universidad de Rice, un programa de alcance comunitario para la enseñanza de las matemáticas en educación básica y media; además, fue profesora en las facultades de educación y psicología de esa casa de estudios. Tiene un doctorado en psicología (del desarrollo) y en antropología, y un diplomado en cultura y cognición de la Universidad de Michigan (1997).

Andrew W. Shouse (coautor) es encargado en jefe de programas del Consejo para la Enseñanza de las Ciencias del NRC, en donde dirige un estudio sobre el aprendizaje de las ciencias en entornos informales. Es un investigador y analista de políticas cuyos intereses incluyen el aprendizaje adquirido por profesores, la enseñanza de las ciencias en entornos formales e informales, y la comunicación de estudios en educación a un público que ejerce y se dedica a la formulación de políticas. Solía ser codirector (junto a Heidi Schweingruber) del estudio que dio como resultado el informe *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8* (Llevar las ciencias a la escuela: aprendizaje y enseñanza de las ciencias en la enseñanza básica). Antes de unirse al NRC, trabajó como un asesor en investigaciones en educación y evaluación, como administrador de un centro de ciencias, y como profesor de educación básica. Tiene un doctorado en políticas de educación, enseñanza y programas curriculares de la Universidad Estatal de Michigan (2005).

Deborah Smith es una profesora de segundo básico en la escuela Woodcreek Elementary Magnet School, en Lansing, Michigan, dedicada a la enseñanza de matemáticas, ciencias e ingeniería. Fue una de las investigadoras principales en ciencias para la Iniciativa Sistemática Estatal de Delaware, EE.UU. También es autora e investigadora principal (hasta que volvió a enseñar) en una beca de cinco años de la Fundación Nacional para las Ciencias otorgada al Distrito Escolar de Lansing y a la Universidad Estatal de Michigan para el estudio de la retención y renovación del equipo docente en la enseñanza básica. Dirige dos comunidades de aprendizaje profesional pedagógico para profesores para esta beca. Ha entregado asesoría al Proyecto 2061, WestEd, Horizon Research, Annenberg CPB, y al Departamento de Educación de Michigan sobre asuntos de desarrollo profesional, normas para las ciencias y análisis curricular. Mientras se encontraba trabajando para la Universidad Estatal de Michigan, llevó a cabo una investigación sobre los conocimientos de ciencias que los egresados de pedagogía poseían y sus nociones respecto a la naturaleza del trabajo científico y la enseñanza de las ciencias. Publicó su investigación en revistas universitarias como *Journal of Research on Science Teaching*, *Teaching and Teacher Education*, y *Journal of Science Teacher Education*. Recibió una beca de posdoctorado de la Fundación Spencer y otra beca de Carnegie Academy orientada a la enseñanza y aprendizaje. Es miembro del Consejo Consultor de Profesores de las Academias Nacionales. Tiene un doctorado en enseñanza y desarrollo curricular de la Universidad de Delaware (1989).



# Índice temático

## A

- Actividades. *Ver* Investigaciones en clases
- Actividad de la biodiversidad, 136, 162
  - equilibrio del ecosistema, 136-137
  - estudio de caso, 24-29
  - modelo de la variabilidad de las especies, 128-132
  - ramas de competencia, 30-36
- Adelson, Glenn, 182
- Administradores, 17, 175-176
- Afroamericanos, 106
- Afirmaciones científicas, 6, 11, 15
- Aire
  - como materia, 45
  - propiedades del, 48-57, 77-80
- Altímetro, 28, 32
- Año: Jardín infantil a 2°
  - capacidades cognitivas de los niños, 7-9
  - clases de estudio de la medición, 9, 10-11
  - investigación sobre el crecimiento, 123-124
  - investigación sobre la biodiversidad, 24-29
  - representaciones, 123-124
  - teoría atómico-molecular (Caja sorpresa), 65, 70, 71-75, 195-196
- Año: 3° a 5°
  - experimento de equilibrio, 112-113
  - investigación sobre el crecimiento, 124-126
  - investigación sobre la biodiversidad, 24-29
  - representaciones, 119, 123, 126, 127, 128-132
  - teoría atómico-molecular, 77-80, 196-198
- Año: 6° a 8°
  - cambio en las nociones, 151-154
  - evaluaciones estatales, 1
  - teoría atómico-molecular, 48-57, 81-89, 197-198
  - unidades IQWST, 141-142

## Aprendizaje de las ciencias.

- marco para, 19-20, 160
- Ver también* Progresiones de aprendizaje; Ramas de competencia
- nociones acerca de los niños de corta edad, 166-167

## Argumentación

- alentar la, 98-99, 178-180
- ambigüedad en el lenguaje y, 99
- aprender por medio de la, 16, 34, 35, 73, 94-95
- como colaboración, 93
- diversidad cultural en la, 104-107
- formas de, 94-95
- incomodidad de parte de los educadores con la, 98-99, 178-179
- los objetivos de la, 95
- mediar la, 99
- normas para presentar la, 23, 95, 98, 102-103, 145, 178-180

## Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia. (AAAS), 63

## Asociación Nacional de Profesores de Ciencias, 171

## Autismo, 102

## B

### Balanza, 75, 78-79, 120

### Biodiversidad en el patio de una escuela urbana, 24-29, 120, 128-132

## Biología

- cambio conceptual en, 44-45
- comprensión básica de, 30-32, 40, 45-46
- habilidades de razonamiento de los niños de corta edad, 41
- herramientas curriculares, 123, 124-125, 128-132, 185
- representación del crecimiento, 123-132
- teoría atómico-molecular y, 64
- unidad de Lucha por la supervivencia, 139-140

Biology Guided Inquiry Learning Environment (BGuiLE) [proyecto de investigación sobre entornos de aprendizaje orientados hacia la biología], 139, 141-142

## C

Caja sorpresa, 71-76

Categorización. *Ver también* Clasificación de los datos, 121

habilidades de los niños de corta edad, 27, 28, 31, 41

tarea de evaluación, 195

Catron, Susan, 181

Chèche Konnen (programa de investigación), 108

Cambio conceptual

en la estructura del conocimiento, 44, 156

en las Moléculas en movimiento, 48-59

en las redes de conceptos, 44-46, 49-53, 58

en las representaciones, 123-127

en los conceptos existentes, 44, 46-47, 48, 49-50, 58, 72

en los niveles de explicación, 47, 53-57, 81-82

enseñar para, 145

tipos, 44, 46

Científicos

como una red social, 2, 5, 141

contribuciones, 2

estereotipo, 3

estudiantes como, 7, 16

mujeres y monorías, 5

prácticas en el mundo real, 5, 7, 27, 145

prácticas intelectuales, 147

Clasificación

biológica, 25, 28-29, 32

de objetos, 74, 75, 195

modelos, 25

Club de Investigadores, 85-89, 181, 182

Comunicación de ideas. *Ver también*

Argumentación; Representación;

Diálogo

diferencias culturales, 5, 104-107

importancia, 93

presentaciones en público, 108

Comprender las ciencias. *Ver* Comprensión científica

Comprensión científica. *Ver también*

Conocimiento científico

auto-corrección, 47

cambios en, 7, 22, 31, 32, 81, 126-127, 151-154

capacidad de los niños para, 7-9, 30-31, 39-43, 159

conocimiento básico, 40-43

contextos de significado, 43; *Ver también*

cambio conceptual demostrar competencia, 21

enfoque pedagógico, 30-31, 48-57 metacognitivo, 83-84, 151-155

enseñar a partir de conocimiento ya adquiridos, 8, 9, 11, 15-16, 27, 34, 59-60, 64-65, 163

influencias fuera de la escuela, 8

Conceptos centrales. *Ver también* Cambio conceptual

comprensión de los niños de corta edad sobre, 13

eficacia de, 83-84

ejemplos, 63, 137

en las progresiones de aprendizaje, 58-59, 63, 64, 68-70, 77-78, 81, 90-91, 161

estándares y referentes, 65, 67-68

ideas intermedias, 65, 69

implementación con el tiempo, 64-65, 68-70, 91, 139-140, 178

importancia, 60, 90-91

interrelación, 60, 63-64

necesidades de investigación, 68

sistema de apoyo para, 65

Conducta de los estudiantes, 1, 25, 33, 102-103

Conocimiento científico

adquisición de, 86

aprendizaje de hechos, 43, 49, 53-54, 58

basado en conceptos, 42; *Ver también*

Cambio conceptual





- normas para, 12, 16, 49-50, 74, 82-84, 102-103, 104, 107, 178
- orientado a una postura, 32, 33, 42, 99-101, 149-150
- preguntas de guía, 101, 108
- preguntas que alientan a más preguntas, 107-108
- reglas de participación, 107-108, 144-145
- Densidad, 44, 60, 81, 145-149
- Desarrollo profesional, 17
  - equipo de empleados, 176-177
  - nivel escolar, 161-164, 168-169
  - oportunidades para, 37-38, 168-175
  - para enseñanza a poblaciones de estudiantes diversas, 172-173
  - ramas de competencia en, 165, 176
  - recursos para, 177
  - redes informales, 37-38
- Diálogo, productivo desde un punto de vista académico. *Ver también* Argumentación; Debate
  - alentar el, 95-98
  - aprender por medio de, 33-34, 44-45
  - diálogo con compañeros, 50-51, 97 y ramas de competencia, 96
  - exploratorio (razonamiento preliminar), 110-111, 178
  - formato por turnos, 71-72, 79, 95-96, 110, 112-113
  - importancia, 2, 97-98, 199-200
  - maniobras, 16, 96-97
  - momento o pausa para pensar y esperar, 52, 55, 78-79, 96, 97, 108-110
  - participación equitativa, 110, 111
  - preguntas iniciadas por el profesor, 10, 12, 53, 56, 96, 113
  - presentaciones de los estudiantes, 91
  - revisión de conocimientos previos, 97
  - secuencia I-R-E, 95-96, 115
- Diseño del sistema de educación de las ciencias. *Ver también* Profesores
  - administradores, 17, 175-176
  - conocimiento sobre el aprendizaje y, 160-161
  - construir el sistema, 16-17, 65, 115, 175-176
  - desarrollo curricular, 60, 160, 163-164, 177
  - desarrollo profesional, 17, 65, 76, 161, 163-164, 176-177
  - especialistas en ciencias, 173-175
  - estándares y, 160, 173
  - evaluaciones, 17, 60, 161
  - iniciativas de cambio, 160
  - prácticas pedagógicas, 160
  - ramas de competencia y, 37-38
- Dominios de la ciencia, 5, 40-43
- E
- Electromagnetismo, 5, 60
- Enseñar bien las ciencias. *Ver también* Prácticas pedagógicas
  - enseñar a partir de conocimiento previo, 8, 9, 11, 15-16
  - clases de ciencias eficaces, 7, 93
  - conocimiento sobre el tema y, 9, 60
  - estándares y parámetros de referencia, 3, 161
  - evaluaciones estatales y, 1
  - importancia, 2-3, 178-180
  - lenguaje y, 94
  - limitaciones de tiempo y, 1, 48-49
  - pasos siguientes para los profesionales, 177-180
  - preguntas para los profesionales, 189-194
  - representación de los datos, 133-134
  - seguimiento de experimentos, 1
  - terminología científica, 5-7
- Especialistas en ciencias, 173-175, 177
- Especialistas en programas curriculares, 24, 37-38. *Ver también* Especialistas en ciencias
- Estándares y parámetros de referencia, 3, 21, 161
  - limitaciones de, 67-68
  - revisión recomendadas, 160
- Estándares estatales y marcos curriculares, 3, 161
- Estimación, 14
- Estudios de caso. *Ver también* Investigaciones en clases

preguntas para los profesionales, 189-194

Evaluaciones. *Ver también* Evaluaciones estatales

de la progresión de aprendizaje de la teoría atómico-molecular, 195-198

requisitos legales, 2

respaldo al aprendizaje de las ciencias, 17, 37-38, 161

Evaluaciones estatales, 1, 24

Evidencia. *Ver* Evidencia científica

Evidencia científica, 5. *Ver también* Datos, definida, 6

empírica, 74

enfoque pedagógico, 31,32

generar, 5, 13-14, 15, 21-22, 31-32

negativo, 73

observacional, 6, 74, 77-80

presentar, 15

reflexionar acerca de, 35

Experimentos con el peso y ejercicios de pesar, 44, 60, 75, 77-80, 122, 182

**F**

Física

conocimiento básico y habilidades de razonamiento, 40, 41

red de conocimientos, 44-46

teoría atómico-molecular, 64

Fuerzas

cinética, 154, 155

equilibradas y desequilibradas, 85-99

Función de los padres en la enseñanza de las ciencias, 8

Fundación Davis, 181

Fundación Nacional para las Ciencias, 90, 160, 170, 172-173

Fundación Spencer, 181, 182

**G**

Gases, 48-57, 81, 85-89

Geología, 64

Goldenada, Marianne, 161-164

Graficar datos, 12, 34, 35, 77, 119-120, 121, 123, 124, 127

Gravedad, 59, 80, 154

**H**

Habilidades cognitivas

capacidades de los niños, 7-9, 16, 30-31, 39-43, 159, 166-167

capacidades lingüísticas, 104-105

nociones erróneas sobre, 9, 166-167

Habilidades de razonamiento, 7, 8, 10-11

deductivas, 74

específicas a un dominio, 40-41

inferencias, 73, 80

matemáticas, 113

Hecho, 6 *Ver también* Evidencia científica

Hipótesis y formulación de hipótesis, 5, 6, 74

**I**

Indagación, 36

Indagación y las Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias 164

Inducción, 41

Infantes, habilidades de razonamiento, 41

Inglés como segunda lengua, 10, 11, 25-26, 27, 31, 79-80, 91, 99, 111, 112-114, 172-173

Investigación y cuestionamiento de nuestro mundo por medio de la ciencia y la tecnología (IQWST), 141-142

Investigaciones. *Ver* Investigaciones en clases

Investigaciones en clases

actividades de medición, 9, 10-14, 74, 75, 77-80, 121

actividades de peso y equilibrio, 75, 78-79, 112-113, 121

actividades de seguimiento y extensión, 1, 11, 33, 75-76

Biodiversidad en el patio de una escuela urbana, 24-29, 121, 128-132

Caja Sorpresa, 71-76

consideraciones culturales en, 79, 112-114

crear problemas significativos, 135-137

crecimiento biológico, 119-120, 123-132

elaborar y defender explicaciones, 21, 102-103, 141-144

- empírico, 9, 10-14, 74-75  
 enfoque "en el momento justo", 137-139, 140  
 graficar, 12, 121  
 Lucha por las supervivencia, 139-140, 141  
 masa y densidad, 145-149  
 metacognición, 151-155  
 Moléculas en movimiento, 48-57  
 Naturaleza de los gases (6° a 8° año), 85-89  
 normas para la discusión, 102-103  
 palanca y fulcro, 137  
 problemas prácticos o aplicados, 137  
 problemas teóricos, 137  
 Propiedades del aire, 77-80  
 redacción de roles y funciones en, 145-149  
 representación de los datos, 25, 119-120, 123-132  
 secuenciar la enseñanza para, 137-140  
 Islas Galápagos, 139-140  
 Iteración, 13
- J**  
 Jardín infantil. *Ver* Año: jardín infantil a 2°
- L**  
 Lee, Okhee, 107  
 Lehrer, Richard, 123, 127, 181  
 Lenguaje de las ciencias, 5-7, 65, 70, 94, 104, 182  
 Ley ideal del gas, 85-89  
 Ley "No Child Left Behind" (ningún niño quede rezagado), 2  
 Lucha por la supervivencia, 139-140, 141
- M**  
 Masa, 80, 145-149, 182  
 Matemáticas, 9, 13, 25, 27, 42, 119-120  
 Materia, fases, 44. *Ver también* Teoría atómico-molecular de la materia  
 Mecánica de Newton, 5, 63  
 Medios, 122, 128
- Medición, 6  
 clases de ciencias, 9, 10-14, 27, 77-80  
 concepto de "relleno de fronteras", 120  
 convenciones, 13  
 error, 27, 122  
 iteración, 13  
 métodos estándares, 10, 13, 75, 124  
 principios claves, 13  
 teoría, 120  
 unidades apropiadas, 13, 120  
 unidades de fracción, 77  
 unidades idénticas, 13
- Mediciones estadísticas, 122  
 Memorización de hechos, 21, 49, 70, 77  
 Métodos científicos, 3, 5, 16  
 Modelos/modelamiento, 5, 6, 7  
 cambios en la comprensión, 123-127  
 comprensión metacognitiva, 15, 83-84, 94, 122, 123, 137, 139, 151-155  
 conocimientos de base, 41-42  
 datos, 120-122  
 diagramas, 85-89, 117, 119, 122, 123  
 formas de, 117-119  
 gráficos, 12, 34, 35, 77, 119-120, 123, 124, 128-132  
 intervalos en los datos, 128, 132 y  
 progresiones de aprendizaje, 42, 82, 123, 127  
 juegos de rol, 41  
 mapas, 27-28, 35, 123  
 matemático, 25, 42  
 modelo de Perritos de aire para la ley ideal del gas, 85-89, 117, 119  
 modelos de escala, 122-123  
 movimiento de la luz, 137  
 precisión de la representación, 119, 122-123  
 ramas de competencia en, 133  
 software Archimedes, 145  
 software Modeling with Dots, 145, 147  
 valores típicos, 128-132  
 ventajas y limitaciones, 86
- Modelos del sistema solar, 122-123  
 Moléculas en movimiento, 48-57

## N

Naturaleza de los gases ( $6^\circ$  a  $8^\circ$ ), 85-89

Normas en las clases

para el diálogo, 12, 13, 16, 102-103

para la práctica científica, 15, 16, 145

para representar argumentos, 23, 95, 98, 102-103, 145, 178-180

Normas Nacionales para la Enseñanza de las Ciencias, 20, 21, 67-68, 164

## O

Observación, 6, 74, 77-80, 105, 121

## P

Parámetros de Referencia para la Alfabetización Científica, 20, 67-68, 164

Pensamiento crítico

ciencia y, 2

comprender las capacidades de los estudiantes, 16, 151-154

introspección, 153

PI-CRUST (Fomento de las comunidades inquisitivas para reformar la enseñanza de las ciencias en la ciudad), 170-171

Placas tectónicas, 6

Planes de educación individuales, 102

Práctica científica

clases eficaces, 7, 15, 144-145

componente de indagación, 36

conceptos integrados con, 67-68, 77-80

contexto social, 23, 36, 141-145

enfoque pedagógico, 10-14, 33-34, 36-38

evidencia y, 21

normas en clases 15, 74

normas para, 15, 16, 23

participación productiva, 7, 23, 33-34

perspectiva de "las ciencias como un modo de práctica", 7, 36-38

por niños de corta edad, 9, 10-15, 35-36

ramas de competencia y, 20, 21-22, 33-34, 67

toma de decisiones colectiva, 7, 8, 10-11, 12-14, 15

Prácticas pedagógicas

basado en estándares, 173

cambio conceptual, 43, 145

congruencia en la enseñanza, 107

crear problemas significativos, 135-137, 166-169

elaborar y defender explicaciones, 50-55, 141-144, 145

enfoque recíproco, 145

enfoques y estrategias, 10-11, 43, 55

enseñanza en secuencias, 137-140

estrategias de inclusión, 11, 25-29, 71-72, 107-114

estructurar, 137

indagación, 36, 165, 173

motivar a los estudiantes, 28, 136-137, 139-140

nociones erróneas como puntos de partida, 8, 46-47

ramas de competencia aplicadas a, 30-34, 36-38, 48-59

redactar los roles de los estudiantes, 12-13, 107, 144-154

supervisión de, 37-38

Prescolares

habilidades de modelamiento, 42, 122

habilidades de razonamiento, 41

Presión del aire (atmosférica), 48-57

Profesores *Ver también* Desarrollo profesional

apoyo entre pares y administrativo, 161-164, 168-169

como aprendices, 25, 29, 161-163

comprender cómo aprenden los estudiantes, 16, 90, 166-167, 168-169

conocimiento de las ciencias 5, 9, 29-30, 60, 65, 76, 164-166

consideraciones pedagógicas, 76, 101, 115, 156, 167-169, 182

implementar cambios, 177-180

juicio negativo frente a las diferencias culturales, 106-107, 179-180

oportunidades de aprender, 25, 37-38, 161, 168-175

redes informales, 37-38

respaldo a las ramas de competencia, 37-38

"visión mundana" de las ciencias, 165

## Progresiones de aprendizaje

- a lo largo de años, 15-16, 59-60, 68-70, 160
- beneficios, 68-69
- de conceptos centrales, 28, 64, 68-70, 81, 90-91, 161
- de conocimientos previos, 8, 9, 41-42, 58-59, 68, 82
- desarrollo, 90-91
- eficacia, 91
- en la teoría atómico-molecular, 48-57, 69-70, 71-74, 77-84, 195-198
- en modelos, 123-127
- evaluaciones para, 195-198
- extensiones a corto plazo, 75-76, 91
- implementación, 90-91
- importancia, 15, 90-91
- procesos a niveles macro vinculados a fenómenos a nivel micro, 70, 81-82, 83-84
- ramas de competencia en, 69

Propiedades del aire, 77-80

Proyecto de Educación Temprana  
Kamehameha, 105

Proyecto de diálogo productivo en ciencias  
y matemáticas, 181

Proyecto de Modelamiento de la  
Naturaleza, 181

Psicología, conocimiento básico de, 40

Punto cero, 13

## Q

Química, 40, 64, 81. *Ver también* Teoría atómico-molecular de la materia

## R

Ramas de competencia. *Ver también*

- Progresiones de aprendizaje
- al modelar los datos, 132
- como vínculo entre contenido y proceso, 19-21, 36-38, 137
- comprensión de las explicaciones (rama 1), 21, 30-31, 35, 132, 151-154, 165
- en el conocimiento básico, 39-40, 42
- enfoques pedagógicos, 30-34, 160
- estándares y parámetros de referencia, 68

estudio de caso, 23, 24-34

generación de evidencia (rama 2), 9, 15, 21-22, 31-32, 34-35, 37-38, 120, 121, 126, 132, 135, 165

naturaleza interrelacionada de, 20, 34-36, 48, 159

parámetros de referencia y estándares y, 21

participación provechosa (rama 4), 23, 33-34, 35-36, 132, 137, 165

patrones de aprendizaje de profesores, 165

reflexión sobre el conocimiento científico (rama 3), 15, 22, 30, 32, 34, 35-36, 94, 98, 132, 133, 135, 136, 137, 129, 142, 145, 151-154, 155, 156, 160

Razón, 56, 81, 122, 126

Recipiente de desplazamiento de agua, 75

Reconocimiento de patrones, 30-31, 124-126, 127

Redacción y publicación de investigaciones, 89, 147

Representación, 7. *Ver también*

Argumentación; Modelos/  
modelamiento; Diálogo

actividad de biodiversidad, 128-132

años: 3° a 5°, 119, 123, 126, 127, 128-132

años: jardín infantil a 2°, 12, 124-125

cambios en la comprensión, 35, 126-127

como herramienta de razonamiento, 82, 117, 133-134

curva logística en forma de S, 124-125, 127

datos, 120-122, 128-132

desarrollo de, 127, 128-132

importancia, 93, 117, 133-134

matemático, 9, 13, 25, 112, 119-120, 123

sistemas coordinados, 123, 124, 125, 126, 127, 132

Resultados replicables, 11

## S

Schauble, Leona, 123, 127, 181

Selección de materiales pedagógicos, 164

Selección natural, 21, 139-140

Sohmer, Richard, 85-89, 181

- Solubilidad, 60
- Sistema. *Ver* Diseño del sistema de educación de las ciencias
- Sistema de educación. *Ver* Diseño del sistema de educación de las ciencias
- T**
- Temperatura, 47, 60, 81
- Teorema de Pitágoras, 28, 34
- Teorías o teorizar, 145
- avanzado, 82
  - básico, 39, 47, 181
  - crear problemas significativos, 136
  - definido 5-6, 94
  - debates orientados a una postura, 78-80, 99-101, 148-149, 150
  - generar evidencia científica, 21, 27-28, 72, 79-80
- Teoría atómico-molecular de la materia
- cambio conceptual en la comprensión, 46, 48-59
- actividad de la Caja sorpresa (jardín infantil a 2° año), 65, 70, 71-74
  - actividad de la Naturaleza de los gases (6° a 8° año), 85-89, 182
  - actividad de las Propiedades del aire (3° a 5° año), 77-80
  - actividad de Moléculas en movimiento (7° año), 48-57
  - conceptos centrales en, 77, 81, 136
  - diseño de las progresiones de aprendizaje, 69-70, 161
  - el idioma de las ciencias en, 70
  - naturaleza multidisciplinaria de, 64, 90
  - progresiones de aprendizaje, 46, 47, 48-57, 63, 71-74, 77-80, 90-91
  - secciones de evaluación de la, 195, 198
- Teoría celular, 63
- Teoría de la evolución, 21, 25, 55, 60, 63, 136, 139-140
- Termodinámica, 5, 60, 88
- Tercer Estudio Internacional de las Matemáticas y las Ciencias, 67
- Terremotos, 6
- U**
- Unidad sobre el sonido, 171
- Unidades constantes, 11, 13, 120
- Unidades de medición, 13
- Unidad sobre la basura y el reciclaje, 171-172
- Universidad Estatal de Michigan, 170
- Universidad de Northwestern, 139-140
- Universidad de Wisconsin-Madison, 185
- Universidad Vanderbilt, 181
- V**
- Volumen, 75, 77
- W**
- Wellesley College, 181
- Williams, Paul, 185
- Windshittl, Mark, 165
- Wisconsin Fast Plants, 123, 124-125, 128-132, 185
- Y**
- Yup'ik, 105



## AGRADECIMIENTOS

*¡En sus marcas, listos, ciencia!* es el resultado de la visión y compromiso de un grupo notable de profesionales talentosos. El sin fin de horas de trabajo, individual y colectivo, y el sólido compromiso para crear un recurso de calidad para los profesionales de la educación de las ciencias lograron que este volumen sea realidad.

Este libro fue posible gracias al auspicio del Instituto Merck para la Educación de las Ciencias. El apoyo permanente de su director Carlo Paravano fue fundamental para el proyecto. Agradecemos las conversaciones con Carlo al inicio del proyecto, sobre la importancia de crear un libro dirigido a profesionales de la educación. Agradecemos asimismo la confianza continua en este libro y en toda su elaboración. También agradecemos al hábil equipo de consultores que nos ayudaron en calidad de escritores y asesores en temas editoriales. El escritor independiente sobre temas científicos, Steve Olson, tradujo partes del informe que guía este volumen: *Taking Science to School* y contribuyó con los primeros borradores y correcciones. Agradecemos a Steve por su presencia en las reuniones del comité sobre aprendizaje, desde el jardín infantil hasta 8° año, del Consejo Nacional de Investigación, donde participó como observador encargado de la fidelidad entre este libro y los hallazgos y recomendaciones del comité.

También reconocemos a Betsy Melodia-Sawyer, editora independiente, que llegó al proyecto en calidad de editora de desarrollo. Su trabajo ha sido impresionante; no solo guió, sino también brindó su entusiasmo y conocimiento en las últimas etapas de la edición. También reconocemos a Kevin Crowley de la U. de Pittsburgh y Brian Reiser de la U. de Northwestern, quienes fueron asociados del proyecto del Comité para la Enseñanza de las Ciencias y trabajaron corrigiendo los borradores. Un tercer miembro del comité, Leona Schauble de la U. de Vanderbilt, revisó cuidadosamente los borradores y trabajó en estrecha colaboración con el personal y los asesores. Apreciamos mucho la generosidad con la que se comprometió a brindar su tiempo y sus conocimientos a este proyecto. La Hermana Mary Gertrude Hennessey, entonces directora de escuela y profesora de ciencias de 5° año en Stoughton, Wisconsin, y Deborah Smith, profesora de 2° año en Lansing, Michigan, nos ayudaron como consultoras del proyecto. Janet English, directora de servicios educacionales en KOCE-TV, Public Broadcasting Service, en Lake Forest, California, actuó como representante y contacto del Comité Consultor de Profesores del Consejo Nacional de Investigación. Reconocemos la importancia de sus observaciones y su parti-



cipación en este proyecto. La contribución conjunta de estos profesionales experimentados fue esencial.

Stephen Mautner, editor ejecutivo de la Editorial de las Academias Nacionales (NAP), participó en la preparación del libro en todas sus etapas. Reconocemos sus contribuciones críticas como editor experimentado y como colaborador constante del Consejo para la Enseñanza de las Ciencias. También mencionamos el apoyo de Barbara Kline-Pope, directora ejecutiva de la NAP, durante las etapas preliminares de este proyecto. Además, reconocemos a todo el personal de la editorial por sus contribuciones expertas a ¡En sus marcas, listos, ciencia! Eugenia Grohman, directora ejecutiva asociada de la división de ciencias sociales y del comportamiento y educación, y Patricia Morison, directora interina del Centro para la Educación de las Academias Nacionales, fueron claves ayudándonos a navegar por el proceso de revisión de este libro como coordinadores de revisión. El trabajo de Patricia Morison fue más allá del proceso de revisión y reconocemos su constante guía y su entusiasmo durante el proceso. Kirsten Sampson-Snyder, la encargada de los informes de división, supervisó el proceso de revisión independiente. También reconocemos a Christine McShane por su trabajo editorial, al igual a Yvonne Wise por su papel en la producción. Victoria Ward, asistente de proyecto del Consejo para la Enseñanza de las Ciencias, entregó el apoyo administrativo durante todo el proyecto. Agradecemos su agilidad y gracia desplegadas al momento de gestionar los complejos detalles administrativos.

Agradecemos a quienes revisaron el proyecto, cuestión fundamental para un producto NRC, y que nos comentarios y sugerencias muy útiles: Brian P. Coppola, Depto. de Química de la U. de Michigan; Susan Doubler, Centro para la enseñanza y el aprendizaje, TERC, Cambridge, Massachusetts; Wynne Harlen, U. de Bristol, Berwickshire, Escocia; Deborah Dale Lucas, Depto. de enseñanza y aprendizaje, U. de Vanderbilt; y Brett D. Moulding, Currículo, Oficina de Educación de Utah, Salt Lake City.

Finalmente, nos gustaría reconocer el trabajo original del Comité para la Enseñanza de las Ciencias, desde el jardín infantil hasta octavo año. Sin esta notable contribución, ¡En sus marcas, listos, ciencias! no existiría.

C. Jean Moon, Director  
Consejo para la Enseñanza de las Ciencias

# CRÉDITOS

Queremos agradecer especialmente a los estudiantes y profesores del CS 134 en el Bronx, Nueva York, por la amable invitación que extendieron a los autores de este volumen para que los estudiantes participen en las actividades científicas en su colegio. Estas fotografías se pueden encontrar en las siguientes páginas de *En sus marcas, listos, ciencia!*: 10, 11, 14, 50 (izquierda), 51 (abajo), 53, 71 (arriba), 73, 74, 79.

Foto de la portada por Photodisc, EyeWire Inc., Digital Stock Corporation, foto NPS por J. Schmidt; contracarátula Photodisc; 8 Photodisc; 10 Harry Heleotis; 11 Harry Heleotis; 12 Richard Sohmer; 14 Harry Heleotis; 23 Imágenes de puerta abierta; 24 Compañía de acciones digitales; 26 Proyecto de Modelamiento de la Naturaleza, Fundación Nacional para las Ciencias. 32 Proyecto de Modelamiento de la Naturaleza, Fundación Nacional para las Ciencias; 32 PhotoAlto; 33 Photodisc; 35 Photodisc; 46 (Izquierda y derecha) Richard Sohmer; 49 (Harry) Harry Heleotis; 50 Richard Sohmer; 51 (arriba) Harry Heleotis; 52 Richard Sohmer; 53 Harry Heleotis; 55 Richard Sohmer; 71 (arriba) Harry Heleotis; 71 (abajo) Sarah Michaels; 72 Sarah Michaels; 73 Harry Heleotis; 74 Harry Heleotis; 78 (izquierda) Richard Sohmer; 78 (derecha) Richard Sohmer; 79 Harry Heleotis; 86 (arriba y abajo) Richard Sohmer; 87 (arriba y abajo) Richard Sohmer; 89 Richard Sohmer; 103 Photodisc; 110 Comstock Images; 112 Sarah Michaels; 118 (arriba) Tim Dzurilla; 118 (abajo) Tim Dzurilla; 125-126 Student displays in R. Lehrer y L. Schauble, Symbolic communication in mathematics and science: Co-constituting inscription and thought. En J. Byrnes and E.D. Byrnes (Eds.), *Language, literacy, and cognitive development: The development and consequences of symbolic communication* (pp. 167-192); copyright Taylor and Francis Group LLC; 127 EyeWire Inc.; 129 fotografía por Richard Lehrer y Leona Schauble; copyright American Education Research Organization; 130 fotografía por Richard Lehrer y Leona Schauble; copyright American Education Research Organization; 131 (izquierda y derecha) fotografía por Richard Lehrer y Leona Schauble; copyright American Education Research Organization; 132 (arriba y abajo) fotografía por Richard Lehrer y Leona Schauble; copyright American Education Research Organization; 141 EyeWire Inc.; 146 (izquierda y derecha) Carol Smith; 195 Carol Smith.





