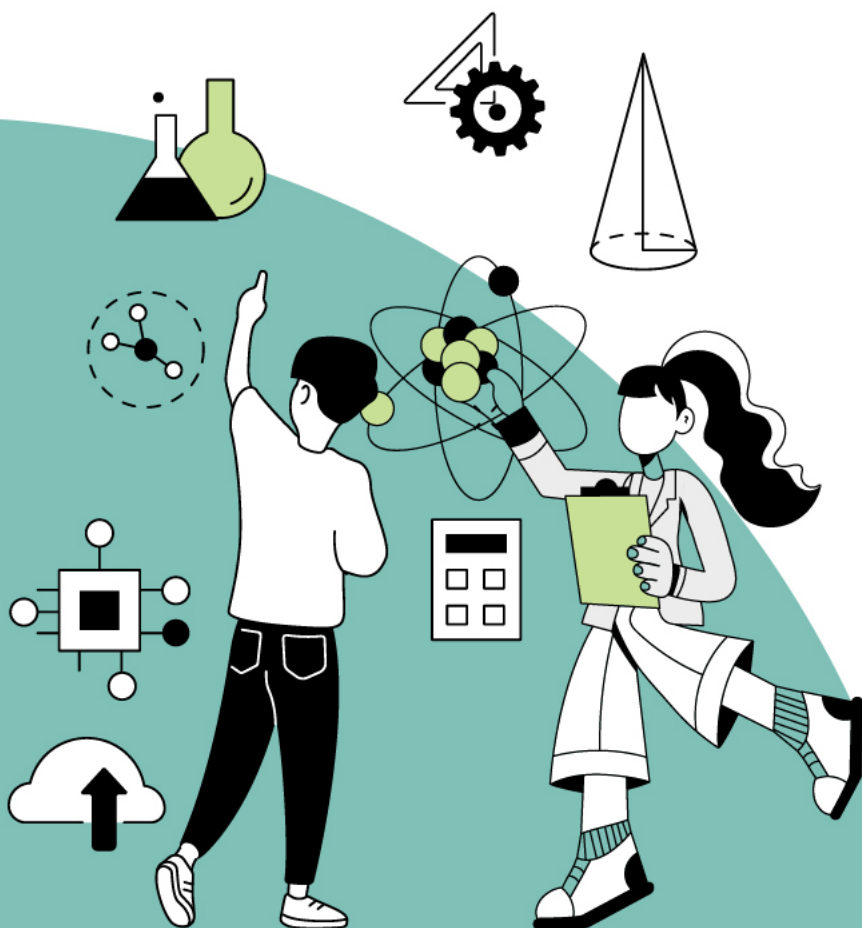


Enseñanza efectiva: ejemplos en Historia, Matemática y Ciencia



Cómo aprenden las personas

Cerebro, mente, experiencia y escuela

Comité de Avances en la Ciencia del Aprendizaje

John D. Bransford, Ann L. Brown y Rodney R. Cocking, *editores*

con material adicional del

Comité de Investigación sobre el Aprendizaje

y la Práctica Educativa

M. Suzanne Donovan, John D. Bransford y James W. Pellegrino, *editores*

Comisión de Ciencias Sociales y del Comportamiento en
Educación

Consejo Nacional de Investigación
(National Research Council)

NATIONAL ACADEMY PRESS,
Washington, D.C.

This is a translation of *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*, National Research Council; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences; Committee on Developments in the Science of Learning with additional material from the Committee on Learning Research and Educational Practice © 2000 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.

Edición en español

- Edición general: Eugenio Severin
- Traducción: Danilo Acevedo
- Edición y maquetación: María José Carreño Valencia

Prefacio

Es un honor presentar esta colección de libros en español, que recoge una serie de investigaciones fundamentales sobre cómo las personas aprenden y cómo podemos aplicar ese conocimiento en el ámbito educativo. Esta obra, que integra los hallazgos de los libros *How People Learn* y *How People Learn II*, se ofrece ahora en una edición ampliada, traducida y convertida en una colección de 20 libros breves, para proporcionar una comprensión integral de los procesos de aprendizaje, tanto en el contexto escolar como en otros ámbitos de la vida cotidiana.

El esfuerzo por traducir y poner a disposición de los lectores de América Latina estos trabajos es invaluable. Agradecemos profundamente el trabajo realizado por Tu Clase, cuya dedicación ha permitido que estos recursos científicos lleguen a una audiencia más amplia, contribuyendo a la mejora de la educación en la región. Este esfuerzo no solo facilita el acceso a investigaciones de vanguardia sobre el aprendizaje, sino que también

fomenta el diálogo entre la teoría y la práctica educativa, unificando las ideas de los dos libros originales una colección de gran relevancia para los educadores, estudiantes y responsables de políticas educativas de la región.

Esta colección abarca descubrimientos clave en diversas disciplinas como la neurociencia, la psicología cognitiva y social, la antropología y la educación, proporcionando una visión holística de cómo las personas aprenden y cómo podemos aplicar estos conocimientos en el aula y más allá. Además, ofrece un enfoque práctico que conecta la investigación con las estrategias pedagógicas, ayudando a los educadores a transformar sus enfoques y mejorar la experiencia educativa de sus estudiantes.

A través de esta colección, la National Science Academy de Estados Unidos y Tu Clase invitan a educadores, estudiantes, investigadores y responsables de políticas educativas a reflexionar sobre los avances en la ciencia del aprendizaje y a aplicar estos conocimientos para transformar la educación en nuestras comunidades. Esta obra representa un intento de apoyar un futuro educativo más informado y accesible, donde la ciencia y la práctica se encuentran para ofrecer una educación más profunda, significativa y equitativa para todos.

Alphonse MacDonald

Editor, National Academies Press

Prólogo

Explorar cómo aprenden nuestros estudiantes es, en esencia, volver a mirar el corazón de nuestra labor docente. Este libro 7 de la colección “Cómo aprenden las personas”, nos invita a dar un paso más: comprender cómo cada disciplina propone formas particulares de pensar, razonar y construir significado, y cómo ese conocimiento puede transformar profundamente nuestras prácticas.

A lo largo de estas páginas, encontraremos relatos de aulas reales y de docentes que, como nosotros, se enfrentan al desafío cotidiano de enseñar contenidos complejos a estudiantes diversos. Veremos cómo, en historia, la evidencia se convierte en una herramienta para interpretar el mundo; cómo, en matemáticas, los principios y las estructuras permiten que las ideas cobren vida; y cómo, en ciencias, la curiosidad, la práctica deliberada y el cambio conceptual guían la construcción de nuevo conocimiento. Cada ejemplo revela algo fundamental: no basta con

dominar un contenido; enseñar implica entender cómo ese contenido se vuelve comprensible para otros.

Este libro nos recuerda que las disciplinas no son solo conjuntos de temas, sino formas de pensar. La historia enseña a mirar múltiples perspectivas; la matemática, a buscar patrones y justificar ideas; y la ciencia, a modelar fenómenos y revisar nuestras creencias a la luz de nuevas evidencias. Reconocer estas particularidades abre una puerta poderosa para diseñar experiencias de aprendizaje más ricas y significativas.

Nuestra tarea como docentes es, entonces, doble: conocer profundamente nuestras disciplinas y, al mismo tiempo, conocer profundamente a quienes aprenden. Los ejemplos que aquí se presentan muestran que cuando ambos saberes dialogan —cuando el contenido se encuentra con la pedagogía— se crean entornos donde los estudiantes no solo responden ejercicios, sino que piensan, indagan, argumentan y descubren.

Este texto nos invita a explorar, sin miedo y con entusiasmo, esa intersección entre la disciplina y la enseñanza. A detenernos en aquello que nuestros estudiantes encuentran difícil, a anticipar las barreras conceptuales, y a diseñar estrategias que conecten sus intuiciones con los conceptos que queremos que construyan. Sobre todo, nos anima a ver que cada aula puede transformarse en una comunidad de aprendizaje donde todos participan en la aventura intelectual propia de cada campo del conocimiento.

Ojalá que, al leer estas páginas, sientas inspiración para mirar tu disciplina con nuevos ojos y para reconocer el enorme potencial que tiene tu enseñanza para abrir caminos

de comprensión profunda. Porque cuando enseñamos desde la esencia de cada disciplina, no solo compartimos contenidos: invitamos a nuestros estudiantes a pensar como historiadores, como matemáticos, como científicos.

Eugenio Severin C.

Director ejecutivo
Tu Clase

Enseñanza efectiva: ejemplos en Historia, Matemáticas y Ciencia

El libro anterior exploró las implicancias de la investigación sobre el aprendizaje en relación con cuestiones generales relevantes para el diseño de entornos de aprendizaje eficaces. Ahora pasamos a una exploración más detallada de la enseñanza y el aprendizaje en tres disciplinas: historia, matemáticas y ciencias. Elegimos estas tres áreas con el fin de centrarnos en las similitudes y diferencias entre disciplinas que utilizan distintos métodos de investigación y análisis. Uno de los principales objetivos de esta discusión es examinar los conocimientos necesarios para enseñar de manera eficaz en una diversidad de disciplinas.

Como se señaló en el Libro 2, la experiencia en áreas específicas implica más que un conjunto de habilidades generales para la resolución de problemas; también requiere un conocimiento bien organizado de los conceptos y los procedimientos de investigación. Las distintas disciplinas están organizadas de manera diferente y tienen enfoques

diversos para la indagación. Por ejemplo, las pruebas necesarias para sustentar un conjunto de afirmaciones históricas son diferentes de las pruebas necesarias para demostrar una conjetura matemática, y ambas difieren de las pruebas requeridas para comprobar una teoría científica. La discusión en el Libro 2 también distinguió entre el dominio de una disciplina y la capacidad para ayudar a otros a aprender sobre ella. Utilizando el lenguaje de Shulman (1987), los profesores eficaces necesitan conocimiento pedagógico del contenido (es decir, conocimiento sobre cómo enseñar disciplinas específicas), no solo dominio del contenido en sí.

El conocimiento pedagógico del contenido es distinto del conocimiento de métodos generales de enseñanza. Los docentes expertos conocen la estructura de sus disciplinas, y este conocimiento les proporciona mapas cognitivos que orientan las tareas que asignan a sus estudiantes, las evaluaciones que utilizan para medir el progreso de los estudiantes y las preguntas que formulan en la interacción diaria del aula. En resumen, su conocimiento disciplinario y su conocimiento pedagógico interactúan. Sin embargo, el conocimiento de la estructura disciplinaria no guía por sí solo al docente. Por ejemplo, los profesores expertos son sensibles a aquellos aspectos de la disciplina que resultan especialmente difíciles o fáciles de dominar para los estudiantes nuevos.

Esto significa que los docentes principiantes deben desarrollar la capacidad de “comprender de manera reflexiva desde lo pedagógico”; no solo deben manejarse bien dentro de una disciplina, sino también conocer las “barreras conceptuales” que probablemente dificulten el aprendizaje de otros (McDonald y Naso, 1986:8). Estas barreras conceptuales varían de una disciplina a otra.

El énfasis en las interacciones entre el conocimiento disciplinario y el conocimiento pedagógico contradice directamente ideas erróneas comunes sobre lo que los profesores deben saber para diseñar entornos de aprendizaje eficaces. Estas ideas erróneas suponen que enseñar consiste solo en aplicar métodos generales, que un buen docente puede enseñar cualquier asignatura, o que basta con tener conocimiento del contenido.

Algunos docentes logran enseñar de manera eficaz incorporando una variedad de disciplinas. Sin embargo, su capacidad para hacerlo requiere más que un conjunto de habilidades generales de enseñanza. Consideremos el caso de Barb Johnson, quien ha sido profesora de sexto grado durante 12 años en la Escuela Intermedia Monroe. Según los estándares convencionales, Monroe es una buena escuela. Los resultados en pruebas estandarizadas son promedio, el tamaño de las clases es reducido, las instalaciones están bien mantenidas, el director es un líder pedagógico sólido y hay poca rotación entre el personal docente y administrativo. Sin embargo, cada año, los padres que envían a sus hijos de quinto básico desde las escuelas primarias locales a Monroe compiten por lograr que sus hijos ingresen a las clases de Barb Johnson. ¿Qué ocurre en su sala de clases que la hace ganarse la reputación de ser “lo mejor de lo mejor”?

Durante la primera semana de clases, Barb Johnson les plantea a sus estudiantes de sexto grado dos preguntas: “¿Qué preguntas tienes sobre ti mismo?” y “¿Qué preguntas tienes sobre el mundo?”. Los estudiantes comienzan a enumerar sus preguntas. “¿Pueden ser sobre cosas tontas o pequeñas?”, pregunta un alumno. “Si son tus preguntas y realmente quieres saber la respuesta, entonces no son ni tontas ni pequeñas”, responde la profesora. Luego

de que los estudiantes hacen sus listas individuales de preguntas, Barb los organiza en pequeños grupos para compartirlas y buscar aquellas que tengan en común. Tras un largo intercambio, cada grupo crea una lista priorizada, ordenando las preguntas sobre sí mismos y las preguntas sobre el mundo.

De vuelta en una sesión grupal, Barb Johnson solicita a los grupos sus prioridades y trabaja con ellos para llegar a un consenso respecto a las listas combinadas de preguntas de toda la clase. Estas preguntas se convierten en la base que guía el currículo en la clase de Barb. Una de las preguntas, “¿Viviré hasta los 100 años?”, dio pie a investigaciones educativas sobre genética, historia familiar y oral, ciencia actuarial, estadística y probabilidad, enfermedades cardíacas, cáncer e hipertensión. Los estudiantes tuvieron la oportunidad de buscar información en sus familias, entre amistades, con expertos en distintas áreas, a través de servicios informáticos en línea, libros y también de parte de la profesora. Ella describe este proceso como convertirse en parte de una “comunidad de aprendizaje”. Según Barb Johnson, “Decidimos cuáles son los temas intelectuales más interesantes, ideamos formas de investigar esos temas y emprendemos un viaje de aprendizaje. A veces no logramos nuestra meta. A veces la alcanzamos. Pero la mayoría de las veces la superamos: aprendemos más de lo que esperábamos al principio” (comunicación personal).

Al término de cada investigación, Barb Johnson trabaja con los estudiantes para ayudarlos a ver cómo sus investigaciones se relacionan con las áreas curriculares convencionales. Crean una tabla donde registran experiencias relacionadas con lenguaje y alfabetización, matemáticas, ciencias, estudios sociales e historia, música y arte. Los estudiantes a menudo se sorprenden de la

cantidad y variedad de lo que han aprendido. Como dijo uno de ellos: “¡Pensé que solo estábamos pasándolo bien! ¡No me di cuenta de que también estábamos aprendiendo!”

La enseñanza de Barb Johnson es extraordinaria. Requiere una amplia gama de conocimientos disciplinares, ya que parte de las preguntas de los estudiantes y no de un currículo fijo. Gracias a su vasto conocimiento, puede vincular las preguntas de los estudiantes con principios clave de disciplinas relevantes. No serviría simplemente proporcionar a los docentes principiantes un conjunto de estrategias generales similares a las que ella utiliza y animarlos a replicarlas en sus propias salas de clases. Si no cuentan con el conocimiento disciplinar pertinente, tanto ellos como sus estudiantes se perderían rápidamente. A la vez, el conocimiento disciplinar sin comprensión de cómo aprenden los estudiantes (es decir, principios coherentes con la psicología del desarrollo y del aprendizaje) y sin conocimiento pedagógico sobre cómo guiar esos procesos de aprendizaje no produciría el tipo de aprendizaje que se observa en las clases de Barb Johnson (Anderson y Smith, 1987).

En el resto de este libro, presentaremos ejemplos y discusiones sobre enseñanza ejemplar en historia, matemáticas y ciencias. Estos tres casos están diseñados para mostrar el tipo de conocimiento pedagógico y disciplinar (Shulman, 1987) que sustenta la enseñanza experta. Deberían ayudar a comprender por qué la enseñanza eficaz requiere mucho más que un conjunto de “habilidades generales de enseñanza”.

Historia

La mayoría de las personas ha tenido experiencias bastante similares con los cursos de historia: aprendieron los hechos y fechas que el profesor y el libro de texto consideraban relevantes. Esta visión de la historia es radicalmente distinta de la forma en que los historiadores entienden su trabajo. Los estudiantes que creen que la historia se trata solo de fechas y hechos pierden valiosas oportunidades para comprender que la historia es una disciplina guiada por reglas específicas de evidencia y que ciertas habilidades analíticas pueden ser relevantes para comprender los eventos de sus propias vidas (véase Ravitch y Finn, 1987). Lamentablemente, muchos docentes no presentan un enfoque atractivo de la historia, quizá porque ellos mismos también fueron formados con el método de fechas y hechos.

Más allá de los hechos

En el Libro 2 analizamos un estudio sobre expertos en el campo de la historia y aprendimos que ellos consideran la evidencia disponible como algo más que listas de hechos (Wineburg, 1991). El estudio contrastó a un grupo de estudiantes destacados de último año de secundaria con un grupo de historiadores profesionales. A ambos grupos se les aplicó una prueba de conocimientos sobre la Revolución Americana, extraída de la sección de repaso de un libro de texto popular de historia de los Estados Unidos. Los historiadores con formación en historia estadounidense conocían la mayoría de los contenidos, mientras que aquellos cuya especialización estaba en otras áreas solo reconocieron un tercio de los hechos evaluados. Varios estudiantes obtuvieron puntajes más altos que algunos historiadores en esta prueba de conocimientos. Sin embargo, además de esta prueba, tanto

a los historiadores como a los estudiantes se les presentó un conjunto de documentos históricos y se les pidió que identificaran afirmaciones en conflicto y formularan interpretaciones fundamentadas. En esta tarea, los historiadores sobresalieron. La mayoría de los estudiantes, en cambio, se mostró desconcertada. A pesar del volumen de información histórica que manejaban, los estudiantes tenían escasa noción de cómo utilizarla productivamente para interpretar eventos o llegar a conclusiones.

Distintas visiones de la historia según distintos docentes

Las diferentes concepciones de la historia influyen en la manera en que los profesores enseñan esta disciplina. Por ejemplo, Wilson y Wineburg (1993) pidieron a dos docentes de historia de Estados Unidos que leyeran una serie de ensayos estudiantiles sobre las causas de la Revolución Americana, no como relatos imparciales o definitivos de personas y acontecimientos, sino con el fin de elaborar planes para la “nivelación o el enriquecimiento” de los estudiantes. Se entregó a los docentes un conjunto de ensayos sobre la pregunta “Evalúe las causas de la Revolución Americana”, redactados por estudiantes de undécimo grado durante una prueba cronometrada de 45 minutos. Considere el contraste entre los tipos de retroalimentación que entregaron el profesor Barnes y la profesora Kelsey a uno de estos ensayos (véase el Recuadro 7.1).

Los comentarios del profesor Barnes se centraban en el contenido factual del ensayo. Los de la profesora Kelsey abordaban concepciones más amplias sobre la naturaleza del campo disciplinar, sin dejar de señalar errores relevantes en los hechos. En términos generales, el profesor Barnes

RECUADRO 7.1 Comentarios sobre documentos de la Revolución Estadounidense

Estudiante n.º 7

Cuando terminó la Guerra Franco-Indígena, los británicos esperaban que los estadounidenses los ayudaran a pagar sus deudas de guerra. Eso habría sido una solicitud razonable si la guerra se hubiera librado por las colonias, pero en realidad se luchó por el imperialismo inglés, así que no se les puede culpar por no querer pagar. Los impuestos fueron solo el comienzo de un giro lento hacia la rebelión. Otro factor fue cuando el Parlamento decidió prohibir que el gobierno colonial emitiera más dinero; el numerario se volvió más escaso que nunca y muchos comerciantes quedaron atrapados en una “doble presión” que los llevó a la bancarrota. Si yo tuviera que elegir entre ser leal o rebelarme y tener algo para comer, sé perfectamente cuál sería mi elección. Los colonos que realmente eran leales nunca se rebelaron, y un tercio apoyó la revolución.

Lo principal que hizo cambiar de opinión a la mayoría fue la cantidad de propaganda, los discursos de personas como Patrick Henry y organizaciones como la “Asociación”. Después de la Masacre de Boston y la promulgación de las Leyes Intolerables, la gente quedó convencida de que había una conspiración dentro del gobierno real para extinguir las libertades estadounidenses. Creo que muchas personas simplemente siguieron la corriente o fueron presionadas por los Hijos de la Libertad. Los comerciantes que no adherían a los boicots a menudo se convertían en víctimas de la violencia de las turbas. En general, sin embargo, la gente estaba harta de los impuestos excesivos y de ser pisoteada, y decidió que había que hacer algo al respecto.

Comentario de resumen del Sr. Barnes

- Tu oración temática es débil.
- Incluir más detalles fácticos mejoraría tu ensayo.
- Revisa las correcciones ortográficas y gramaticales.

C-

Comentario de resumen de la Sra. Kelsey

- La mayor fortaleza de este ensayo es el esfuerzo notable por reflexionar de manera profunda sobre la pregunta: ¿por qué se rebelaron los colonos? Sigue pensando de forma personal: “¿Qué habría hecho yo en su lugar?” Ese es un excelente punto de partida.
- Sin embargo, para que el ensayo funcione, necesitas mejorar significativamente tus estrategias de organización. Recuerda que tu lector probablemente no conoce el contexto, así que debes expresar tu opinión con la mayor claridad posible. Intenta estructurar tus ideas desde un inicio, pasando por un desarrollo, hasta llegar a una conclusión.

Al comenzar, indica claramente tu postura: ¿Qué motivó a los colonos a rebelarse—el dinero, la propaganda, la presión social? En el desarrollo, justifica tu opinión. ¿Qué factores respaldan tu idea y podrían convencer a quien te lee?

Al finalizar, recuerda nuevamente al lector cuáles es tu punto de vista.

Vuelve a revisar tu texto y entrégalo nuevamente.

Fuente: Wilson y Wineburg (1993:Fig. 1). Reimpreso bajo autorización.

interpretaba los ensayos como una muestra de la distribución normal de las habilidades; la profesora Kelsey, en cambio, los veía como reflejo del malentendido de que estudiar historia consiste en memorizar gran cantidad de información y relatar una serie de hechos. Estos dos docentes tenían visiones muy distintas sobre la naturaleza del aprendizaje histórico. Dichas visiones influían en su forma de enseñar y en los objetivos que buscaban alcanzar con sus estudiantes.

Estudios sobre docentes destacados en la enseñanza de la historia

En el caso de los profesores expertos en historia, sus conocimientos disciplinarios y sus concepciones sobre la estructura de la materia interactúan con sus estrategias pedagógicas. En lugar de limitarse a presentar a los estudiantes conjuntos de hechos por memorizar, estos docentes ayudan a comprender el carácter interpretativo y complejo del análisis histórico y a valorar la relevancia de la historia en la vida cotidiana.

Un ejemplo de enseñanza sobresaliente proviene de la sala de clases de Bob Bain, un docente de un establecimiento público en Beechwood, Ohio. Bain señala que los historiadores están “condenados” a manejar una sobreabundancia de datos: los rastros del pasado amenazan con abrumarlos a menos que logren separar lo importante de lo accesorio. Las suposiciones que los historiadores tienen sobre qué es lo significativo influyen en la forma en que escriben la historia, en los datos que seleccionan, en la narrativa que elaboran, y en los esquemas más amplios que usan para organizar y periodizar el pasado. Con frecuencia, estas suposiciones sobre la importancia histórica no se explicitan en la sala de clases. Esto contribuye a que los

estudiantes crean que los libros de texto son la historia, en lugar de entenderlos como una versión de la historia.

Bob Bain comienza su curso de noveno grado pidiéndoles a todos sus estudiantes que creen una “cápsula del tiempo” con los objetos del pasado que consideren más importantes. Luego, deben justificar por escrito por qué eligieron esos elementos. De esta forma, los estudiantes articulan explícitamente sus supuestos sobre qué constituye significancia histórica. Las respuestas de los estudiantes se recopilan y se escriben en un afiche que el profesor cuelga en la pared del aula. Este afiche, al que Bain denomina “Reglas para Determinar la Significancia Histórica”, se transforma en un punto de partida para las discusiones durante todo el año, y se revisa y amplía a medida que los estudiantes desarrollan una mejor capacidad para expresar sus ideas.

Al principio, los estudiantes aplican las reglas de forma rígida y mecánica, sin comprender del todo que, así como ellos crearon esas reglas, también pueden modificarlas. Pero con la práctica, los estudiantes comienzan a usar estas reglas como herramientas para analizar los argumentos de distintos historiadores, lo que les permite comprender por qué existen desacuerdos entre ellos. En este caso, la creciente capacidad de los estudiantes para entender la naturaleza interpretativa de la historia se ve fortalecida por el profundo conocimiento disciplinar de su docente.

Leinhardt y Greeno (1991, 1994) estudiaron durante dos años a una destacada profesora de historia avanzada en un liceo urbano de Pittsburgh. La docente, la Sra. Sterling, con más de 20 años de experiencia, comenzaba el año escolar haciendo que sus estudiantes reflexionaran sobre la afirmación: “Toda verdadera historia es historia

contemporánea.” En la primera semana del semestre, Sterling enfrentaba a sus alumnos con cuestiones epistemológicas del tipo que se encuentran en seminarios de posgrado: “¿Qué es la historia?” “¿Cómo sabemos lo que ocurrió en el pasado?” “¿Cuál es la diferencia entre una persona que se sienta a ‘escribir historia’ y los artefactos que se producen como parte de la experiencia cotidiana?” El objetivo de este ejercicio extendido era ayudar a los estudiantes a comprender la historia como una forma de conocimiento basada en evidencia, no como un conjunto fijo de nombres y fechas.

Alguien podría cuestionar si es apropiado dedicar cinco días a “definir la historia” en un programa con tantos contenidos por abordar. Sin embargo, es precisamente el marco de conocimiento disciplinar de Sterling—su comprensión profunda de la materia—lo que permite que los estudiantes accedan a un nivel avanzado de razonamiento histórico. Al finalizar el curso, los estudiantes pasan de ser espectadores pasivos del pasado a convertirse en agentes activos capaces de participar en las formas de pensamiento, razonamiento e involucramiento propias del quehacer histórico. Por ejemplo, al comienzo del año escolar, cuando la profesora Sterling les preguntó sobre la Convención Constitucional y “qué pudieron hacer los hombres allí”, Paul respondió literalmente: “Eh, creo que una de las cosas más importantes que hicieron, de lo que hablamos ayer, fue el establecimiento de los primeros asentamientos en los estados del Noroeste.” Pero luego de dos meses de formación en el pensamiento histórico, Paul empezó a comprender. En enero, sus respuestas sobre la caída de la economía algodonera del sur se vinculaban con la política comercial británica, las empresas coloniales en Asia, y también con la incapacidad de los líderes del sur para interpretar adecuadamente la opinión pública en

Gran Bretaña. La propia comprensión de la historia que tenía la profesora Sterling le permitió crear un entorno de aprendizaje donde los estudiantes no solo dominaban conceptos y hechos, sino que también los usaban de forma auténtica para construir explicaciones históricas.

Debatiendo la evidencia

Elizabeth Jensen prepara a su grupo de estudiantes de tercer año medio para debatir la siguiente resolución:

Se resuelve: El gobierno británico posee la autoridad legítima para cobrar impuestos a las colonias americanas.

A medida que sus estudiantes ingresan a la sala, disponen sus escritorios en tres grupos: a la izquierda de la sala se ubican los “rebeldes”, a la derecha, los “lealistas”, y al frente, un grupo de “jueces”. Sentada a un costado, con un cuaderno espiral sobre sus piernas, está Jensen, una mujer baja de unos 30 años con una voz imponente. Pero hoy esa voz permanece en silencio mientras sus estudiantes abordan la cuestión de la legitimidad de los impuestos británicos en las colonias americanas.

La primera oradora del grupo de los rebeldes, una joven de 16 años con una camiseta de los Grateful Dead y un solo aro colgante, saca una hoja de su cuaderno y comienza:

Inglaterra dice que mantiene tropas aquí para protegernos. A primera vista, esto parece razonable, pero en realidad sus argumentos carecen de fundamento. Primero que todo, ¿de quién se supone que nos están protegiendo? ¿De los franceses? Citando a nuestro amigo el Sr. Bailey en la página 54:

‘Por el acuerdo firmado en París en 1763, el poder francés fue completamente expulsado del continente norteamericano.’ Entonces, claramente no es de los franceses. ¿Tal vez de los españoles? Pero esa misma guerra también sometió a los españoles, así que tampoco representan una amenaza. De hecho, la única amenaza al orden proviene de los pueblos indígenas... pero... contamos con una milicia bastante competente. Entonces, ¿por qué están enviando tropas aquí? La única razón posible es mantenernos bajo control. Con cada vez más tropas llegando, pronto se nos quitarán todas las libertades que valoramos. La gran ironía es que Gran Bretaña espera que nosotros pagemos por estas tropas opresoras, estos británicos que aplastan la justicia colonial.

Un lealista responde:

Nosotros vinimos aquí, estamos pagando menos impuestos de los que se pagaban durante dos generaciones en Inglaterra, ¿y aún así se quejan? Veamos por qué se están cobrando estos impuestos: probablemente la razón principal es que Inglaterra tiene una deuda de £140.000.000... Suena un poco codicioso, es decir, ¿qué derecho tienen de tomar nuestro dinero solo porque tienen poder sobre nosotros? Pero ¿sabían que más de la mitad de esa deuda se generó por defendernos en la Guerra Franco-Indígena? ... “Imposición sin representación” no es justo. De hecho, es una forma de tiranía. Sin embargo, la representación virtual convierte esta queja en una falsedad. Todo ciudadano británico, tuviera o no derecho a voto, estaba representado en el Parlamento. ¿Por qué esta representación no debería extenderse también a América?

Un rebelde cuestiona al lealista sobre esto:

Rebelde: ¿Qué beneficios obtenemos al pagar impuestos a la corona?

Lealista: Nos beneficiamos de la protección.

Rebelde (*interrumpiendo*): ¿Ese es el único beneficio que mencionas, la protección?

Lealista: Sí... y todos los derechos de un ciudadano británico.

Rebelde: Entonces, ¿qué hay de las Leyes Intolerables... que nos niegan los derechos de los súbditos británicos? ¿Qué hay de los derechos que se nos están negando?

Lealista: Los Hijos de la Libertad embadurnaban con brea y emplumaban a las personas, saqueaban hogares... definitivamente merecían algún tipo de castigo.

Rebelde: ¿Entonces todas las colonias deberían ser castigadas por las acciones de unas pocas?

Por un momento, la sala se convierte en una cacofonía de acusaciones y contraacusaciones. “Es lo mismo que pasó en Birmingham”, grita un lealista. Un rebelde resopla con desprecio: “La representación virtual es una farsa”. Treinta y dos estudiantes parecen hablar al mismo tiempo, mientras el juez principal, un estudiante delgado con anteojos gruesos, golpea su mazo sin lograr restablecer el orden. La profesora, aún sentada en la esquina con su cuaderno espiral en el regazo, emite su única orden del día. “¡Quédense quietos!”, truena. Se restablece el orden y los lealistas continúan con su argumento inicial (Fuente: Wineburg y Wilson, 1991).

Otro ejemplo del trabajo docente de Elizabeth Jensen se encuentra en sus esfuerzos por ayudar a sus

estudiantes de enseñanza media a comprender los debates entre federalistas y antifederalistas. Ella sabe que sus estudiantes, de 15 y 16 años, no pueden empezar a entender la complejidad de estos debates sin comprender primero que estas diferencias estaban enraizadas en concepciones fundamentalmente distintas sobre la naturaleza humana, un punto que el libro de historia aborda en solo dos párrafos.

En lugar de comenzar el año con una unidad sobre el descubrimiento y exploración europea, como lo dicta el texto, Jensen inicia con una conferencia sobre la naturaleza del ser humano. Los estudiantes de su clase de historia de tercer año medio leen extractos de escritos de filósofos (Hume, Locke, Platón y Aristóteles), líderes de Estado y revolucionarios (Jefferson, Lenin, Gandhi), y tiranos (Hitler, Mussolini), presentando y defendiendo estas posturas ante sus compañeros.

Seis semanas después, cuando llega el momento de estudiar la ratificación de la Constitución, estas figuras —ya conocidas— son convocadas nuevamente para ser persuadidas por grupos apasionados de federalistas y antifederalistas. Es la comprensión que tiene Elizabeth Jensen de lo que quiere enseñar y de lo que los adolescentes ya saben lo que le permite diseñar una actividad que ayuda a los estudiantes a experimentar el campo que les espera: decisiones sobre rebelión, la Constitución, el federalismo, la esclavitud y la naturaleza del gobierno.

Conclusión

Estos ejemplos ofrecen una mirada a prácticas docentes destacadas dentro de la disciplina de la historia. No provienen de “profesores dotados” que saben enseñar

cualquier cosa: demuestran, más bien, que los docentes expertos poseen un conocimiento profundo de la estructura y las epistemologías de sus disciplinas, combinado con un dominio de las estrategias de enseñanza que ayudarán al estudiantado a apropiarse del conocimiento histórico por sí mismos. Como se ha señalado anteriormente, este punto contradice con fuerza uno de los mitos más populares —y peligrosos— sobre la enseñanza: que enseñar es una habilidad genérica y que un buen docente puede enseñar cualquier asignatura.

Numerosos estudios demuestran que todo currículo —incluido un libro de texto— está mediado por la comprensión que tenga el profesor o profesora del dominio disciplinar (para historia, véase Wineburg y Wilson, 1988; para matemáticas, véase Ball, 1993; para inglés, véase Grossman et al., 1989). La singularidad del conocimiento disciplinar y pedagógico necesario para enseñar historia se vuelve aún más clara cuando se exploran prácticas docentes sobresalientes en otras disciplinas.

Matemáticas

Al igual que ocurre con la historia, la mayoría de las personas cree saber de qué se trata la matemática: cálculos. Como el aspecto más conocido por el público suele ser el computacional, muchas personas tienden a defender su presencia en el currículo escolar y a apoyar métodos tradicionales para enseñar a los niños a calcular. En cambio, para los matemáticos, el cálculo es solo una herramienta dentro del verdadero enfoque de las matemáticas, que incluye la resolución de problemas, la caracterización y comprensión de estructuras y

patrones. El debate actual sobre lo que los estudiantes deberían aprender en matemáticas suele oponer a quienes defienden la enseñanza de habilidades de cálculo contra quienes promueven la comprensión conceptual, reflejando así la variedad de creencias sobre qué aspectos de las matemáticas son realmente importantes. Una creciente cantidad de investigaciones demuestra de forma convincente que lo que los docentes saben y creen sobre las matemáticas influye directamente en sus decisiones y acciones pedagógicas (Brown, 1985; National Council of Teachers of Mathematics, 1989; Wilson, 1990a, b; Brophy, 1990; Thompson, 1992).

Las ideas del profesorado sobre las matemáticas, su enseñanza y su aprendizaje influyen directamente en sus decisiones sobre qué enseñar y cómo hacerlo—es decir, existe una interdependencia entre sus creencias y conocimientos sobre el contenido y la pedagogía (por ejemplo, Gamoran, 1994; Stein et al., 1990). Así, los objetivos de enseñanza que se fijan reflejan en gran medida lo que consideran importante en matemáticas y cómo creen que los estudiantes aprenden mejor. Por tanto, al analizar la enseñanza de esta disciplina, es necesario considerar el conocimiento específico del contenido matemático que posee el docente, su conocimiento pedagógico (tanto general como específico) y su conocimiento de los estudiantes como aprendices de matemáticas. Tener en cuenta estos dominios también implica examinar los objetivos que el profesorado establece para su enseñanza.

Si se espera que los estudiantes comprendan verdaderamente las matemáticas—una meta ampliamente compartida, incluso por quienes defienden el énfasis en el cálculo—entonces es fundamental observar ejemplos de enseñanza centrados en la comprensión y analizar los roles

que cumple el docente y los conocimientos que sustentan dichos roles. En esta sección, se presentan tres casos de enseñanza de matemáticas que se acercan a la visión actual de una enseñanza ejemplar y se analiza la base de conocimientos, creencias y metas que guían las decisiones pedagógicas de cada docente.

Multiplicación con significado

Para enseñar la multiplicación con varios dígitos, la docente e investigadora Magdelene Lampert diseñó una serie de clases con un grupo heterogéneo de 28 estudiantes de cuarto grado. Sus habilidades de cálculo iban desde quienes recién aprendían las tablas de multiplicar hasta quienes podían resolver multiplicaciones de n cifras con precisión. Las clases tenían como objetivo ofrecer experiencias en las que principios matemáticos fundamentales—como la composición aditiva y multiplicativa, la asociatividad, la conmutatividad y la propiedad distributiva—fueran evidentes en los pasos de los procedimientos para llegar a una solución (Lampert, 1986:316). Su descripción revela no solo un profundo entendimiento de las estructuras multiplicativas, sino también un dominio de diversas representaciones y situaciones problemáticas relacionadas con la multiplicación. Además, sus metas no se limitaban a la comprensión matemática, sino que también incluían el desarrollo de estudiantes independientes y reflexivos al resolver problemas. Lampert (1986:339) describió así su rol en el aula:

Mi papel era llevar las ideas de los estudiantes sobre cómo resolver o analizar problemas al espacio público del aula, mediar los debates sobre si dichas ideas eran razonables y validar el uso intuitivo que los alumnos hacían de principios matemáticos

como algo legítimo. También enseñaba nueva información en forma de estructuras simbólicas y enfatizaba la relación entre los símbolos y las operaciones sobre cantidades, pero exigía a los estudiantes que usaran sus propios criterios para decidir si algo era matemáticamente razonable. Si se entiende el rol docente de esta manera, resulta difícil separar la enseñanza del contenido matemático de la construcción de una cultura del sentido común en el aula, en la que tanto docentes como estudiantes se sienten responsables de verificar la legitimidad de los procedimientos a partir de principios matemáticos conocidos. Para el profesorado, estos principios pueden tener una forma más formal y abstracta; para el alumnado, están anclados en contextos experienciales. Lo más importante es que tanto docentes como estudiantes se dispongan a ver y hacer matemáticas de una manera particular.

Lampert buscó conectar los conocimientos previos de los estudiantes sobre la multiplicación con un conocimiento conceptual basado en principios. Lo hizo mediante tres tipos de clases. En la primera serie, usó problemas con monedas como: “Usando solo dos tipos de monedas, haz \$1.00 usando 19 monedas”, lo que animaba a los niños a aplicar su conocimiento sobre monedas y los principios matemáticos implicados en el intercambio. En la segunda serie, recurrió a historias y dibujos simples para ilustrar cómo agrupar cantidades grandes para facilitar el conteo. Por último, la tercera serie de clases utilizó únicamente números y símbolos aritméticos. En todas ellas, los estudiantes debían explicar sus respuestas y defender sus argumentos, en vez de depender de la validación del docente o del libro de texto. Un ejemplo de este enfoque aparece en el Recuadro 7.2.

Lampert (1986:337) concluye:

...los y las estudiantes usaron conocimientos basados en principios vinculados al lenguaje de agrupamientos para explicar lo que veían. Pudieron hablar de manera significativa sobre el valor posicional y el orden de las operaciones para justificar procedimientos y razonar sobre sus resultados, aunque no usaran términos técnicos. Consideré sus experimentos y argumentos como evidencia de que habían comenzado a ver las matemáticas como algo más que un conjunto de procedimientos para encontrar respuestas.

Sin duda, su profundo entendimiento de las matemáticas influyó directamente en cómo enseñó estas clases. Es importante destacar que su objetivo de ayudar a los estudiantes a comprender qué es matemáticamente legítimo moldeó la forma en que diseñó las clases de multiplicación con dos cifras.

Comprendiendo los números negativos

Ayudar a estudiantes de tercer grado a ampliar su conocimiento desde los números naturales hasta los enteros fue el desafío que asumió otra docente investigadora: Deborah Ball. Su trabajo ofrece otro ejemplo de una enseñanza que se basa en conocimientos profundos tanto del contenido como de la pedagogía matemática. Uno de sus objetivos era “desarrollar una práctica que respete tanto la integridad de las matemáticas como disciplina como la de los niños y niñas como pensadores matemáticos” (Ball, 1993). Es decir, no solo consideraba cuáles eran las ideas matemáticas clave, sino también cómo piensan los niños respecto a ese

contenido específico. Ball combinó su comprensión de los enteros como entidades matemáticas (conocimiento del contenido) con un profundo conocimiento pedagógico del tema. Al igual que Lampert, sus objetivos iban más allá de lo puramente matemático e incluían fomentar una cultura donde los estudiantes formularan conjeturas, experimentaran, construyeran argumentos y resolvieran problemas: el trabajo propio de un matemático.

Su descripción muestra cuán importante y complejo es encontrar formas eficaces de representar ideas matemáticas clave para los niños (Ball, 1993). Existen muchos modelos posibles para introducir los números negativos: maníes mágicos, dinero, puntuaciones de juegos, una rana en la recta numérica, o edificios con pisos sobre y bajo tierra. Ball eligió comenzar con el modelo del edificio y usar más adelante el del dinero, plenamente consciente de las fortalezas y limitaciones de cada uno para representar propiedades clave como la magnitud y la dirección.

Quería que el aspecto posicional del modelo del edificio ayudara a los niños a entender que los números negativos no equivalen a cero—una confusión muy común. También reconocía que este modelo dificultaba representar la resta de números negativos.

Deborah Ball comienza su trabajo con los estudiantes usando el modelo del edificio, rotulando los pisos. Los estudiantes rotulan fácilmente los pisos subterráneos y los aceptan como “por debajo de cero”. Luego exploran qué ocurre cuando unos pequeños personajes de papel entran al ascensor en un piso y se trasladan a otro. Este modelo se usa para introducir las convenciones para escribir problemas de suma y resta con números enteros,

como $4 - 6 = -2$ y $-2 + 5 = 3$. A los y las estudiantes se les presentan problemas cada vez más complejos. Por ejemplo: “¿Cuántas formas hay de llegar al segundo piso?” Trabajar con el modelo del edificio les permite generar varias observaciones. Un estudiante, por ejemplo, nota que “cualquier número bajo cero más ese mismo número sobre cero da como resultado cero” (Ball, 1993:381). Sin embargo, este modelo no permite explorar problemas como $5 + (-6)$, y a Ball le preocupa que los estudiantes no desarrollen un sentido claro de que -5 es menor que -2 — es más bajo, pero no necesariamente “menor”. Por eso, Ball recurre a un modelo basado en el dinero como un segundo contexto representacional para explorar los números negativos, aunque también reconoce sus limitaciones.

Claramente, el conocimiento de Deborah Ball sobre las distintas representaciones posibles de los números enteros (conocimiento pedagógico del contenido) y su comprensión de las propiedades matemáticas importantes de los enteros son fundamentales para su planificación e instrucción. Nuevamente, sus objetivos incluyen fomentar la autoridad matemática de los estudiantes y crear un sentido de comunidad. Al igual que Lampert, Ball desea que sus estudiantes asuman la responsabilidad de decidir cuándo una solución es razonable y probablemente correcta, en lugar de depender del texto o del profesor para confirmar si es correcta.

Discusión guiada

El trabajo de Lampert y Ball pone en evidencia el papel clave del conocimiento del contenido y del conocimiento pedagógico del contenido del profesor al planificar y enseñar matemáticas. También sugiere la importancia de que el docente entienda cómo aprenden los niños.

RECUADRO 7.2 – ¿Cuántos hay en total?

La profesora comienza pidiendo un ejemplo de una operación básica.

Profesora: ¿Alguien puede darme una historia que acompañe esta multiplicación... 12×4 ?

Jessica: Había 12 frascos, y cada uno tenía 4 mariposas dentro.

Profesora: Y si hago esta multiplicación y encuentro la respuesta, ¿qué sabría sobre esos frascos y mariposas?

Jessica: Sabrías cuántas mariposas hay en total.

Luego, la profesora y los y las estudiantes ilustran la historia de Jessica y construyen un procedimiento para contar las mariposas.

Profesora: Bien, aquí están los frascos. Las estrellas dentro representarán mariposas. Ahora, será más fácil contar cuántas mariposas hay en total si pensamos en los frascos en grupos. Y, como siempre, ¿cuál es el número favorito de los matemáticos para pensar en grupos? [Dibuja un círculo alrededor de 10 frascos.] Sally: 10.

La lección avanza mientras la profesora y los estudiantes construyen una representación visual agrupando 10 conjuntos de cuatro mariposas y dejando 2 frascos fuera del grupo; reconocen que 12×4 se puede pensar como 10×4 más 2×4 . Lampert luego hace que los niños exploren otras formas de agrupar los frascos, por ejemplo, en dos grupos de 6 frascos.

Los estudiantes se sorprenden al ver que 6×4 más 6×4 produce el mismo número que 10×4 más 2×4 . Para Lampert, esta es información importante sobre la comprensión de los estudiantes (evaluación formativa —ver Capítulo 6). Es una señal de que necesita hacer muchas más actividades que involucren diferentes agrupaciones. En lecciones posteriores, los estudiantes enfrentan

problemas en los que el número de dos cifras en la multiplicación es mucho mayor y, finalmente, en los que ambos números son bastante grandes -28×65 . Los estudiantes continúan desarrollando su comprensión de los principios que rigen la multiplicación e inventan procedimientos de cálculo basados en esos principios. Defienden la razonabilidad de sus procedimientos usando dibujos e historias. Con el tiempo, los estudiantes exploran algoritmos tanto tradicionales como alternativos para la multiplicación de dos cifras, utilizando solo símbolos escritos.

El concepto de enseñanza guiada por el pensamiento cognitivo ayuda a ilustrar otra característica importante de una enseñanza efectiva en matemáticas: que los profesores no solo necesitan conocer un tema específico dentro de la matemática y cómo lo entienden los alumnos, sino también desarrollar un conocimiento sobre cómo piensan los niños específicos en su clase acerca de ese tema (Carpenter y Fennema, 1992; Carpenter et al., 1996; Fennema et al., 1996). Se afirma que los docentes usarán ese conocimiento para tomar decisiones instruccionales apropiadas y ayudar a los estudiantes a construir su conocimiento matemático. En este enfoque, la idea de los dominios del conocimiento para la enseñanza (Shulman, 1986) se amplía para incluir el conocimiento del profesor sobre los estudiantes individuales en su aula.

Una maestra que utiliza la enseñanza guiada por el pensamiento cognitivo es Annie Keith, quien enseña en un curso combinado de primer y segundo grado en una escuela primaria en Madison, Wisconsin (Hiebert et al., 1997). Su práctica docente ejemplifica lo que es posible cuando una profesora comprende el pensamiento infantil

y usa esa comprensión para guiar su enseñanza. El retrato del aula de la Srta. Keith también revela cómo su conocimiento de matemáticas y pedagogía influye en sus decisiones de enseñanza.

Los problemas matemáticos verbales forman la base de casi toda la instrucción en el aula de Annie Keith. Los estudiantes pasan gran parte del tiempo discutiendo estrategias alternativas entre ellos, en grupos y como clase completa. La profesora participa en esas discusiones, pero casi nunca demuestra la solución de los problemas. Las ideas importantes de las matemáticas se desarrollan a medida que los estudiantes exploran soluciones, en lugar de ser el foco explícito de la instrucción. Por ejemplo, los conceptos de valor posicional se trabajan cuando los estudiantes usan materiales base 10 (bloques base 10, ábacos) para resolver problemas verbales con números de varias cifras.

La enseñanza de matemáticas en su aula ocurre en diversos contextos. Actividades cotidianas de primero y segundo grado —como compartir colaciones, contar el almuerzo o tomar asistencia— se convierten regularmente en oportunidades para resolver problemas. Las clases de matemáticas también incluyen centros de actividades, donde los niños realizan distintas tareas: en un centro pueden resolver problemas propuestos por la profesora, en otro pueden escribir problemas para presentar después a la clase o jugar un juego matemático.

Keith desafía constantemente a sus estudiantes a pensar y a dar sentido a lo que están haciendo en matemáticas. Usa las actividades como oportunidades para aprender lo que sabe y comprende cada estudiante sobre matemáticas. Mientras los estudiantes trabajan en grupos, ella observa

las distintas soluciones y mentalmente toma nota de qué alumnos deberían presentar su trabajo: busca una variedad de soluciones para que todos puedan aprender unos de otros. Su conocimiento de las ideas importantes en matemáticas es un criterio para decidir, pero también lo es su comprensión de cómo piensan los estudiantes sobre esas ideas. A veces incluso elige que se presente una solución incorrecta para generar una discusión sobre un error común. También puede optar por presentar una solución más sofisticada que la que la mayoría de los estudiantes ha utilizado, con el fin de mostrarles los beneficios de ese enfoque. Tanto la presentación de las soluciones como las discusiones que se generan después le brindan información valiosa sobre lo que sus estudiantes saben y qué tipo de problemas debería plantearles a continuación.

La fuerte convicción de Annie Keith de que los niños deben construir su comprensión de las ideas matemáticas a partir de lo que ya saben guía todas sus decisiones pedagógicas. Ella formula hipótesis sobre lo que sus estudiantes comprenden y elige actividades en función de esas hipótesis. A medida que recopila más información sobre sus estudiantes, va ajustando su enseñanza y la compara con los objetivos matemáticos que desea que aprendan. Así, sus decisiones le permiten diagnosticar con claridad el nivel de comprensión de cada estudiante. Su enfoque no es un “vale todo” sin guía del docente; por el contrario, es una instrucción cuidadosamente estructurada que parte de las ideas de los estudiantes y está diseñada por una docente que conoce tanto la importancia matemática de los contenidos como los procesos clave para el aprendizaje de sus estudiantes.

Razonamiento basado en modelos

Algunos intentos de renovar la enseñanza de la matemática han puesto énfasis en la importancia de modelar fenómenos. Este trabajo con modelos puede realizarse desde kínder hasta cuarto medio (K-12). El modelado implica ciclos de construcción, evaluación y revisión de modelos. Es una práctica central en disciplinas como las matemáticas y las ciencias, pero sigue estando ampliamente ausente en la enseñanza escolar. Las prácticas de modelado son diversas y frecuentes: van desde la creación de modelos físicos, como un planetario o un sistema vascular humano a escala, hasta el desarrollo de sistemas simbólicos abstractos, como los que se usan en álgebra, geometría o cálculo. La variedad y omnipresencia de los modelos en estas disciplinas sugiere que el modelado puede ayudar a los estudiantes a comprender una amplia gama de ideas clave. Estas prácticas pueden —y deberían— fomentarse en todas las edades y niveles educativos (Clement, 1989; Hestenes, 1992; Lehrer y Romberg, 1996a, b; Schauble et al., 1995, ver Recuadro 7.3). Adoptar un enfoque basado en modelos implica inventar (o elegir) un modelo, explorar sus características y luego aplicarlo para responder a una pregunta de interés. Por ejemplo, la geometría de los triángulos tiene una lógica interna y también posee poder predictivo en fenómenos que van desde la óptica, hasta la navegación o el diseño de pisos. El modelado exige formas de pensamiento matemático que usualmente están subrepresentadas en el currículo escolar, como la visualización espacial, la estructura de datos, la medición y la incertidumbre. Por ejemplo, el estudio científico del comportamiento animal —como el forrajeo de aves— está seriamente limitado si no se dominan conceptos matemáticos como la variabilidad o la incertidumbre. Así,

la práctica del modelado permite explorar grandes ideas disciplinares que de otro modo quedarían fuera del aula.

Conclusión

Cada vez más, las propuestas para enseñar matemáticas en los primeros años escolares se basan en ciertas premisas: que todo aprendizaje implica transferir conocimientos a nuevas situaciones; que los niños llegan a la escuela con múltiples ideas sobre las matemáticas; que el conocimiento relevante para un nuevo contexto no siempre surge de manera espontánea; y que el aprendizaje mejora cuando se valora y se estimula a los niños a probar las ideas y estrategias que traen consigo a la escuela. En lugar de comenzar la enseñanza matemática con algoritmos de cálculo como la suma o la resta, se anima a los estudiantes a inventar sus propias estrategias para resolver problemas y a explicar por qué esas estrategias funcionan. Además, los docentes pueden invitar explícitamente a los estudiantes a pensar en aspectos de su vida cotidiana que podrían servir como punto de partida para nuevos aprendizajes. Por ejemplo, experiencias diarias como caminar, ubicarse o orientarse pueden servir para desarrollar ideas matemáticas relacionadas con el espacio, la posición y la dirección (Lehrer y Romberg, 1996b)

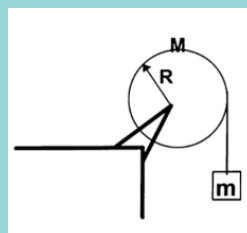
A medida que la investigación continúa ofreciendo buenos ejemplos de cómo ayudar a los niños a aprender matemáticas significativas, se profundiza la comprensión sobre el rol que juegan los conocimientos, creencias y objetivos del profesorado en sus decisiones y acciones pedagógicas. Los ejemplos presentados aquí dejan claro que tanto la selección de las tareas como la forma en que se guía el pensamiento de los estudiantes al

RECUADRO 7.3 Estrategias cualitativas escritas por estudiantes

A estudiantes inscritos en un curso introductorio de física se les pidió que escribieran una estrategia para resolver un problema de examen.

Problema de examen:

Un disco de masa $M = 2 \text{ kg}$ y radio $R = 0,4 \text{ m}$ tiene una cuerda enrollada alrededor y puede rotar libremente sobre un eje que pasa por su centro. Un bloque de masa $m = 1 \text{ kg}$ está atado al extremo de la cuerda, y el sistema se libera desde el reposo sin que haya holgura en la cuerda. ¿Cuál es la velocidad del bloque después de haber caído una distancia $d = 0,5 \text{ m}$? No olvides proporcionar tanto una estrategia como la solución.



Estrategia 1: Usar la conservación de la energía, ya que la única fuerza no conservativa en el sistema es la tensión en la cuerda unida a la masa M y enrollada alrededor del disco (asumiendo que no hay fricción entre el eje y el disco, ni entre la masa M y el aire), y el trabajo realizado por la tensión sobre el disco y la masa se cancelan mutuamente. Primero, establecer un sistema de coordenadas para poder determinar la energía potencial del sistema al inicio. No habrá energía cinética al comienzo, ya que el sistema parte desde el reposo. Por lo tanto, la energía potencial representa toda la energía inicial. Luego, igualar la energía inicial con la energía final, que se compone de la energía cinética del disco más la de la masa M , y cualquier energía potencial que quede en el sistema con respecto al sistema de coordenadas elegido.

Estrategia 2: Yo usaría la conservación de la energía mecánica para resolver este problema. La masa M posee cierta energía potencial mientras está suspendida. Cuando el bloque comienza a acelerarse hacia abajo, esa

energía potencial se transforma en energía cinética rotacional del disco y la energía cinética de la masa en caída. Al igualar los estados inicial y final y utilizar la relación entre la velocidad lineal v y la velocidad angular ω , se puede hallar la velocidad de la masa M . La energía mecánica se conserva incluso con la fuerza de tensión, que es no conservativa, porque dicha tensión es una fuerza interna al sistema (polea, masa, cuerda).

Estrategia 3: Para hallar la velocidad del bloque, trataría de encontrar la energía cinética debida al momento angular, usaría la gravedad. También utilizaría cinemática rotacional y el momento de inercia con respecto al centro de masa del disco.

Estrategia 4: Habrá un torque respecto al centro de masa debido al peso del bloque M . La fuerza que tira hacia abajo es mg . El momento de inercia respecto al eje es $\frac{1}{2} MR^2$. El momento de inercia multiplicado por la aceleración angular. Al sustituir estos valores en una expresión cinemática, se puede calcular la velocidad angular. Luego, la velocidad angular multiplicada por el radio da la velocidad lineal del bloque.

Las dos primeras estrategias demuestran una excelente comprensión de los principios, la justificación y los procedimientos que podrían utilizarse para resolver el problema (el qué, por qué y cómo del proceso de resolución). En cambio, las dos últimas estrategias consisten principalmente en una "lista de compras" de términos o ecuaciones de física vistos en el curso, sin que los estudiantes logren articular claramente por qué o cómo se aplican al problema en cuestión.

Pedir a los estudiantes que escriban estrategias (tras modelar este proceso previamente y proporcionar andamiaje adecuado para asegurar su progreso) constituye una excelente herramienta de evaluación formativa. Permite monitorear si los estudiantes están estableciendo los vínculos apropiados entre los contextos problemáticos y los principios y procedimientos que podrían aplicarse para resolverlos (véase Leonard et al., 1996).

abordarlas dependen en gran medida del conocimiento matemático, del conocimiento pedagógico-disciplinar y del conocimiento que el docente tiene sobre sus estudiantes.

Ciencias

Dos ejemplos recientes en física ilustran cómo los hallazgos de la investigación pueden utilizarse para diseñar estrategias de enseñanza que promuevan el tipo de resolución de problemas que se observa en expertos. A un grupo de estudiantes universitarios que ya habían cursado física introductoria se les pidió que dedicaran un total de 10 horas, distribuidas a lo largo de varias semanas, a resolver problemas de física utilizando una herramienta digital. Esta herramienta les obligaba a realizar un análisis conceptual de los problemas, guiándose por una jerarquía de principios y procedimientos que podían aplicar para resolverlos (Dufresne et al., 1996). Este enfoque se basa en investigaciones sobre el desarrollo de la experticia (como se analiza en el Libro 2). Como recordará el lector, cuando se les pide que expliquen cómo resolverían un problema, los físicos suelen referirse a principios generales y procedimientos. En cambio, los principiantes tienden a enfocarse en ecuaciones específicas que les permiten manipular las variables dadas en el problema (Chi et al., 1981).

Al comparar con un grupo de estudiantes que resolvieron los mismos problemas de forma individual, aquellos que utilizaron el computador para llevar a cabo los análisis jerárquicos mostraron un rendimiento notablemente superior en mediciones posteriores de experticia. Por ejemplo, en la resolución de problemas, quienes realizaron

los análisis jerárquicos superaron a quienes no lo hicieron, ya fuera al considerar el desempeño general en la resolución de problemas, la capacidad para llegar a la respuesta correcta o la habilidad para aplicar los principios adecuados en la solución de los problemas (véase la Figura 7.1). Además, surgieron diferencias similares en la categorización de problemas: los estudiantes que realizaron los análisis jerárquicos tendieron con mayor frecuencia a considerar los principios (en lugar de las características superficiales) al decidir si dos problemas se resolverían de manera similar; véase la Figura 7.2. (Consulte el Libro 6 para ver un ejemplo del tipo de ítem utilizado en la tarea de categorización de la Figura 7.2.) También vale la pena señalar que tanto la Figura 7.1 como la Figura 7.2 ilustran dos cuestiones adicionales que se han discutido en esta colección, a saber: que el tiempo dedicado a una tarea es un indicador importante del aprendizaje, y que la práctica deliberada es una forma eficiente de promover la experticia. En ambos casos, el grupo de control mostró mejoras significativas simplemente como resultado de la práctica (tiempo en la tarea), pero el grupo experimental mostró mayores mejoras con la misma cantidad de tiempo de entrenamiento (práctica deliberada).

Los cursos introductorios de física también se han enseñado con éxito utilizando un enfoque para la resolución de problemas que comienza con un análisis cualitativo jerárquico de los problemas (Leonard et al., 1996). A los estudiantes de ingeniería de pregrado se les pidió que redactaran estrategias cualitativas para resolver problemas antes de intentar resolverlos (basado en Chi et al., 1981). Las estrategias consistían en una descripción verbal coherente de cómo podría resolverse un problema y contenían tres componentes: el principio principal que debía aplicarse; la justificación de por qué ese principio

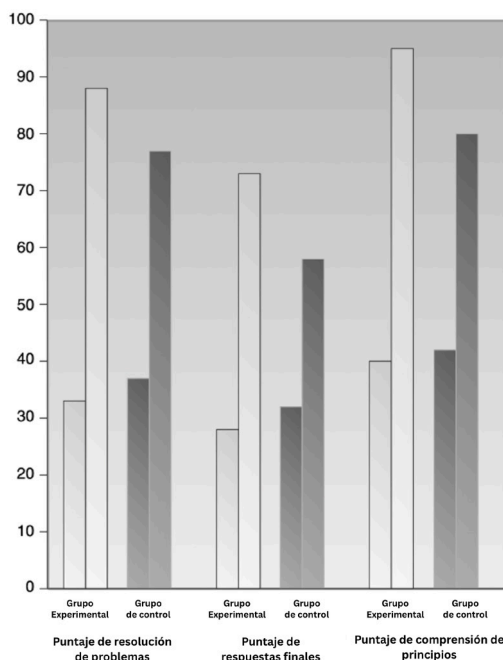


FIGURA 7.1 Efectos de dos métodos de entrenamiento en la resolución de problemas, la respuesta final y la comprensión de los principios. FUENTE: Dufresne et al. (1992).

era aplicable; y los procedimientos para aplicar el principio. Es decir, se explicitaban claramente el qué, el por qué y el cómo de la resolución del problema; véase el Recuadro 7.4. En comparación con los estudiantes que cursaron un curso tradicional, los estudiantes del curso basado en estrategias mostraron un rendimiento significativamente mejor en su capacidad para categorizar problemas según los principios relevantes que podían aplicarse para resolverlos; véase la Figura 7.3.

Las estructuras jerárquicas son estrategias útiles para ayudar a los principiantes tanto a recordar conocimientos como a resolver problemas. Por ejemplo, estudiantes

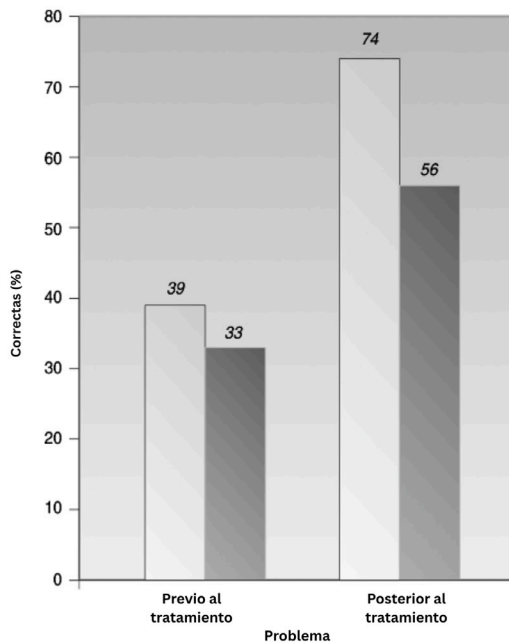


FIGURA 7.2 Efectos de dos métodos de entrenamiento en la consideración de principios para la categorización de problemas. FUENTE: Dufresne et al. (1992).

novatos de física que habían completado con buenas calificaciones un curso introductorio de física universitaria fueron entrenados para generar un análisis del problema llamado *descripción teórica del problema* (Heller y Reif, 1984). El análisis consistía en describir problemas de fuerza en términos de conceptos, principios y heurísticas. Con este enfoque, los novatos mejoraron sustancialmente en su capacidad para resolver problemas, a pesar de que el tipo de descripción teórica del problema utilizada en el estudio no era natural para ellos.

Los novatos que no recibieron entrenamiento en estas descripciones teóricas generalmente no eran capaces de

RECUADRO 7.4 ¿Cuál agua sabe mejor?

Les preocupaba que hubiera sesgos en el proceso de votación: ¿Y si algunos estudiantes votaban más de una vez? Cada estudiante de la clase se ofreció como voluntario para organizar una parte del experimento. Alrededor de 40 estudiantes participaron en la prueba de degustación a ciegas. Cuando analizaron sus datos, encontraron apoyo para sus resultados anteriores: el 88 por ciento de los estudiantes de secundaria pensaban que preferían el agua de la fuente del tercer piso, pero el 55 por ciento eligió realmente el agua del primer piso (un resultado del 33 por ciento sería atribuible al azar).

Ante esta evidencia, las sospechas de los estudiantes se transformaron en curiosidad. ¿Por qué se prefería el agua del primer piso? ¿Cómo podían determinar la causa de esa preferencia? Decidieron analizar el agua de la escuela considerando varias dimensiones, entre ellas acidez, salinidad, temperatura y presencia de bacterias. Descubrieron que todas las fuentes tenían niveles inaceptablemente altos de bacterias. De hecho, la fuente del primer piso (la más preferida) tenía el mayor recuento bacteriano. También encontraron que el agua de esa fuente era 20 grados Fahrenheit más fría que la de las otras fuentes. Con base en sus hallazgos, concluyeron que la temperatura probablemente era un factor decisivo en la preferencia por el sabor. Hipotetizaron que el agua se enfriaba naturalmente mientras permanecía en las tuberías subterráneas de la ciudad durante los meses de invierno (el estudio se realizó en febrero) y se calentaba a medida que fluía desde el sótano hasta el tercer piso.

FUENTE: Rosebery et al. (1992)

generar descripciones adecuadas por sí mismos, incluso cuando se les presentaban problemas relativamente rutinarios. Habilidades como la capacidad para describir un problema en detalle antes de intentar resolverlo, la capacidad para determinar qué información relevante debe incluirse en el análisis de un problema, y la capacidad para decidir qué procedimientos pueden usarse para generar descripciones y análisis de problemas, son habilidades que los expertos utilizan tácitamente, pero que rara vez se enseñan explícitamente en los cursos de física.

Otro enfoque ayuda a los estudiantes a organizar el conocimiento imponiendo una organización jerárquica a la realización de diferentes tareas en física (Eylon y Reif, 1984). Los estudiantes que recibieron un argumento específico de física organizado de forma jerárquica realizaron mejor diversas tareas de memoria y resolución de problemas que aquellos que recibieron el mismo argumento sin organización jerárquica. De manera similar, los estudiantes que recibieron una organización jerárquica de estrategias para resolver problemas obtuvieron un rendimiento mucho mejor que los que recibieron las mismas estrategias organizadas sin jerarquía. Por lo tanto, ayudar a los estudiantes a organizar su conocimiento es tan importante como el conocimiento en sí mismo, ya que la organización del conocimiento probablemente afecte su rendimiento intelectual.

Estos ejemplos demuestran la importancia de la práctica deliberada y de tener un “entrenador” que brinde retroalimentación para optimizar el rendimiento (ver Libro 3). Si simplemente se les hubiera dado a los estudiantes problemas para resolver por su cuenta (una práctica común en la enseñanza de las ciencias), es muy poco probable que hubieran usado su tiempo eficientemente.

Los estudiantes podrían quedarse atascados durante minutos o incluso horas tratando de resolver un problema, y terminar rindiéndose o desperdiciando mucho tiempo. En el Libro 3, se discutió cómo los estudiantes se benefician de los errores, y que equivocarse no siempre significa perder el tiempo. Sin embargo, no es eficiente si un estudiante pasa la mayor parte del tiempo practicando procedimientos que no son óptimos para desarrollar habilidades, como encontrar y manipular ecuaciones para resolver el problema, en lugar de identificar el principio subyacente y los procedimientos aplicables, y luego construir las ecuaciones necesarias. En la práctica deliberada, el estudiante trabaja bajo la supervisión de un tutor (humano o digital) para practicar formas adecuadas que mejoran el rendimiento.

Gracias a la práctica deliberada, se han diseñado entornos de tutoría asistida por computadora que han reducido el tiempo necesario para alcanzar un nivel de rendimiento del mundo real de cuatro años a solo 25 horas (ver Libro 9).

Cambio conceptual

Antes de que los estudiantes puedan aprender realmente nuevos conceptos científicos, a menudo necesitan reconfigurar ideas erróneas profundamente arraigadas que interfieren con el aprendizaje. Como se revisó anteriormente (ver Libros 3 y 4), las personas dedican mucho tiempo y esfuerzo a construir una visión del mundo físico a partir de sus experiencias y observaciones, y pueden aferrarse tenazmente a esas visiones —aunque contradigan los conceptos científicos— porque les ayudan a explicar fenómenos y hacer predicciones sobre el mundo (por ejemplo, por qué una roca cae más rápido que una hoja).

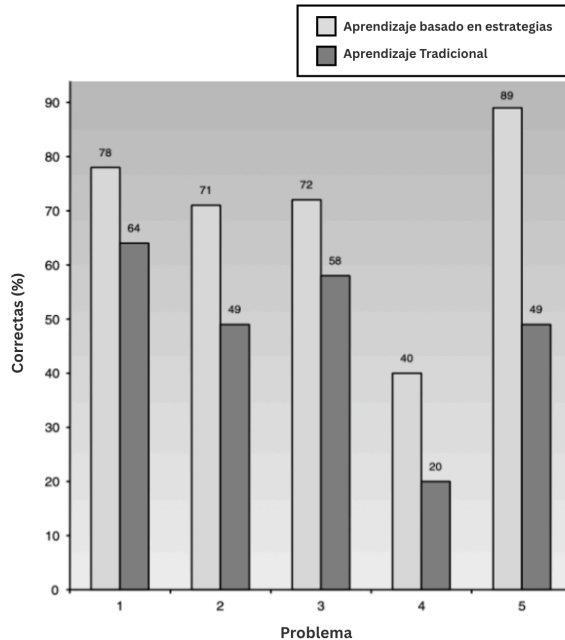


FIGURA 7.2 Efectos de dos métodos de entrenamiento en la consideración de principios para la categorización de problemas. FUENTE: Dufresne et al. (1992).

Una estrategia instruccional, denominada *bridging* (conexión), ha sido exitosa para ayudar a los estudiantes a superar ideas erróneas persistentes (Brown, 1992; Brown y Clement, 1989; Clement, 1993). Esta estrategia intenta conectar las creencias correctas de los estudiantes (llamadas concepciones ancla) con sus conceptos erróneos, a través de una serie de situaciones intermedias y análogas. Partiendo de la intuición ancla de que un resorte ejerce una fuerza hacia arriba sobre un libro que descansa sobre él, se le podría preguntar al estudiante si un libro que reposa sobre el centro de una tabla larga y elástica, apoyada en ambos extremos, experimenta una fuerza hacia arriba de parte de la tabla. El hecho de que

la tabla doblada parezca cumplir la misma función que el resorte ayuda a muchos estudiantes a aceptar que tanto el resorte como la tabla ejercen fuerzas hacia arriba sobre el libro. Para un estudiante que no esté de acuerdo en que la tabla ejerce una fuerza hacia arriba, el instructor puede pedirle que coloque su mano sobre un resorte vertical y presione hacia abajo, y luego haga lo mismo con la tabla. Luego se le preguntará si sintió una fuerza hacia arriba que resistió su empuje en ambos casos. A través de este tipo de exploración dinámica de las creencias de los estudiantes, y ayudándolos a encontrar formas de resolver visiones en conflicto, se les puede guiar hacia la construcción de una visión coherente aplicable en una amplia gama de contextos.

Otra estrategia eficaz para superar ideas erróneas persistentes son las demostraciones interactivas en clase (Sokoloff y Thornton, 1997; Thornton y Sokoloff, 1997). Esta estrategia, que ha sido muy eficaz en clases introductorias grandes de física universitaria, comienza con una introducción a una demostración que el instructor está a punto de realizar, como una colisión entre dos carritos sobre un riel de aire: uno liviano y estacionario, el otro pesado y en movimiento. Cada carrito tiene una “sonda de fuerza” electrónica conectada que muestra en tiempo real la fuerza ejercida durante la colisión, proyectada en una pantalla grande. El profesor pide primero a los estudiantes que discutan la situación con sus compañeros y luego registren una predicción: ¿uno de los carritos ejercería una fuerza mayor que el otro durante el impacto o ambas fuerzas serían iguales?

La gran mayoría de los estudiantes predice erróneamente que el carrito más pesado y en movimiento ejerce una fuerza mayor sobre el carrito liviano y estacionario. Esta

predicción parece razonable en base a la experiencia —los estudiantes saben que un camión Mack chocando con un Volkswagen estacionado causará mucho más daño al Volkswagen, y esto se interpreta como que el camión ejerció una fuerza mayor—. Sin embargo, a pesar del daño, la Tercera Ley de Newton establece que dos cuerpos en interacción ejercen fuerzas iguales y opuestas entre sí.

Después de registrar sus predicciones, el instructor realiza la demostración y los estudiantes observan en la pantalla que las sondas registran fuerzas de igual magnitud pero en direcciones opuestas durante la colisión. Se analizan otras situaciones de forma similar: ¿qué pasa si ambos carritos se mueven a la misma velocidad uno hacia el otro? ¿Y si el carrito pesado está quieto y el liviano se mueve hacia él? Los estudiantes hacen predicciones y luego observan las fuerzas reales entre los carritos. En todos los casos, se muestra que las fuerzas son iguales y opuestas, y con la ayuda de una discusión guiada por el profesor, los estudiantes empiezan a construir una comprensión coherente de la Tercera Ley de Newton que incorpora tanto sus observaciones como sus experiencias.

En coherencia con la investigación sobre retroalimentación (ver Libro 3), otros estudios indican que ver la fuerza en tiempo real durante la colisión ayuda a los estudiantes a superar sus ideas erróneas; retrasos de tan solo 20 o 30 minutos en mostrar los datos gráficos de un evento disminuyen significativamente el aprendizaje del concepto subyacente (Brasell, 1987).

Tanto la estrategia de bridging como las demostraciones interactivas han demostrado ser eficaces para ayudar a los estudiantes a superar permanentemente sus concepciones erróneas. Este hallazgo representa un gran avance en la

enseñanza de la ciencia, ya que muchas investigaciones indican que los estudiantes pueden repetir respuestas correctas en un examen —lo que podría interpretarse erróneamente como la eliminación de una concepción errónea— pero esa misma idea equivocada puede resurgir semanas o meses después (ver Mestre, 1994, para una revisión).

La enseñanza como entrenamiento

Uno de los mejores ejemplos de cómo traducir la investigación en práctica es el trabajo de Minstrell (1982, 1989, 1992) con estudiantes de física de secundaria. Minstrell utiliza muchas técnicas instruccionales basadas en investigación (por ejemplo, bridging, hacer visible el pensamiento de los estudiantes, facilitar la reestructuración del conocimiento propio) para enseñar física con comprensión. Lo hace mediante discusiones en clase en las que los estudiantes construyen comprensión al dar sentido a los conceptos de la física, con Minstrell cumpliendo un rol de entrenador. La siguiente cita ejemplifica sus estrategias instruccionales innovadoras y eficaces (Minstrell, 1989:130-131):

Las ideas iniciales de los estudiantes sobre la mecánica son como hilos de lana, algunos desconectados y otros entrelazados de manera suelta. El acto de instrucción puede considerarse como un proceso en el que se ayuda a los estudiantes a desenredar los hilos individuales de creencias, etiquetarlos y luego tejerlos en una tela de comprensión más completa. Un punto importante es que la comprensión posterior puede construirse, en gran medida, a partir de creencias anteriores. A veces se introducen nuevos hilos de creencias,

pero rara vez se extrae una creencia anterior para reemplazarla. En lugar de negar la relevancia de una creencia, los docentes podrían hacer un mejor trabajo ayudando a los estudiantes a diferenciar sus ideas actuales y a integrarlas en creencias conceptuales más parecidas a las de los científicos.

Describiendo una lección sobre la fuerza, Minstrell (1989: 130-131) comienza presentando el tema en términos generales:

Hoy vamos a tratar de explicar algunos eventos bastante ordinarios que podrías ver cualquier día. Descubrirás que ya tienes muchas buenas ideas que ayudarán a explicar esos eventos. Encontraremos que algunas de nuestras ideas son similares a las de los científicos, pero en otros casos nuestras ideas podrían ser diferentes. Cuando terminemos esta unidad, espero que tengamos una idea mucho más clara de cómo los científicos explican esos eventos, y sé que te sentirás más cómodo con tus explicaciones... Una idea clave que vamos a utilizar es la idea de fuerza. ¿Qué significa para ti la idea de fuerza?

De la discusión posterior en clase surgen muchas opiniones, desde el típico “empujar o jalar” hasta descripciones que incluyen términos sofisticados, como energía y momentum. En algún momento, Minstrell guía la discusión hacia un ejemplo específico: deja caer una piedra y pide a los estudiantes que expliquen el evento usando sus ideas sobre la fuerza. Pide a los estudiantes que formulen sus ideas individualmente y dibujen un diagrama que muestre las principales fuerzas sobre la piedra como flechas, con etiquetas que indiquen la causa de cada fuerza. Sigue una

extensa discusión en la que los estudiantes presentan sus puntos de vista, muchos de los cuales incluyen fuerzas irrelevantes (por ejemplo, fuerzas nucleares) o ficticias (por ejemplo, el giro de la tierra, el aire). En su orientación, Minstrell les pide a los estudiantes que justifiquen sus elecciones haciendo preguntas como “¿Cómo lo sabes?” “¿Cómo lo decidiste?” “¿Por qué crees eso?”

Con este enfoque, Minstrell ha podido identificar muchas creencias erróneas de los estudiantes que dificultan la comprensión conceptual. Un ejemplo es la creencia de que solo los agentes activos (por ejemplo, las personas) pueden ejercer fuerzas, mientras que los agentes pasivos (por ejemplo, una mesa) no pueden. Minstrell (1992) ha desarrollado un marco que ayuda tanto a comprender el razonamiento de los estudiantes como a diseñar estrategias de instrucción. (Para un marco teórico relacionado para clasificar y explicar el razonamiento de los estudiantes, véase la discusión de las “primitivas fenomenológicas” en DiSessa, 1988, 1993.) Minstrell describe las piezas identificables del conocimiento de los estudiantes como “facetas”, siendo una faceta una unidad conveniente de pensamiento, un pedazo de conocimiento o una estrategia que parece utilizar el estudiante para abordar una situación particular. Las facetas pueden estar relacionadas con el conocimiento conceptual (por ejemplo, los objetos pasivos no ejercen fuerza), el conocimiento estratégico (por ejemplo, la velocidad promedio se puede determinar sumando las velocidades inicial y final y dividiendo por dos) o el razonamiento genérico (por ejemplo, cuanto más X, más Y). Identificar las facetas de los estudiantes, qué las activa en diferentes contextos y cómo los estudiantes las usan en su razonamiento es útil para idear estrategias de instrucción.

Instrucción interactiva en clases grandes

Uno de los obstáculos para la innovación en la enseñanza en cursos grandes de ciencias introductorias a nivel universitario es el gran número de estudiantes que se enseña al mismo tiempo. ¿Cómo puede un instructor proporcionar una experiencia de aprendizaje activo, ofrecer retroalimentación, acomodar diferentes estilos de aprendizaje, hacer visible el pensamiento de los estudiantes y proporcionar andamiaje e instrucción personalizada para satisfacer las necesidades específicas de los estudiantes cuando se enfrenta a más de 100 estudiantes al mismo tiempo? Los sistemas de comunicación en el aula pueden ayudar al instructor de una clase grande a lograr estos objetivos. Uno de esos sistemas, llamado Classtalk, consiste tanto en hardware como en software que permite que hasta cuatro estudiantes compartan un dispositivo de entrada (por ejemplo, una calculadora gráfica bastante económica) para “registrarse” en una red de comunicación en el aula que permite al instructor enviar preguntas para que los estudiantes trabajen y permite que los estudiantes ingresen respuestas a través de su dispositivo de entrada. Las respuestas pueden mostrarse de manera anónima en forma de histograma para la clase, y se guarda un registro permanente de las respuestas de cada estudiante para ayudar a evaluar el progreso, así como la efectividad de la instrucción.

Esta tecnología se ha utilizado con éxito en la Universidad de Massachusetts-Amherst para enseñar física a una variedad de estudiantes, desde no científicos hasta estudiantes de ingeniería y ciencias (Dufresne et al., 1996; Wenk et al., 1997; Mestre et al., 1997). La tecnología crea un entorno de aprendizaje interactivo en las conferencias: los estudiantes trabajan colaborativamente en preguntas

conceptuales, y el histograma de las respuestas de los estudiantes se utiliza como un punto de partida visual para las discusiones en clase cuando los estudiantes defienden el razonamiento que utilizaron para llegar a sus respuestas. Esta tecnología hace visible el pensamiento de los estudiantes y promueve la escucha crítica, la evaluación y la argumentación en la clase. El maestro es un entrenador, proporcionando andamiaje cuando es necesario, adaptando “mini-lecciones” para aclarar puntos de confusión o, si todo va bien, simplemente moderando la discusión y permitiendo que los estudiantes descubran las cosas y lleguen a un consenso por sí mismos. La tecnología también es un mecanismo natural para apoyar la evaluación formativa durante la instrucción, proporcionando tanto al maestro como a los estudiantes retroalimentación sobre qué tan bien la clase está comprendiendo los conceptos que se están estudiando. El enfoque acomoda una mayor variedad de estilos de aprendizaje de lo que es posible solo con conferencias y ayuda a fomentar una comunidad de aprendices centrada en objetivos y metas comunes.

Ciencia para todos los niños

Los ejemplos anteriores presentan algunas estrategias efectivas para la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia para estudiantes de secundaria y universitarios. A partir de estos ejemplos, extraímos algunos principios generales del aprendizaje y enfatizamos que los hallazgos apuntan consistentemente al fuerte efecto de las estructuras de conocimiento en el aprendizaje. Estos estudios también enfatizan la importancia de las discusiones en clase para desarrollar un lenguaje con el que hablar sobre ideas científicas, para hacer visible el pensamiento de los estudiantes tanto para el maestro como para el resto de la clase y para aprender a desarrollar una línea de

argumentación que utilice lo aprendido para resolver problemas y explicar fenómenos y observaciones.

La pregunta que surge inmediatamente es cómo enseñar ciencia a niños más pequeños o a estudiantes que se consideran “en riesgo educativo”. Un enfoque que ha sido especialmente útil en la enseñanza de ciencias fue desarrollado con niños de habla minoritaria: Chèche Konnen, que en criollo haitiano significa buscar conocimiento (Rosebery et al., 1992). El enfoque enfatiza cómo el discurso es un medio primordial para la búsqueda de conocimiento y la creación de sentido científico. También ilustra cómo se construyen las ideas científicas. De esta manera, refleja la ciencia, en palabras del laureado Nobel Sir Peter Medawar (1982:111):

Como otros procesos exploratorios, [el método científico] puede resolverse en un diálogo entre el hecho y la fantasía, lo real y lo posible; entre lo que podría ser cierto y lo que, de hecho, es el caso. El propósito de la indagación científica no es compilar un inventario de información factual, ni construir una visión totalitaria de las Leyes Naturales en la que cada evento que no sea obligatorio esté prohibido. Deberíamos pensarlo más bien como una estructura lógicamente articulada de creencias justificables sobre un Mundo Posible: una historia que inventamos, criticamos y modificamos a medida que avanzamos, para que termine siendo, tan cerca como podamos lograrlo, una historia sobre la vida real.

El enfoque Chèche Konnen para la enseñanza comenzó creando “comunidades de práctica científica” en aulas de estudiantes de habla minoritaria en algunas escuelas públicas de Boston y Cambridge, MA. El “currículo” emerge

en estas aulas a partir de las preguntas y creencias de los estudiantes y se forma en interacciones continuas que incluyen tanto al maestro como a los estudiantes. Los estudiantes exploran sus propias preguntas, tal como describimos anteriormente en la clase de Barb Johnson. Además, los estudiantes diseñan estudios, recogen información, analizan datos y construyen evidencia, y luego debaten las conclusiones que derivan de sus evidencias. En efecto, los estudiantes construyen y debaten teorías; vea el Recuadro 7.5.

Los estudiantes construyeron entendimientos científicos a través de un proceso iterativo de construcción de teorías, crítica y refinamiento basado en sus propias preguntas, hipótesis y actividades de análisis de datos. Formular preguntas, teorizar y argumentar formaron la estructura de la actividad científica de los estudiantes. Dentro de esta estructura, los estudiantes exploraron las implicaciones de las teorías que sostenían, examinaron los supuestos subyacentes, formularon y probaron hipótesis, desarrollaron evidencia, negociaron conflictos de creencias y evidencia, argumentaron interpretaciones alternativas, proporcionaron justificaciones para las conclusiones, y así sucesivamente. El proceso en su totalidad proporcionó una experiencia más rica y científicamente fundamentada que el enfoque convencional centrado en los libros de texto o las demostraciones de laboratorio.

El énfasis en establecer comunidades de práctica científica se basa en el hecho de que el conocimiento y las comprensiones sólidas se construyen socialmente a través del habla, la actividad y la interacción en torno a problemas y herramientas significativas (Vygotsky, 1978). El maestro guía y apoya a los estudiantes mientras exploran problemas y definen preguntas que les interesan. Una comunidad de

práctica también proporciona apoyo cognitivo y social directo para los esfuerzos de los miembros individuales del grupo. Los estudiantes comparten la responsabilidad del pensamiento y la acción: distribuyen su actividad intelectual de manera que la carga de gestionar todo el proceso no recae en ningún individuo en particular. Además, una comunidad de práctica puede ser un contexto poderoso para construir significados científicos. Al desafiar los pensamientos y creencias de los demás, los estudiantes deben ser explícitos sobre sus significados; deben negociar los conflictos en creencias o evidencia; y deben compartir y sintetizar su conocimiento para lograr la comprensión (Brown y Palincsar, 1989; Inagaki y Hatano, 1987).

¿Qué aprenden los estudiantes al participar en una comunidad de creación de sentido científico? Las entrevistas individuales con los estudiantes antes y después de la investigación de la prueba de sabor del agua (ver Recuadro 7.4), primero en septiembre y luego en junio, mostraron cómo el conocimiento y el razonamiento de los estudiantes cambiaron. En las entrevistas (realizadas en criollo haitiano), se les pidió a los estudiantes que pensarán en voz alta sobre dos problemas abiertos del mundo real: la contaminación en el puerto de Boston y una enfermedad repentina en una escuela primaria. Los investigadores estaban interesados en los cambios en el conocimiento conceptual de los estudiantes sobre los ecosistemas acuáticos y en el uso que hacían los estudiantes de hipótesis, experimentos y explicaciones para organizar su razonamiento (para una discusión completa, véase Rosebery et al., 1992).

Conocimiento conceptual

Como era de esperarse, en junio los estudiantes sabían más sobre la contaminación del agua y los ecosistemas

acuáticos que en septiembre. Además, fueron capaces de utilizar este conocimiento de manera generativa. Una estudiante explicó cómo limpiaría el agua del puerto de Boston (Rosebery et al., 1992:86):

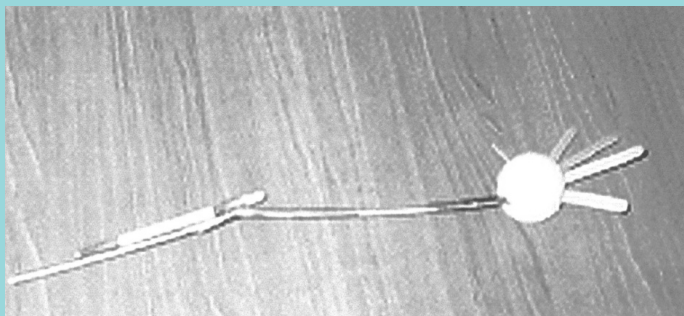
Como que uno busca las cosas, saca la basura del agua, pone una malla para bloquear el papel y esas cosas, luego limpias el agua; le pones productos químicos para limpiarla, y sacas toda la vida microscópica. Cloro y alumbre, los pones en el agua. Eso atraparía las cositas, y esas cositas se pegarían a los productos químicos, y así se limpiaría el agua.

Cabe señalar que esta explicación contiene conceptos erróneos. Al confundir el proceso de purificación del agua potable con la limpieza del agua del mar, la estudiante sugiere añadir productos químicos para eliminar toda la vida microscópica del agua (lo cual es adecuado para el agua potable, pero perjudicial para el ecosistema del puerto de Boston). Este ejemplo ilustra las dificultades que enfrentan los estudiantes al transferir conocimientos de un contexto a otro de manera adecuada (véase el Libro 3).

A pesar de estas limitaciones, está claro que esta estudiante ha comenzado a transitar el camino del pensamiento científico, dejando atrás explicaciones más superficiales como “yo sacaría todas las cosas malas del agua”. También es evidente que al hacer visible el pensamiento de la estudiante, el docente se encuentra en una excelente posición para ayudarla —y quizás también a la clase— a refinar su comprensión.

RECUADRO 7.5 Modelos físicos

Los modelos físicos, como los modelos del sistema solar o del codo, son microcosmos de sistemas que se apoyan en gran medida en las intuiciones de los niños sobre la semejanza para mantener la relación entre el mundo que se está modelando y el modelo en sí. La fotografía a continuación muestra el modelo de un niño sobre el codo. Obsérvese, por ejemplo, las bandas elásticas que imitan la función de conexión de los ligamentos y las varillas de madera dispuestas de manera que su movimiento en el plano vertical no pueda superar los 180 grados. Aunque la búsqueda de la función se ve favorecida inicialmente por la semejanza, lo que se considera semejante suele cambiar a medida que los niños revisan sus modelos. Por ejemplo, los intentos por lograr que los modelos reproduzcan el movimiento del codo con frecuencia conducen a un interés por la forma en que podrían disponerse los músculos (de Lehrer y Schauble, 1996a, b)



El Modelo del Codo según un niño.

Pensamiento científico

Se observaron cambios notables en el razonamiento científico de los estudiantes. En septiembre, había tres formas en que los estudiantes mostraban escasa familiaridad con los modos de razonamiento propios de la ciencia. En primer lugar, no comprendían la función de las hipótesis ni de los experimentos en la indagación científica. Cuando se les pedía que propusieran ideas sobre qué podría estar enfermado a los niños, los estudiantes solían responder —con pocas excepciones— con “hipótesis” breves, sin elaboración y, a menudo, imposibles de comprobar, que simplemente reiteraban el fenómeno descrito en el problema: “Eso es una cosa... Ah, podría decir una persona, alguna persona que les dio algo... Cualquier cosa, como darles veneno para que les doliera el estómago” (Rosebery et al., 1992:81).

En segundo lugar, los estudiantes conceptualizaban la evidencia como información que ya conocían, ya fuera por experiencia personal o por fuentes de segunda mano, en lugar de datos obtenidos mediante experimentación u observación. Cuando se les pedía que propusieran un experimento para justificar una hipótesis —“¿Cómo lo averiguarías?”—, solían ofrecer afirmaciones: “Porque la basura es un veneno para ellos... La basura hizo que los peces murieran” (Rosebery et al., 1992:78).

En tercer lugar, los estudiantes interpretaban una solicitud de experimento —“¿Cómo estarías seguro?”— como una pregunta de comprensión lectora que tenía una única “respuesta correcta”. Frecuentemente respondían con explicaciones o afirmaciones de conocimiento, marcando sistemáticamente sus respuestas como explicativas (utilizando “porque”): “Porque los peces no comen basura.

Comen plantas que están bajo el agua” (página 78).

En las entrevistas realizadas en junio, los estudiantes demostraron que habían desarrollado una familiaridad con la función de las hipótesis y los experimentos, así como con el razonamiento dentro de marcos explicativos más amplios. Elinor había desarrollado un modelo de un sistema de agua integrado, en el cual una acción o evento en una parte del sistema tenía consecuencias en otras partes (Rosebery et al., 1992:87):

No puedes dejar [las cosas malas] en el suelo. Si las dejas en el suelo, el agua que... la tierra tiene agua subterránea, igual se va a echar a perder el agua subterránea. O cuando llueve, simplemente se la va a llevar y, cuando llueve, el agua corre, se la va a llevar y la va a dejar en el río, en donde entra el agua. Esas cosas, cosas venenosas, no se deben dejar en el suelo.

En junio, los estudiantes ya no recurrían a agentes anónimos, sino que presentaban cadenas de hipótesis para explicar fenómenos, como por qué se enfermaban los niños (página 88):

Por ejemplo, podrías analizar lo que comieron los niños y, como, analizar también el agua; podría ser que el agua no está buena, que tiene microbios, que podría tener animales microscópicos que los enferman.

Las entrevistas de junio también mostraron que los estudiantes habían comenzado a desarrollar una noción del propósito y la forma de la experimentación. Ya no dependían de la experiencia personal como evidencia, sino

que proponían experimentos para comprobar hipótesis específicas. En respuesta a una pregunta sobre peces enfermos, Laure demuestra claramente que comprende cómo encontrar una respuesta científica (página 91):

Yo pondría un pez en agua dulce y otro pez en agua llena de basura. Le daría comida al pez del agua dulce y al otro en el agua sucia, también le daría comida para ver si el pez del agua dulce moriría con la comida que le di, si el que está en el agua sucia moriría con la comida que le di... Les daría la misma comida para ver si lo que comen en el agua y lo que les doy ahora, cuál los haría estar sanos y cuál no los haría estar sanos.

Conclusión

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias han sido influenciados de manera muy directa por estudios de investigación sobre la experticia (ver Libro 2). Los ejemplos analizados en este libro se centran en dos áreas de la enseñanza de las ciencias: la física y la biología en la educación secundaria. Varias de las estrategias de enseñanza ilustran maneras de ayudar a los estudiantes a pensar en los principios generales o las “grandes ideas” de la física antes de pasar directamente a fórmulas y ecuaciones. Otras muestran formas de fomentar la práctica deliberada (ver Libro 3) y de monitorear el progreso del aprendizaje.

Aprender estrategias de pensamiento científico tiene otro objetivo: desarrollar la agudeza mental necesaria para promover el cambio conceptual. A menudo, el obstáculo para alcanzar nuevas soluciones se basa en un concepto erróneo fundamental sobre el tema. Una estrategia para ayudar a los estudiantes en física parte de una “intuición ancla” sobre un fenómeno y luego la vincula gradualmente

con fenómenos relacionados que son menos intuitivos para el estudiante pero que implican los mismos principios físicos. Otra estrategia consiste en el uso de demostraciones interactivas durante las clases, que alientan a los estudiantes a hacer predicciones, considerar la retroalimentación y luego reconceptualizar los fenómenos.

El ejemplo de Chèche Konnen demuestra el poder de un enfoque de aprendizaje científico centrado en la construcción de sentido, que se basa en los conocimientos que los estudiantes traen consigo desde sus culturas de origen, incluyendo sus prácticas discursivas habituales. Los estudiantes aprendieron a pensar, hablar y actuar científicamente, y sus lenguas materna y secundaria mediaran su aprendizaje de maneras muy potentes. Usando el criollo haitiano, diseñaron sus estudios, interpretaron datos y defendieron teorías; usando el inglés, recolectaron datos con sus compañeros de habla inglesa, leyeron normativas para interpretar sus resultados científicos, presentaron sus hallazgos y consultaron con expertos en la planta local de tratamiento de agua.

Conclusión

La enseñanza de excelencia requiere que los docentes tengan una comprensión profunda del contenido disciplinar y de su estructura, así como un conocimiento igualmente sólido de los tipos de actividades pedagógicas que ayudan a los estudiantes a comprender dicho contenido, para así poder formular preguntas incisivas.

Numerosos estudios demuestran que el currículo y sus herramientas —incluidos los libros de texto— deben ser

analizados y discutidos dentro de contextos y marcos conceptuales más amplios, propios de cada disciplina. Para poder ofrecer esa orientación, los docentes necesitan un conocimiento profundo del campo disciplinar y de la epistemología que guía cada área del saber (para historia, véase Wineburg y Wilson, 1988; para matemáticas e inglés, véase Ball, 1993; Grossman et al., 1989; para ciencias, véase Rosebery et al., 1992).

Los ejemplos presentados en este libro ilustran los principios de diseño de ambientes de aprendizaje discutidos en el Libro 6: están centrados en el aprendiz, en el conocimiento, en la evaluación y en la comunidad. Están centrados en el estudiante en el sentido de que los docentes construyen sobre el conocimiento previo que los estudiantes traen al aula. Están centrados en el conocimiento en tanto que los docentes procuran ayudar a los estudiantes a desarrollar una comprensión organizada de conceptos clave dentro de cada disciplina. Están centrados en la evaluación en la medida en que los docentes intentan hacer visible el pensamiento de los estudiantes, de modo que las ideas puedan discutirse y aclararse, por ejemplo, haciendo que los estudiantes (1) presenten argumentos en debates, (2) discutan sus soluciones a problemas a un nivel cualitativo, y (3) hagan predicciones sobre distintos fenómenos. Están centrados en la comunidad porque los docentes establecen normas de aula que valoran el aprendizaje con comprensión, y promueven un ambiente en el que los estudiantes se sientan libres de explorar aquello que no comprenden.

Estos ejemplos ilustran la importancia del conocimiento pedagógico del contenido como herramienta para guiar la enseñanza. Los docentes expertos poseen una comprensión firme de sus respectivas disciplinas,

conocimiento de las barreras conceptuales que enfrentan los estudiantes y estrategias efectivas para ayudarlos a superarlas. El conocimiento disciplinar de los docentes les proporciona un mapa cognitivo que guía la asignación de tareas, la evaluación del progreso de los estudiantes y el acompañamiento de las preguntas que estos formulan. Los docentes se centran en la comprensión, más que en la memorización o en la ejecución de procedimientos rutinarios, y comprometen a sus estudiantes en actividades que les permiten reflexionar sobre su propio aprendizaje y entendimiento.

La interacción entre conocimiento del contenido y conocimiento pedagógico que se presenta en este libro contradice una idea errónea común sobre la enseñanza: que enseñar bien consiste simplemente en aplicar un conjunto de estrategias generales válidas para cualquier área. Esta noción es incorrecta, así como lo es la idea de que la experiencia en una disciplina se basa solamente en habilidades generales de resolución de problemas, carentes de una base sólida de conocimiento disciplinar (véase Libro 2).

Los resultados de nuevas propuestas de enseñanza, tal como se reflejan en evaluaciones sumativas, son alentadores. Los estudios sobre las discusiones en clase muestran que los estudiantes aprenden a usar herramientas de indagación sistemática para pensar históricamente, matemáticamente y científicamente. Cómo se traducen estas estrategias en los resultados de pruebas estandarizadas tradicionales es otro asunto. En algunos casos, existe evidencia de que enseñar para la comprensión puede aumentar los puntajes en estas pruebas (por ejemplo, Resnick et al., 1991); en otros, los puntajes no cambian, pero los estudiantes muestran ventajas notables en evaluaciones que miden su

comprensión y entendimiento, más que su capacidad de memorizar (por ejemplo, Carpenter et al., 1996; Secules et al., 1997).

Cabe destacar que ninguno de los docentes mencionados en este libro sentía que había terminado de aprender. Muchos describieron su trabajo como un esfuerzo constante, de por vida, por comprender y mejorar. ¿Qué oportunidades tienen los docentes para perfeccionar su práctica? El próximo libro explora las posibilidades de formación y desarrollo profesional continuo que permiten a los docentes crecer y fortalecerse como profesionales eficaces.

Referencias

Anderson, C.W., y E.L. Smith

1987 Teaching science. Pp. 84–111 in *Educators' Handbook: A Research Perspective*, V. Richardson-Koehler, ed. White Plains, NY: Longman.

Ball, D.L.

1993 With an eye on the mathematical horizon: Dilemmas of teaching elementary school mathematics. *Elementary School Journal* 93:373–397.

Barth, R.S.

1991 *Improving Schools from Within: Teachers, Parents, and Principals Can Make the Difference*. San Francisco: Jossey-Bass.

Brasell, H.

1987 The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching* 24:385–395.

Brophy, J.E.

1990 Teaching social studies for understanding and higher-order applications. *Elementary School Journal* 90:351–417.

Brown, A.L., y A.S. Palinscar

1989 Guided, cooperative learning and individual knowledge acquisition. Pp. 393–451 en *Knowing, Learning, and Instruction: Essays in Honor of Robert Glaser*, L. Resnick, ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Brown, C.A.

1985 A Study of the Socialization to Teaching of a Beginning Secondary Mathematics Teacher. Tesis doctoral inédita.

University of Georgia.

Brown, D.

1992 Using examples to remediate misconceptions in physics: Factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching* 29:17–34.

Brown, D., y J. Clement

1989 Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Factors influencing understanding in a teaching experiment. *Instructional Science* 18:237–261.

Carpenter, T., y E. Fennema

1992 Cognitively guided instruction: Building on the knowledge of students and teachers. Pp. 457–470 en *International Journal of Educational Research. Special issue: The Case of Mathematics in the United States*, W. Secada, ed.

Carpenter, T., E. Fennema, y M. Franke

1996 Cognitively guided instruction: A knowledge base for reform in primary mathematics instruction. *Elementary School Journal* 97(1):3–20.

Chi, M.T.H., P.J. Feltovich, y R. Glaser

1981 Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science* 5:121–152.

Clement, J.

1989 Learning via model construction and criticism. Pp. 341–381 in *Handbook of Creativity: Assessment, Theory, and Research*, G. Glover, R. Ronning y C. Reynolds, eds. New York: Plenum.

1993 Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching* 30(10):1241–1257.

diSessa, A.

1988 Knowledge in pieces. Pp. 49–70 en *Constructivism in the Computer Age*, G. Forman y P. Pufall, eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

1993 Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction* 10(2):105–125.

Dufresne, R.J., W.J. Gerace, P. Hardiman, y J.P. Mestre

1992 Constraining novices to perform expertlike problem analyses: Effects of schema acquisition. *The Journal of Learning Sciences* 2(3):307–331.

Dufresne, R.J., W.J. Gerace, W.J. Leonard, J.P. Mestre, y L. Wenk

1996 Classtalk: A classroom communication system for active learning. *Journal of Computing in Higher Education* 7:3–47.

Eylon, B.S., y F. Reif

1984 Effects of knowledge organization on task performance. *Cognition and Instruction* 1:5–44.

Fennema, E., T. Carpenter, M. Franke, L. Levi, V. Jacobs, y S. Empson

1996 A longitudinal study of learning to use children's thinking in mathematics instruction. *Journal for Research in Mathematics Education* 27(4):403–434.

Gamoran, M.

1994 Content knowledge and teaching innovation curricula. Ponencia presentada en la reunión anual de la Asociación Americana de Investigación Educativa, Nueva Orleans, Luisiana.

Grossman, P.L., S.M. Wilson, y L.S. Shulman

1989 Teachers of substance: Subject matter for teaching. Pp. 23–36 in *Knowledge Base for the Beginning Teacher*, M.C. Reynolds, ed. New York: Pergamon Press.

Heller, J.I., and F. Reif

1984 Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in physics. *Cognition and Instruction* 1:177–216.

Hestenes, D.

1992 Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics* 60:440–454.

Hiebert, J., T. Carpenter, E. Fennema, K. Fuson, H. Murray, A. Oliver, P. Human, y D. Wearne

1997 *Designing Classrooms for Learning Mathematics with Understanding*. Portsmouth, NH: Heinemann Educational Books.

Inagaki, K., y G. Hatano

1987 Young children's spontaneous personification as analogy. *Child Development* 58:1013–1020.

Lampert, M.

1986 Knowing, doing, and teaching multiplication. *Cognition and Instruction* 3:305–342.

Lehrer, R., y T. Romberg

1996a Exploring children's data modeling. *Cognition and Instruction* 14:69–108.

1996b Springboards to geometry. Pp. 53–61 en *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st Century*, G. Mammana and V. Villani, eds. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.

Lehrer, R., and L. Schauble

1996a Building Bridges Between Mathematics and Science. Informe de progreso para la Fundación James S. McDonnell Meeting of Cognitive Studies for Educational Practice Program Investigators. November. Vanderbilt University, Nashville, TN.

1996b Developing Model-Based Reasoning in Mathematics and Science. Ponencia presentada en el Taller sobre la Ciencia del Aprendizaje, Septiembre, National Research Council, Washington, DC.

Leinhardt, G., y J.G. Greeno

1991 The cognitive skill of teaching. Pp. 233–268 in *Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring*, Peter Goodyear, ed. Norwood, NJ: Ablex.

1994 History: A time to be mindful. Pp. 209–225 in *Teaching and Learning in History*, G. Leinhardt, I.L. Beck, and C. Stainton, eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Leonard, W.J., R.J. Dufresne, y J.P. Mestre

1996 Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics* 64:1495–1503.

McDonald, J.P., y P. Naso

1986 *Teacher as Learner: The Impact of Technology*. Educational Technology Center, Graduate School of Education, Harvard University.

Medawar, P.

1982 *Pluto's Republic*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Mestre, J.P.

1994 Cognitive aspects of learning and teaching science. Pp. 3-1–3-53 en *Teacher Enhancement for Elementary and Secondary Science and Mathematics: Status, Issues, and Problems*, S.J. Fitzsimmons y L.C. Kerpelman, eds. NSF 94-80. Arlington, VA: National Science Foundation.

Mestre, J.P., W.J. Gerace, R.J. Dufresne, y W.J. Leonard

1997 Promoting active learning in large classes using a classroom

communication system. Pp. 1019–1036 in *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities: Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, NY: American Institute of Physics.

Minstrell, J.

1982 Explaining the “at rest” condition of an object. *The Physics Teacher* 20:10.

1989 Teaching science for understanding. Pp. 129–149 en *Toward the Thinking Curriculum: Current Cognitive Research*, L.B. Resnick y L.E. Klopfer, eds. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.

1992 Facets of students’ knowledge and relevant instruction. Pp. 110–128 in *Proceedings of the International Workshop on Research in Physics Education: Theoretical Issues and Empirical Studies*, R. Duit, F. Goldberg, y H. Niedderer, eds. Kiel, Germany: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

National Council of Teachers of Mathematics

1989 *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics*. Reston, VA: National Council on Teachers of Mathematics.

Ravitch, D.R., and C.E. Finn

1987 *What Do Our 17-Year-Olds Know? A Report on the First National Assessment in History and Literature*. New York: Harper and Row.

Resnick, L.B., V.L. Bill, S.B. Lesgold, y M.N. Leer

1991 Thinking in arithmetic class. Pp. 27-53 in *Teaching Advanced Skills to At-Risk Students*, B. Means, C. Chelemer, y M.S. Knapp, eds. San Francisco: Jossey-Bass.

Rosebery, A.S., B. Warren, y F.R. Conant

1992 Appropriating scientific discourse: Findings from language minority classrooms. *The Journal of the Learning Sciences*

2(1):61-94.

Schauble, L., R. Glaser, R. Duschl, S. Schulze, y J. John

1995 Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Sciences* 4(2):131-166.

Secules, T., C.D. Cottom, M.H. Bray, L.D. Miller, and the Cognition and Technology Group at Vanderbilt

1997 Schools for thought: Creating learning communities. *Educational Leadership* 54(6):56-60.

Shulman, L.

1986 Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective. In *Handbook of Research in Teaching*, 3rd ed., M.C. Witrock, ed. New York: Macmillan.

1987 Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review* 57:1-22.

1996 Teacher Development: Roles of Domain Expertise and Pedagogical Knowledge. Paper preparado para el Committee on Developments in the Science of Learning for The Sciences of Science Learning: An Interdisciplinary Discussion.

Sokoloff, D.R., and R.K. Thornton

1997 Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher* 35(6) (September):340-347.

Stein, M.K., J.A. Baxter, and G. Leinhardt

1990 Subject matter knowledge and elementary instruction: A case from functions and graphing. *American Educational Research Journal* 27(4):639-663.

Talbert, J.E., y M.W. McLaughlin

1993 Understanding teaching in context. Pp. 167-206 en *Teaching*

for Understanding: Challenges for Policy and Practice, D.K. Cohen, M.W. McLaughlin y J.E. Talbert, eds. San Francisco: Jossey-Bass.

Thompson, A.G.

1992 Teachers' beliefs and conceptions: A synthesis of the research. Pp. 127-146 in *Handbook of Research in Mathematics Teaching and Learning*, D.A. Grouws, ed. New York: Macmillan.

Thornton, R.K., and D.R. Sokoloff

1998 Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics* 64:338-352.

Vygotsky, L.S.

1978 *Mind in Society: The Development of the Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: The Harvard University Press.

Wenk, L., R. Dufresne, W. Gerace, W. Leonard, y J. Mestre

1997 Technology-assisted active learning in large lectures. Pp. 431-452 in *Student-Active Science: Models of Innovation in College Science Teaching*, C. D'Avanzo and A. McNichols, eds. Philadelphia, PA: Saunders College Publishing.

Wilson, M.

1990a Investigation of structured problem solving items. Pp. 137-203 in *Assessing Higher Order Thinking in Mathematics*, G. Kulm, ed. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.

1990b Measuring a van Hiele geometry sequence: A reanalysis. *Journal for Research in Mathematics Education* 21:230-237.

Wilson, S.M., y S.S. Wineburg

1993 Wrinkles in time and place: Using performance assessments to understand the knowledge of history teachers. *American*

Educational Research Journal 30(4)(Winter):729–769.

Wineburg, S.S.

1991 Historical problem solving: A study of the cognitive processes used in evaluating documentary and pictorial evidence. *Journal of Educational Psychology* 83(1):73–87.

Wineburg, S.S., and S.M. Wilson

1988 Peering at history through different lenses: The role of disciplinary perspectives in teaching history. *Teachers College Record* 89(4):525–539.

1991 Subject matter knowledge in the teaching of history. Pp. 303–345 in *Advances in Research on Teaching*, J.E. Brophy, ed. Greenwich, CT: JAI Press.

Colección

Cómo aprenden las personas

La colección *Cómo aprenden las personas* es la traducción al español de los textos elaborados y publicados por la National Academy of Science de Estados Unidos en dos volúmenes, en 2000 y 2008. La traducción al español ha sido realizada por el equipo de Tu Clase, de manera de apoyar el trabajo de educadores en toda América Latina.

La colección consta de los siguientes títulos

1. *Aprendizaje: de la especulación a la ciencia*
2. *Cómo los expertos se diferencian de los principiantes*
3. *Aprendizaje y transferencia*
4. *Cómo aprenden los niños*
5. *Mente y cerebro*
6. *Diseño de entornos de aprendizaje*
7. *Enseñanza efectiva: ejemplos en Historia, Matemáticas y Ciencias*
8. *Aprendizaje docente*
9. *Tecnología para apoyar el aprendizaje*
10. *Direcciones futuras para la ciencia del aprendizaje*
11. *Próximos pasos para la investigación*
12. *Contextos y cultura*
13. *Formas de aprendizaje y desarrollo del cerebro*
14. *Procesos que contribuyen al aprendizaje*
15. *Conocimiento y razonamiento*
16. *Motivación para aprender*
17. *Implicancias para el aprendizaje en la escuela*
18. *Tecnología digital*
19. *Aprendizaje a lo largo de la vida*
20. *Agenda para la investigación*