



GOBIERNO
FEDERAL

SEP

90 años
1921 - 2011

Teoría y Práctica Curricular de la Educación Básica

seh

Subsecretaría de
Educación Básica

Las Ciencias Naturales en Educación Básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI



UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA
NACIONAL



Fomentar la lectura
mejora la educación y la cultura

Secretaría de Educación Pública

Alonso Lujambio Irazábal

Subsecretaría de Educación Básica

José Fernando González Sánchez

Dirección General de Desarrollo Curricular

Leopoldo F. Rodríguez Gutiérrez

Dirección General de Desarrollo de la Gestión e Innovación Educativa

Juan Martín Martínez Becerra

Dirección General de Materiales Educativos

María Edith Bernáldez Reyes

Dirección General de Educación Indígena

Rosalinda Morales Garza

Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio

Leticia Gutiérrez Corona

Las Ciencias Naturales en Educación Básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI fue elaborado por la Dirección General de Desarrollo Curricular, que pertenece a la Subsecretaría de Educación Básica, de la Secretaría de Educación Pública, con la colaboración de la Universidad Pedagógica Nacional.

Coordinación general
Leopoldo F. Rodríguez Gutiérrez
Noemí García García

Coordinación académica por la Secretaría de Educación Pública
Ernesto López Orendain
María Elena Hernández Castellanos

Coordinación académica por la Universidad Pedagógica Nacional
Ángel Daniel López y Mota
María Teresa Guerra Ramos

Autores
Agustín Adúriz Bravo
Alma Adrianna Gómez Galindo
Diana Patricia Rodríguez Pineda
Dulce María López Valentín
María del Pilar Jiménez Aleixandre
Mercè Izquierdo Aymerich
Neus Sanmartí Puig

Coordinación editorial
Gisela L. Galicia

Cuidado de edición
Rubén Fischer

Coordinación de diseño
Marisol G. Martínez Fernández

Corrección de estilo
Sonia Ramírez Fortiz

Diseño de interiores y formación
Lourdes Salas Alexander

Primera edición, 2011

D.R. © Secretaría de Educación Pública, 2011
Argentina 28, Centro, CP 06020
Cuauhtémoc, México, D.F.

ISBN: 978-607-467-055-4

Hecho en México
MATERIAL GRATUITO/PROHIBIDA SU VENTA

Índice

Presentación	6
Introducción	8
1. ¿Por qué y para qué enseñar ciencias?	11
1.1 Educar en ciencias: para la vida y la ciudadanía	15
1.2 Educar en ciencias: la ciencia como actividad humana y como cultura	22
1.3 Educar en ciencias en la sociedad del conocimiento	27
1.4 El campo de educación en ciencias y los conocimientos escolares	31
2. ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias?	41
2.1 Razones del cambio para enseñar y aprender ciencias	42
2.2 El pensamiento de los alumnos como punto de partida de la enseñanza	52

2.3 El aprendizaje visto como un proceso de modelización	62
2.4 El punto de vista competencial del aprendizaje	74
3. ¿Cómo enseñar ciencias?	93
3.1 Naturaleza de la ciencia y ciencia escolar	94
3.2 Indagación y experimentación	103
3.3 Comunicación en el aula y construcción de argumentaciones científicas escolares fundamentadas	112
3.4 Metacognición y diversidad	121
4. ¿Qué se necesita para enseñar ciencias?	129
4.1 Áreas de competencia profesional de los docentes	130
4.2 Planeación didáctica y diseño de actividades auténticas	135
4.3 Uso de libros de texto y otros materiales educativos	143
4.4 Evaluación del aprendizaje y de la enseñanza	147
4.5 Comunidades de aprendizaje en el aula	151
Bibliografía	158



Presentación

La Secretaría de Educación Pública (SEP) edita la colección *Teoría y práctica curricular de la educación básica*, para continuar apoyando la consolidación de la Reforma Integral de la Educación Básica (RIEB). Su propósito es impulsar la comprensión de los enfoques, campos formativos, asignaturas y contenidos del currículo nacional, apoyar la enseñanza en los distintos campos formativos y asignaturas en los tres niveles de la educación básica (preescolar, primaria y secundaria) y, al mismo tiempo, convertirse en una herramienta útil para fortalecer la actualización y formación continua de los y las docentes en los distintos espacios disciplinares de la educación básica.

Con esta serie, la SEP pretende establecer un diálogo entre la producción vanguardista del conocimiento y su aplicación sistemática en las escuelas de educación básica, como una vía más para promover aprendizajes pertinentes que contribuyan al logro del perfil de egreso y al desarrollo de competencias para la vida al final de este trayecto formativo.

Los títulos que conforman la colección han sido cuidadosamente elaborados por especialistas a nivel nacional e internacional en los diferentes campos que integran el currículo de educación básica, a fin de apoyar la

comprensión de los procesos de transformación curricular que en el marco de la RIEB experimentan docentes, directivos, personal técnico y de apoyo, así como alumnos en los jardines de niños y en los planteles de educación primaria y secundaria.

Asimismo, se abordan temas relativos a los campos formativos del currículo nacional de la educación básica de las siguientes asignaturas según su distribución en los planes y programas correspondientes: Matemáticas, Ciencias, Formación Cívica y Ética, Historia, Geografía, Artes, y Educación Física. En cada volumen se presenta un panorama actualizado del desarrollo de las didácticas de las asignaturas así como sus enfoques pedagógicos y las sugerencias para su tratamiento en cada nivel educativo.

La colección *Teoría y práctica curricular de la educación básica* se suma a otras acciones de producción de materiales y desarrollo de actividades de actualización con el compromiso de fortalecer la formación continua de los docentes de educación básica, mediante la promoción del análisis y discusión de temas de apoyo didáctico relacionados con el tratamiento de los contenidos de aprendizaje y sus enfoques, a fin de contribuir a mejorar la calidad de la educación básica en México.

Secretaría de Educación Pública



Introducción

Hemos escrito este libro para usted que, día con día, enseña a niños y niñas de preescolar o primaria, o adolescentes de secundaria y, a quienes desea introducir al mundo de las ciencias naturales. Alumnos que siempre nos sorprenden con sus preguntas, sus inquietudes y su interés por saber más sobre fenómenos presentes en la naturaleza –manifiestos mediante cambios de diversa índole. Responder a las expectativas de esas inquietas mentes, requiere de una reflexión profunda sobre nuestra labor y la intención consciente de transformar nuestras prácticas docentes en el aula. Entender la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias como parte fundamental de la formación integral de ciudadanos, plantea el desafío de repensar y replantear nuestra labor docente; adicionalmente, las ciencias avanzan, el currículo oficial se reformula, los materiales y los enfoques educativos evolucionan. Todo esto lo sabemos porque hemos tenido el privilegio de enseñar ciencias en distintos contextos y niveles educativos, por lo tanto, entendemos que la docencia no es una tarea trivial. Ante retos y cambios de tal envergadura, lo que ofrecemos en este libro son argumentos, ideas, información y recursos relevantes para estimular sus inquietudes docentes.

En esta obra pretendemos ofrecerle un panorama de los temas actuales relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, tanto para dibujar ideas y delinear aportaciones relevantes de la investigación educativa como para apuntar potenciales áreas de interés en las que usted probablemente quiera actualizarse y documentarse más extensamente. Hemos querido abordar los temas de manera accesible, combinando reflexión pedagógica y aportes de la investigación contemporánea en el campo de la educación en ciencias. Con frecuencia los resultados de una investigación, por su naturaleza académica, extensión, formalismos y medios de distribución resultan, a veces, poco accesibles para los docentes. En ese sentido, esperamos haber logrado el objetivo de esbozar e introducir ideas, literatura especializada y aportaciones relevantes de manera amable.

Para organizar el contenido de este libro planteamos cuatro preguntas que, los que enseñamos ciencias, nos hemos hecho en algún momento:

- ¿Por qué y para qué enseñar ciencias?
- ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias?
- ¿Cómo enseñar ciencias?
- ¿Qué se necesita para enseñar ciencias?

Hemos dedicado un capítulo a cada pregunta y al interior de cada uno de ellos desglosamos y articulamos temas y aspectos que, desde nuestro punto de vista, responden a tales cuestiones. Al inicio de cada capítulo y de su sección, encontrará un organizador avanzado que anticipa el contenido y facilita la lectura. Evidentemente, las respuestas a las preguntas planteadas no se agotan en este documento, por lo que incluimos comentarios y una selección de referencias para aquellos que deseen profundizar cualquier tema tratado.

Tuvimos la fortuna de integrar un grupo multidisciplinario de autores provenientes de distintas latitudes hispanoamericanas (Argentina, Colombia, España, y

México). Todos hemos enseñado ciencias, participado en formación y actualización de docentes, así como realizado investigación educativa relacionada con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. Estamos convencidos de la importante contribución de éstas en la formación integral de la población infantil y adolescente en México. Esperamos que comparta con nosotros esta convicción y encuentre este libro estimulante y útil.



1. ¿ Por qué y para qué enseñar ciencias ?

Diana Patricia Rodríguez Pineda

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL, MÉXICO

Mercè Izquierdo Aymerich

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS MATEMÁTICAS Y DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES,
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA, ESPAÑA

Dulce María López Valentín

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL,
UNIDAD MONTERREY, MÉXICO

Queremos ofrecer al profesorado de educación básica una mirada vigente del campo de educación en ciencias, que le permita tener elementos de reflexión respecto a por qué y para qué enseñar ciencias en el siglo XXI –que va más allá de los conceptos y teorías. Para ello, es imprescindible tener en cuenta que la función de la enseñanza de ciencias en la educación básica es educar a todas las personas y no sólo a quienes en un futuro se dedicarán al estudio de las ciencias.

A lo largo de este apartado se plantea la formación de pensamiento crítico en las y los estudiantes, que les permita tomar decisiones fundamentadas y responsables respecto a temas de interés social; principalmente acerca del ambiente –como el calentamiento global y el cambio climático–, la salud –como la obesidad infantil en México y el mundo– y el uso de la tecnología –por ejemplo, las implicaciones sociales en torno al genoma humano–; para lo cual desarrollamos tres puntos básicos: la ciencia como posibilidad de educar para la vida y la ciudadanía; la ciencia como actividad humana y como cultura, y la ciencia en la sociedad del conocimiento.

Los planteamientos anteriores se enmarcan en una reconceptualización de la Didáctica de las Ciencias* que, en particular, para el contexto mexicano, ha sido sinónimo de “metodologías de enseñanza”; al final de este apartado se presenta una conceptualización diferente del campo el cual se designa **Educación en Ciencias**,* denominación que se utilizará a lo largo del libro.

En primer lugar, debemos advertir que en este libro partimos de dos premisas fundamentales: la primera es que asumimos que la ciencia forma parte de la cultura construida por las mujeres y los hombres al paso de los siglos; por lo tanto, concebimos a la ciencia como una actividad humana que conlleva una serie de valores asociados a ella. La segunda es que al escribir sobre **educación en ciencias** nos referimos a un nuevo conocimiento científico, al que consideramos “la ciencia del profesor de ciencias” (Estany e Izquierdo, 2001). El objeto de estudio de esta “ciencia del aula” es más amplio que el que se otorga de manera tradicional a la “didáctica”, que supuestamente se ocupa sólo de las estrategias de enseñanza. Particularmente en nuestro país, la didáctica de las ciencias ha sido hasta ahora sinónimo de

* Conceptos que a lo largo del texto se escribirán en minúsculas.

metodologías de enseñanza y, por ello, nuestra intención de superar esta conceptualización y destacar la importancia de diseñar la actividad científica con un objetivo educativo explícito (¿por qué y para qué enseñar?); sin embargo, sólo una adecuada selección de lo que se enseña permitirá alcanzarlo; por eso es tan importante reflexionar sobre cómo hacerlo a la vez que intentamos aportar elementos para dar respuesta a estas dos preguntas. La educación en ciencias, como campo de investigación, servirá de fundamento para responder a dichas preguntas, así como a las de los demás capítulos: ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias? ¿Cómo enseñar ciencias? ¿Qué se necesita para enseñar ciencias?

En resumen, forman parte de este campo, denominado **educación en ciencias**, los estudios que:

Permitan, en perspectiva, mejorar la enseñanza de las ciencias naturales –física, química, biología– y su aprendizaje en individuos –estudiantes, futuros docentes– y grupos escolares y en diversos niveles educativos, a partir de considerar los procesos cognitivos de representación de los estudiantes relativos a la adquisición y desarrollo de conceptos, habilidades y actitudes. Y su repercusión en distintos aspectos de la educación –currículo: como estructura y proceso, formación y actualización de profesores, gestión escolar, tecnología educativa, evaluación del aprendizaje, diferencias étnicas y de género, entre otros aspectos–, desde perspectivas teóricas y metodológicas diversas que se nutren de tradiciones identificadas de investigación (López y Mota, 2003:363).

Al ser casi evidente que toda la población debería recibir formación en ciencias, esas preguntas iniciales deben obtener una respuesta pertinente en todos y cada uno de los niveles educativos. De esta afirmación fundacional se deduce que las ciencias se han de enseñar desde la educación preescolar –en el campo

formativo de Exploración y comprensión del mundo natural y social¹ y a lo largo de la educación primaria y secundaria, contribuyendo así a la educación básica para la ciudadanía. Con ello estamos brindando una perspectiva progresista, aunque a la vez problemática y, vale la pena tener en cuenta que no es fácil enseñar ciencias a toda la población, sobre todo si consideramos que las ciencias se desarrollaron en círculos restringidos con objetivos específicos y nunca –hasta ahora– se había pensado que éstas pudieran ser “educativas”.

Defendemos apasionadamente esta nueva función de las ciencias: la educabilidad en ellas.² Aunque la comunidad científica haya sido –y sea– relativamente pequeña, se ha financiado con el esfuerzo de toda la sociedad y a ella deben revertirse los conocimientos que ha construido. Pero, al mismo tiempo, nos damos cuenta de que debemos evitar que la “ciencia para todos” sea una simplificación de la ciencia de los científicos. Es difícil que la mayoría de estudiantes se interese por la imagen del mundo que presentan las ciencias y que llegue a incorporar sus lenguajes y símbolos. Se requiere de una profunda reflexión desde la cual identificar sus contenidos y sus finalidades para que “la ciencia para todos” llegue a interesar a los estudiantes, los incorpore de manera significativa y, así, contribuya a su educación y a mejorar su calidad de vida.

La ciencia para todos debe proporcionar a los alumnos la experiencia del gozo de comprender y explicar lo que ocurre a su alrededor; es decir, “leerlo” con ojos de científicos. Este “disfrutar con el conocimiento” ha de ser el resultado de una actividad humana racional la cual construye un conocimiento a partir de la experimentación, por lo que requiere intervención en la naturaleza, que toma sentido en función de sus finalidades, y éstas deben fundamentarse en valores sociales y sintonizar siempre con los valores humanos básicos. Si bien puede haber discrepancias respecto a cómo combinar los diferentes sistemas de valores

¹ Véase el Mapa Curricular de la Educación Básica (SEP, 2009).

² De ahí la posibilidad de aparición de la “educación en ciencias”.

que orientan la actividad científica de una sociedad concreta, el profesorado debería estar atento a la formación en valores desde la ciencia, desarrollando una actitud crítica frente a propuestas que utilizan las ciencias y las tecnologías de manera reduccionista. Así, las ciencias deben proporcionar recursos para tomar decisiones fundamentadas, sin predeterminedar el comportamiento humano ni reducir las capacidades de las personas a lo que las disciplinas científicas pueden decir de ellas (Fourez y otros, 1996; Izquierdo, 2006).

Si se tiene claro que la ciencia está al servicio de la educación y no al revés, nos daremos cuenta de la importancia de seleccionar conocimientos de ciencia que puedan dar lugar a actividades docentes que sean “competenciales” y que puedan ser evaluadas atendiendo a la autorregulación de los aprendizajes y a la diversidad de ritmos, estilos de aprendizaje y de cultura.

1.1 Educar en ciencias: para la vida y la ciudadanía

En esta sección se expone la visión de cómo la educación en ciencias aporta elementos para el desarrollo de valoraciones que van más allá de aprender ciencia, “para poder vivir de la manera más feliz y humana posible” (Izquierdo, 2006:867) y alienta una enseñanza con valores humanos. Desde la ciencia misma se aporta al desarrollo de valores y a cómo intervenir –con ellos en mente– con acciones relativas al individuo, la sociedad y el medio ambiente: presentes y futuras de manera responsable e informada.

Vivimos en un mundo bombardeado de información que apela a la cientificidad de sus contenidos a cada momento. Ya sea por Internet, televisión, prensa y la radio, entre otros medios, nos enteramos de nuevas enfermedades, de medicamentos para bajar de peso de forma mágica –sin dieta ni ejercicio–, de productos



de belleza que son “científicamente probados”, de un aceite vegetal “libre de colesterol” y de agua embotellada “sin sales” que promete ser la mejor para la salud. ¿Cuántas personas creen ingenuamente en estos anuncios publicitarios? y ¿cuántas cuestionan o rebaten con argumentos estas ideas? A quienes constituyen la comunidad científica –quien hace ciencia–, los profesores –que la enseñan– y los divulgadores –quienes la comunican– no les será difícil criticar este tipo de publicidad relativa al mundo científico. Pero ¿qué ocurre con la población en general? ¿Se encuentra capacitada para tomar decisiones acertadas con base en los conocimientos científicos?

Curiosamente, escuchar que un producto ha sido “científicamente probado” vulnera nuestras defensas intelectuales y pocas veces se duda en comprarlo y usarlo. El ciudadano promedio no cuestiona la credibilidad de la ciencia, pero ¿qué ocurre cuando de jóvenes se tuvo la oportunidad de estudiarla? En ese entonces no parecía importante y frecuentemente, como profesores, escuchábamos en clase: “las ciencias siempre han sido complicadas”, “su lenguaje es confuso al igual que las ideas que promueve” y, por si fuera poco, “¿de qué me puede servir?”, “¿qué aplicación puede tener?”. Estas son algunas de las cuestiones a las que, como profesorado, nos enfrentamos continuamente en el aula de clases. Realmente no es nada nuevo, pero ¿qué podemos hacer para mostrar una ciencia más atractiva, estimulante y útil?

Es común pensar que enseñar ciencias implica sólo exponer teorías y conceptos acabados. Rara vez tenemos en cuenta la formación funcional que proporciona la enseñanza científica, o su importancia como conocimiento de una cultura general imprescindible para que una ciudadana o un ciudadano entienda asuntos de trascendencia social y personal importantes, como: qué tanto pueden afectarle el cambio climático, los alimentos transgénicos, la utilización de las células madre, entre otros. Estos son temas sobre los que todos deberíamos desarrollar ideas con base en información que nos ayuden a formar opiniones propias y decisiones fundamentadas.

Se procura que la enseñanza de las ciencias sea más humanística y mejor conectada con la sociedad (Pedrinaci, 2006). En algunas ocasiones se ha malentendido esta acción y se cree que con hablar del “Día mundial del medio ambiente”, “Día mundial de la salud” o “Día mundial de la lucha contra el sida” es suficiente para enseñar temas tan importantes de manera puntual y en un momento específico durante el ciclo escolar: en lugar de ser utilizados como elemento motivador o “pretexto” para ser abordados en las clases de ciencias con la seriedad y el rigor necesarios (Yus, 2000).

Al hacer un poco de historia sobre la enseñanza de las ciencias y sus enfoques a nivel mundial, podemos identificar que después de la Segunda Guerra Mundial estuvo vinculada a la preparación de los jóvenes para acceder a la universidad (Sanmartí, 2002). Después del lanzamiento del *Sputnik* por los soviéticos, en 1957, los norteamericanos empezaron a invertir en iniciativas de desarrollo curricular a gran escala. Durante las dos décadas siguientes, la llamada “Edad de oro del desarrollo curricular en ciencias” se dio con el desarrollo de proyectos financiados; por ejemplo, por la National Science Foundation.³ El énfasis de estos proyectos era la modernización de los contenidos y objetivos curriculares de las diferentes asignaturas científicas y la estructura de las disciplinas (Akker, 2003). Para los años ochenta y noventa los enfoques cambiaron, porque lo importante era orientarse hacia situaciones de la vida cotidiana; relacionar la ciencia con las cuestiones sociales y tecnológicas; desarrollar la formación científica básica en el contexto de una ciudadanía activa y responsable; promover la ciencia como un fenómeno cultural; asegurar que la ciencia esté más orientada a las personas; tener en cuenta los conocimientos y las experiencias previas de los estudiantes; utilizar actividades de resolución de problemas para desarrollar la creatividad y promover la toma de

³ Fundación Nacional de Ciencias (EUA).

decisiones y las habilidades sociales, además de promover la autoestima de los estudiantes (Macedo *et al.*, 2006).

Respecto a la formación científica básica o "alfabetización científica", Bernal y López (2005) afirman que del mismo modo que en su momento fue necesario alfabetizar –enseñar a leer y escribir– a la población para su inserción a la sociedad, ciertos conocimientos científicos hoy en día son indispensables para desenvolverse en un mundo dominado, para bien o para mal, por las tecnociencias y sus consecuencias sociales, económicas y ambientales.

A lo largo de las dos últimas décadas se han multiplicado los esfuerzos de diversos organismos en conferencias internacionales –Unesco, Council of the Ministers of Education of the European Community,⁴ Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) y otros– para que los educadores contribuyamos a que los ciudadanos adquieran una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que se enfrenta la vida en nuestro planeta y puedan así participar en la necesaria toma de decisiones fundamentadas (Gil y Vilches, 2006). Al respecto, mencionamos una forma concreta de acción: desde hace algunos años se diseñó en Internet una interesante página sobre "educación" y "sostenibilidad" que responde al llamado realizado por las Naciones Unidas para la celebración del decenio 2005-2014, declarado como "Década de la educación para el desarrollo sostenible" (Web sobre la Década por una educación para la sostenibilidad, 2004:278). Esta página está a cargo de la OEI y publica periódicamente el boletín *Educadores para la sostenibilidad*, donde pueden consultarse acciones y noticias referentes al tema, así como adherirse a esta página.

Con base en el propósito de desarrollar un mundo más sustentable, a finales de 2007 fue aprobada en España una nueva asignatura obligatoria para el bachillerato

⁴ Ministerio de Educación de la Comunidad Europea.

llamada Ciencias para el Mundo Contemporáneo. En sus lineamientos se establece que:⁵

Los ciudadanos del siglo XXI, integrantes de la denominada “sociedad del conocimiento”, tienen el derecho y el deber de poseer una formación científica que les permita actuar como ciudadanos autónomos, críticos y responsables. Para ello, es necesario poner al alcance de todos los ciudadanos esa cultura científica imprescindible y buscar elementos comunes de un saber compartido. El reto para una sociedad democrática es que la ciudadanía maneje conocimientos suficientes para tomar decisiones reflexivas y fundamentadas sobre temas científico-técnicos de incuestionable trascendencia social y poder participar democráticamente en la sociedad para avanzar hacia un futuro sostenible para la humanidad (*Ciencias para el mundo contemporáneo*, 2008:36).

Después de haber considerado algunas iniciativas para acercar la ciencia a la población mundial, regresemos a nuestro salón de clases y preguntemos como profesores: ¿cuál es nuestra función en la formación de estos ciudadanos? Realmente como educadores nos enfrentamos a un gran compromiso, porque no sólo basta con transmitirles a los estudiantes las herramientas necesarias que los ayuden a ser ciudadanos críticos y responsables, “al poner en juego sus conocimientos, habilidades, actitudes y valores para el logro de propósitos en contextos y situaciones diversas –competencias para la vida–” (SEP, 2009:36). De acuerdo con Kymlicka (2003), dentro de las cualidades y actitudes de los ciudadanos se espera que ejerzan su responsabilidad en las elecciones personales que afecten a su salud y al me-

⁵ Como “desarrollo sostenible” se entiende el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Década por una educación para la sostenibilidad, 2009).

dio ambiente. Respecto a su salud, se espera una responsabilidad consistente en mantener una dieta saludable, hacer ejercicio con regularidad y limitar su consumo de alcohol y tabaco. Referente al cuidado del medio ambiente, los ciudadanos deben estar dispuestos a reducir, reutilizar y reciclar todo lo relacionado con sus propias elecciones como consumidores.

De esta manera estamos participando en la “formación de un ser humano”, ya que para la mayoría de nuestros estudiantes la educación básica es la única y última oportunidad que tienen para formarse en la escuela, y muchos de ellos concluyen sus estudios formales a los 16 años para incorporarse a la vida laboral.

Por lo tanto, la educación debe considerarse como una preparación para la vida, no para un posterior aprendizaje supervisado (Claxton, 2001). Es por ello que como docentes debemos formarnos en las competencias requeridas para superar las dificultades que significan ejercer competencias de conocimiento cognitivo y comprensión emocional, vinculadas con una diversidad creciente de estudiantes y para desempeñarlas en diferentes opciones, modalidades y contextos educativos; para adaptarse al permanente cambio del conocimiento, y para potenciar el trabajo autónomo de sus estudiantes y formarlos para el ejercicio de la democracia (Macedo *et al.*, 2006).

Como hemos visto a lo largo de este apartado, no ha sido fácil encontrar una “solución universal” a los enfoques de la educación en ciencias, no sólo como agente motivador para nuestros estudiantes sino como una forma responsable y consciente de vivir. Los últimos proyectos curriculares han coincidido en que hay que educar en ciencias para el ejercicio de una vida responsable ante el medio ambiente, para el ejercicio de una vida pública informada y responsable para la sociedad, y para el ejercicio de una conducta responsable con uno mismo y los demás seres humanos.

Hay que tener presente que así como enseñamos conceptos y teorías en ciencias, también debemos desarrollar valores; los cuales son imprescindibles para vivir en sociedad. La ciencia se define por ciertos valores que la caracteri-

zan: honestidad, racionalidad, autocrítica, perseverancia, objetividad, principalmente, pero como actividad humana que es, está condicionada por factores económicos, ideológicos, de poder y otros que conllevan una diferenciación en la práctica entre valores “proclamados” y valores “aplicados”. Las clases de ciencias no deberían estar al margen de esta dialéctica (Sanmartí, 2002).

Para concluir este apartado queremos señalar los objetivos más específicos para la educación científica a lo largo de la escolarización y del aprendizaje, según Lemke (2006:6):

- Para los niños de edad intermedia: desarrollar una curiosidad más específica sobre cómo funcionan las tecnologías y el mundo natural, cómo diseñar y crear objetos, cómo cuidar las cosas, y un conocimiento básico de la salud.
- Para la escuela secundaria: abrir todos un camino potencial hacia las carreras de la ciencia y la tecnología, proveer información sobre la visión científica del mundo que es, de probada utilidad para muchos ciudadanos, comunicar algunos aspectos del rol de la ciencia y de la tecnología en la vida social, ayudar a desarrollar habilidades de razonamiento lógico y complejo, y el uso de múltiples representaciones.

Y para quienes lo deseen: a) un camino menos intensivo que deje abierta la opción para una especialización científica o tecnológica, y b) un camino más intensivo para quienes ya han decidido seguirlo en la universidad o en la educación técnica superior.

De acuerdo con lo que hemos revisado en estas páginas, podría parecer que los objetivos que señala Lemke (2006) son más amplios que los nuestros, pero si leemos con más detenimiento, el autor afirma que los niños pequeños aprenden a valorar el mundo natural; los niños más grandes empiezan a conocer cómo cuidar su salud, y los adolescentes cuentan con la información científica que les permitirá actuar como ciudadanos informados. Por lo tanto, podemos concluir que nuestra

labor “como formadores de seres humanos” se inicia, desarrolla y pone en práctica durante la educación básica: “no se nace con valores, los niños deben ser educados para vivir en sociedad”.

1.2 Educar en ciencias: la ciencia como actividad humana y como cultura

En esta sección nos proponemos destacar el valor que en sí mismo implica educar en ciencia, puesto que el aprenderla está asociado con la visión de la ciencia como una actividad humana, en una cultura particular, que alienta la formación de valores en el ser humano relacionados con la forma de actuar, de argumentar y de comunicarse de la actividad científica.

Es preciso que el profesorado reconozca que la ciencia hace parte de nuestra vida diaria y, por lo tanto, les proporciona a los estudiantes elementos para participar con fundamentos y argumentos “científicos” en la toma de decisiones. Asimismo, en esta sección hablamos, como parte de la cultura, sobre la necesidad que tienen los estudiantes de conocer y familiarizarse con el lenguaje científico.

Durante mucho tiempo, el propósito de educar en ciencias de los profesores de preescolar, primaria y/o secundaria fue enseñar los contenidos o conceptos fundamentales de la ciencia –física, química y biología–, tales como los conceptos de “energía”, “átomo” y “célula”, por mencionar algunos. Esta intención de educar en ciencia fue promovida en gran medida por proyectos curriculares, como el elaborado en Gran Bretaña por la Fundación Nuffield en los años sesenta, los cuales promovían, como lo plantea Sanmartí (2002), una enseñanza más conceptual



centrada en la transmisión de conocimientos descriptivos, que promovían el trabajo de laboratorio o de actividades experimentales divorciadas de la teoría misma y asociadas a una visión distorsionada de la ciencia con un método único.⁶ Así, la enseñanza de la ciencia estaba basada en un modelo empírico-positivista⁷ de la ciencia, que la consideraba como un conjunto organizado y validado de conocimientos que explican cómo es el mundo en que vivimos. Lo anterior da pauta a pensar que la comunidad científica está conformada por personas poseedoras de un método todopoderoso e infalible para determinar la verdad sobre el Universo, transmitiendo, así, concepciones erróneas a los educandos sobre el trabajo científico.⁸ En este sentido, vale la pena recordar lo que manifiesta Gauld (1982):⁹ “Enseñar que los científicos tienen estas características es bastante negativo, pero es detestable que los educadores de ciencias intenten realmente moldear a los niños en la misma imagen falsa”.

Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999:48) plantean que “si las ciencias son el resultado de una actividad humana compleja, su enseñanza no puede serlo menos”; es decir, que la educación en ciencias va más allá de la idea tradicional de la enseñanza expositiva de contenidos; así, lo que se pretende es una “formación científica básica” que permita a los estudiantes ver a la ciencia como parte de la cultura. Ello, máxime si se conocen no sólo sus resultados –que es la manera como tradicionalmente se ha planteado la enseñanza de las ciencias– sino cómo se ha llegado a las teorías actuales (Duschl, 1996). El lento y dificultoso camino¹⁰

⁶ En la sección 2.1 se trata en detalle la falsedad de la idea de la existencia de un “método científico”, tan arraigada en gran parte de los profesores de ciencias.

⁷ En este sentido, los resultados de algunas investigaciones (Rodríguez y López, 2006; Jiménez y Rodríguez, 2010) realizadas por el grupo de Educación en Ciencias de la Universidad Pedagógica Nacional, indican que los profesores tanto de primaria como de secundaria se identifican en su mayoría con el enfoque empírico-positivista de la ciencia.

⁸ Un estudio empírico sobre las ideas de los docentes mexicanos acerca de los científicos se reporta en Guerra (2006).

⁹ Citado por D. Hodson (1986), “Philosophy of Science and Science Education”, p. 15.

¹⁰ Expresión usada como metáfora, ya que desde una nueva visión de las ciencias, como la que se plantea en este texto y se desarrolla en el apartado 2, es claro que en la ciencia no hay un solo camino predeterminado.

que ha seguido la ciencia, en el cual han sido frecuentes los errores que, una vez superados resultaron ser un aporte valioso para la construcción del “edificio científico”, debe animar a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje, que puede equipararse a una “historia de la ciencia” personal.

Ahora bien, como ya se mencionó en el apartado anterior, es indiscutible que en la actualidad vivimos en un periodo en el que la ciencia y la tecnología son consideradas como los factores que más influyen sobre el rumbo de nuestras vidas, lo que implica un mínimo de comprensión de los términos y los conceptos científicos que nos permita enfrentar con éxito las situaciones que se nos presentan. Para el logro de esta adecuada apropiación social de la ciencia se requiere crear condiciones particulares de enseñanza y de aprendizaje para que la ciencia y sus procesos formen parte inseparable de la cultura. Por lo tanto, la educación en ciencias debe aportar de manera decidida a la apropiación crítica del conocimiento científico y a la generación de nuevas condiciones y mecanismos que promuevan la formación de nuevas actitudes hacia la ciencia y hacia el trabajo científico. La educación en ciencias, inscrita en esta nueva dinámica cultural, nos reta a pensar nuevas propuestas curriculares en las que se reflexione acerca de las relaciones entre la ciencia y su conocimiento público, y del desarrollo de habilidades para la toma de decisiones relacionadas con problemas sociocientíficos.

Por lo tanto, es preciso que los profesores reconozcamos que la ciencia “hace” parte de nuestra vida diaria y en consecuencia les proporciona a los estudiantes elementos para participar de manera fundamentada y con argumentos “científicos” en la toma de decisiones; por ejemplo, el uso o no de aerosoles, qué productos comprar y consumir, y si se debe o no separar la basura. De tal manera que el concepto de actividad científica implica la existencia de un sistema de valores para el establecimiento de las normas que regulan esta actividad, y como cualquier actividad racional requiere de metas y formas de trabajo que dependen de los valores y posibilidades del contexto propias de la “cultura”. Entonces, educar en ciencias encierra un valor, puesto que aprenderla está asociado con la visión

de una actividad humana, en una cultura particular, que alienta la formación de valores en el ser humano, relacionados con la propia forma de actuar, argumentar y comunicarse¹¹ de la actividad científica.

Por consiguiente, no tiene ningún sentido separar ciencia y cultura, puesto que la ciencia se desarrolla en una "cultura particular" de la cual es deudora. Si esta distinción se ha establecido en algún momento ha sido más bien por un afán de demarcación, que en la escuela carece de sentido. Como cualquier manifestación cultural, la actividad científica –y su producto, la ciencia– responde a una vivencia que debe expresarse y tiene sus reglas, que se establecen cuando se lleva a cabo adecuada o inadecuadamente. Se asienta, por lo tanto, en un conjunto de valores que en sí mismos no encierran el propósito de ser educativos, aunque los valores de la ciencia escolar sí deben serlo, porque la educación en ciencias "tiene ante sí el reto de formar ciudadanos y ciudadanas que construyan nuevas formas de sentir, pensar y actuar en un mundo caracterizado por la injusticia social e insostenible ecológicamente" (Pujol, 2007:18).

En consecuencia, la educación en ciencias va mucho más allá de la idea tradicional de enseñanza de contenidos/conocimientos, aunque no pueda prescindir de ellos; por lo tanto, los contenidos deben escogerse con cuidado, seleccionando aquellos que sean racionales, razonables y "de alto nivel" (algunas de estas ideas, se desarrollan en el apartado 4):

- Los conocimientos podrán ser razonables si los estudiantes son capaces de intervenir experimentalmente en ellos, de argumentar los resultados, de darse cuenta de sus lagunas, de representarlos y de narrarlos.
- A referirnos al "alto nivel" pensamos en conseguir que los conocimientos sean útiles para la formación del estudiante como persona. Para ello deben conectar con sus

¹¹ Se detalla en el apartado 3.

expectativas personales, las cuales, a su vez, deben formar parte de un proyecto humano, social, estimulante y satisfactorio desde un punto de vista ético y estético, además de científico.

El planteamiento de Pujol (2007:22), respecto al estudio de los seres vivos, ejemplifica claramente las ideas anteriormente expuestas:

Propuestas de estudio de los seres vivos desmarcados de su medio y tan sólo acompañadas de preguntas cerradas con respuestas academicistas (*¿cómo es su cuerpo?, ¿cuántas patas tiene?, ¿qué tiene en la cabeza?, ¿cómo son sus extremidades?, ¿qué come?, ¿dónde vive?, ¿cómo se reproduce?*) constituyen enfoques que difícilmente pueden ayudar a los escolares a comprender la interdependencia entre los distintos elementos de la naturaleza y de la importancia del papel de cada uno de ellos. Son preguntas que, en general, giran alrededor de un determinado individuo, desvinculándolo de su interacción con el entorno, de la visión evolutiva de la especie y, por consiguiente, de su papel y su historia en el espacio y el tiempo.

Es muy distinto, al estudiar un animal, centrar la atención en *cómo es* que en *cómo cambia* y *cómo cambia su ambiente*.

Las posibilidades que ofrece, por ejemplo, un estudio de la lagartija centrado en la descripción de las características de su cuerpo, son muy distintas si se incluye otro tipo de preguntas (*¿qué problemas tendríamos las personas si tuviéramos que movernos como una lagartija?, ¿por qué dicho animal no tiene problemas para realizar dicho movimiento?, ¿qué tiene de distinto su piel de la nuestra que le posibilite moverse sin rasguñarse?*); ello permite ir analizando las características de los seres vivos sin establecer una escala de jerarquías sino de diversidad.

Por otra parte, un aspecto importante y bastante desconocido de la actividad científica y de la cultura es el lenguaje, el cual es más que un instrumento para la comunicación. Según Wittgenstein (1997), el “juego del lenguaje” es acción que se desarrolla en el seno de una actividad humana concreta y que proporciona palabras con las cuales construir relaciones y entidades. Así, el lenguaje escolar –utilizado desde preescolar hasta secundaria– también puede ser mucho más que descripciones y definiciones de algo que “la comunidad científica ha dicho”; es evolutivo y cambia a medida que lo hace la actividad científica, y proporciona recursos para argumentar e interaccionar y no sólo para afirmar “cómo es el mundo”, y explicar con estereotipos –imágenes mentales simplificadas– cómo se ve el mundo.

Además, el lenguaje permite comunicar las propias ideas –a través de diferentes formas de representación–, interpretar las de los demás, establecer nuevas relaciones y construir conocimientos. Aunque durante mucho tiempo se consideró que el lenguaje y la ciencia eran independientes, es mediante la generación de lenguajes adecuados que se socializan los conocimientos. Por lo tanto, educar en ciencias implica enseñar a “pensar”, “hacer” y “hablar” o a “comunicar” sobre los sucesos del mundo natural.

1.3 Educar en ciencias en la sociedad del conocimiento¹²

Dado que una finalidad de esta obra es que los profesores de ciencias de educación preescolar, primaria y secundaria cuenten con materiales de apoyo en los procesos curriculares de reforma, mediante la obtención de una visión ac-

¹² Para la Unesco, el concepto pluralista de sociedades del conocimiento va más allá de la sociedad de la información, ya que apunta a transformaciones sociales, culturales y económicas en apoyo al desarrollo sustentable. Los pilares de las sociedades del conocimiento son el acceso a la información para todos, la libertad de expresión y la diversidad lingüística.



tualizada del campo, se presentan algunos planteamientos fundamentales del enfoque utilizado. Concretamente, se apunta a cómo la ciencia y particularmente la educación en ciencias, permite el desarrollo de competencias¹³ con enfoque científico, y contribuya a enfrentar situaciones diversas. Asimismo, se destaca la idea de diversidad y autonomía como “ideas de alto nivel”, que adquirirán sentido en propuestas curriculares concretas.

En esta sección se pone énfasis en cómo educar en ciencias, de manera que se eduque a seres humanos; es decir a nuestros estudiantes; lo cual no significa que demos dos tipos de educación –por un lado, la educación científica y, por el otro, la humana– sino que, si se consigue educar en ciencias a todos los alumnos, habremos construido, como profesores, una actividad científica que es “escolar”. Ésta se desarrolla en un contexto social auténtico, en el cual los conocimientos pueden adquirir sentido para los educandos porque, en conjunto, se sabe hacia dónde se va, a diferencia de la comunidad científica –de los eruditos–, que se considera más cerrada y en la que no todos tienen cabida.

Se debe dejar de lado la idea de que la ciencia corresponde a una serie de conceptos, leyes y teorías que muchas veces no tienen significado ni aplicación en el mundo; hemos optado por considerarla una “actividad humana” que se desarrolla gracias a “valores epistémicos” (precisión, replicabilidad, simplicidad, entre otros), pero también humanos y sociales, y por lo tanto con capacidad para intervenir en el mundo para transformarlo. Ambos aspectos son importantes y deben cuidarse, y tanto unos como otros deben estar orientados hacia una finalidad educativa: ayudar al estudiante a llegar a ser un adulto competente en su vida (sección 2.4) a partir de la formación de un pensamiento crítico. Para ello, es impor-

¹³ Las reformas curriculares en México –al igual que en varios países– están fundamentadas en el enfoque de competencias. En la sección 2.4, “El punto de vista competencial del aprendizaje” se desarrolla extensamente este enfoque.

tante fijarse objetivos que lo hagan feliz conviviendo con todas las personas a las que considera sus iguales.

En relación con los contenidos propios de las ciencias, su enseñanza, tal como lo menciona Izquierdo (2006:880), no debe estar “basada en definiciones (qué es la célula, qué es el enlace químico, qué son las fuerzas...) sino en acciones (qué hago para saber si la combustión es un cambio químico, cómo controlo una combustión, cómo ajusto la proporción de los reactivos, cómo explico lo que he hecho...)”.

Y para que estas acciones sean eficaces se deben realizar conscientemente y, por lo tanto, estar sujetas a la autoevaluación que se deriva de procesos metacognitivos (esta idea se desarrolla en la sección 3.4) que les permite a los estudiantes regular sus aprendizajes; los cuales deben formar parte de la “actividad científica escolar”. El conjunto de acciones toman significado por su vinculación a un modelo teórico, que proporciona al proceso docente características “modelizadoras” (el planteamiento del aprendizaje como un proceso de modelización se aborda en la sección 2.3).

La tecnología también se considera en el proceso, puesto que una buena parte de las acciones científicas requieren instrumentos que se deben conocer bien para comprender la naturaleza de los datos que proporcionan. La tecnología se convierte así, para el profesorado de ciencias, en un recurso didáctico y en una herramienta de comunicación, además de que propicia un aprendizaje colaborativo, en el que participan los estudiantes y los profesores e interaccionan para construir conocimientos (López y Morcillo, 2007).

Particularmente, en torno al desarrollo y auge de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), en el campo de la educación en ciencias se ha considerado esta revolución informacional y tecnológica, para lo cual la Secretaría de Educación Pública ha incorporado los recursos tecnológicos en los procesos educativos de carácter formal, mediante proyectos de innovación educativa, como: Enseñanza de las Matemáticas con Tecnología (EMAT); Enseñanza de la Física con

Tecnología (EFIT, 1997);¹⁴ Enseñanza de las Ciencias con Tecnología (ECIT, 2006)¹⁵ –en secundaria–; Enciclomedia¹⁶ en 2003, en primaria, y en la actualidad el programa Habilidades Digitales para Todos, en 2009.

A partir de las reflexiones en torno al uso de las TIC en el campo de la enseñanza de las ciencias, Pontes (2005) señala las principales funciones:

- Su uso para la formación de estudiantes al permitir trabajar contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
- Su empleo para la formación del profesorado con un sentido tecnológico (manejo técnico), científico (ampliación de contenidos) y pedagógico (diseño de estrategias).

El contexto social en el que se desarrolla nuestra escuela toma el nombre, ahora, de “sociedad del conocimiento”. De nuevo debemos insistir en lo que se dijo anteriormente, si todos tienen lugar en esta sociedad, los conocimientos deben ser un factor de inclusión; por todo ello, las ciencias son un motivo para abrir el acceso a todos. La sociedad proporciona ahora nuevas ocasiones de aprendizaje, a través de la prensa, el cine, la televisión, los recursos digitales; también ha abierto las puertas de las industrias –visitas a fábricas–, los museos, los laboratorios, y es ahora cuando la escuela debe aprovechar esta invitación para generar los contextos necesarios orientados a adquirir las competencias científicas que permiten concretar actuaciones y criterios.

¹⁴ La fundamentación de cada proyecto, sus alcances, objetivos, organización y componentes tecnológicos que lo integran están disponibles en: www.efit-emat.dgme.sep.gob.mx

¹⁵ Proyecto que consiste en estrategias didácticas propuestas para el docente para que las implemente en el aula, con el fin de abordar los contenidos, según el Programa de estudios 2006, correspondiente a cada asignatura, las cuales conllevan el uso integral de la computadora, Internet, simulaciones, sensores y animaciones.

¹⁶ En: <http://www.enciclomedia.edu.mx/>

Así, se espera que los currículos evolucionen hacia la integración de temas CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente), que requieren la intervención coordinada de cada uno de los profesores de todos los niveles educativos.

En la actual sociedad del conocimiento, inmersa en un contexto de gran diversidad social, cultural, lingüística y étnica, es imprescindible que los profesores generemos ambientes de aprendizaje en los que se valoren las capacidades de todas las niñas y todos los niños, y les ayudemos a ejercer la crítica; tener confianza en el futuro; comunicarse y escucharse; implicarse en las tareas de la escuela; defender sus puntos de vista de manera pacífica –educándolos en la autonomía–; a entender los acontecimientos –al presentarse situaciones que vulneren los derechos de las personas o de desatención a problemas ambientales, y a participar en acciones solidarias que coadyuven a una sociedad más justa y un planeta sostenible.

1.4 El campo de educación en ciencias y los conocimientos escolares¹⁷

En esta sección se ofrece una aproximación vigente del campo de la educación en ciencias, con énfasis en los contenidos de enseñanza que vienen condicionados por la finalidad educativa que nos proponemos alcanzar y que han de ser compatibles con las estrategias docentes y de evaluación utilizadas.

Aunque el reto de la “ciencia para todos” está pendiente de ser resuelto por la educación en ciencias, ésta ofrece numerosas pistas que nos ayudan a enfrentarlo (Millar, 1996). Actualmente, sabemos un poco más acerca de: cómo

¹⁷ Esta denominación es para su práctica en México, pero la posición coincide con la de didáctica de las ciencias utilizada en otros países –biología, física y química, principalmente– y basada en la modelización: ciencia escolar, transposición didáctica y modelo cognitivo de la ciencia.



diseñar una ciencia escolar, cómo planificar estrategias de aprendizaje, cómo rescatar los aspectos teóricos de manera que los estudiantes los reciban con interés y no con tedio –como afirmaciones sin significado. Para ello, debemos mantener como referentes los modelos teóricos de las disciplinas científicas, que dan cuenta del funcionamiento del mundo.

El principal reto de la “ciencia del profesor de Ciencias” es diseñar una ciencia escolar que permita desarrollar en clase una actividad científica que, sin dejar de centrarse en las características del conocimiento científico, lo presente vinculado a preguntas, capacidades y finalidades que tengan sentido en la etapa educativa en la cual se desarrollan, que lo transforma radicalmente. Si bien esta actividad de diseño se inspira y fundamenta en la transposición didáctica (Chevallard, 1991), el resultado será más radical (y laborioso) cuanto más elemental sea el nivel educativo como el preescolar.

En efecto, la propuesta docente que finalmente se elabore, quizás se aleje mucho de la enseñanza habitual de las ciencias en otros niveles¹⁸ e incluso de lo que algunos investigadores entienden por “ciencia”.

Para establecer el escenario donde tomarán sentido estas nuevas maneras de ver y de actuar, se formulan tres preguntas:

- ¿Por qué es necesario generar actividad científica escolar, y qué se requiere para ello?
- ¿Qué aporta la educación en ciencias a la educación humana?
- ¿Cómo hacer para que todos tengan un lugar en la sociedad del conocimiento?

¹⁸ Como el caso de los niveles medio superior y superior.

Si se tiene como fondo un escenario –a partir de estos tres cuestionamientos–, intentaremos concretar algo más: ¿por qué y para qué?, al responder las preguntas cruciales para toda propuesta de enseñanza: **¿qué enseñar?** –los conocimientos que se seleccionan– y **¿cómo enseñar?** –que se refiere a la estrategia de aprendizaje que se desarrollará, y se aborda con más detalle en el apartado 3. Lo haremos así para hacer ver que las finalidades innovadoras quedan desmentidas por los contenidos de enseñanza tradicionales, y que lo más importante es conseguir que sean coherentes con el enfoque que orienta la práctica docente.

¿Por qué es necesario generar actividad científica escolar, y qué se requiere para ello?

La ciencia que se muestra en los libros de texto –llenos de definiciones y fórmulas– y en determinadas imágenes de sabios con bata blanca frente a instrumentos sofisticados, esconde los orígenes que comparte con todos los conocimientos humanos. Como todos ellos, surge de una actividad global cognitiva que requiere pensar, hacer y comunicar y que, como sucede con cualquier actividad humana, sólo se pone en marcha si hay preguntas, intereses, motivación que “tira” de ella y que la hacen “racional” y “educativa” (Guidoni, 1985). En el aprendizaje de las ciencias también se ha de producir conocimiento, escolar, emergente; por ello, es imprescindible generar actividad científica que responda las preguntas y los intereses genuinos de los estudiantes y a la sociedad –la escuela, la clase– en la que se presentan. Si sólo se enseñan palabras, difícilmente producirán conocimiento en el ámbito estudiantil.

¿Qué aporta la educación en ciencias a la educación humana?

Lo propio de la actividad humana es que se guía por valores y genera sentimientos. La actividad científica escolar va a generar vivencias que enriquecerán el

conocimiento escolar y, por lo tanto, emergerán valores que contribuirán a que los valores humanos elementales sean de vital importancia para realizar nuestras labores cotidianas (si bien un valor básico es que todas las personas puedan comer y cuidar su salud, las ciencias ayudan a conseguirlo).

¿Cómo hacer para que todas las personas tengan un lugar en la sociedad del conocimiento?

Es necesario formularse esta pregunta para no olvidar lo difícil que es diseñar una propuesta de “ciencia para todos”. Para ello se ha de identificar lo más crucial y humano de las ciencias, que justifique que se les considere aptas para educar (García, 1998) e incluirlo en los currículos de la enseñanza obligatoria. En ellos no debería fracasar ningún estudiante, ya que les facilitará su acceso a una sociedad en la cual el conocimiento es el bien máspreciado.

¿Cómo construir lo que hay que enseñar para que las finalidades educativas de las ciencias sean operativas?

La importancia de enseñar no sólo es conocer el contenido de un libro de texto, por bueno que éste sea, sino va más allá. Debe conectar con la actividad cognitiva de cada estudiante, con su desarrollo personal, y con los contenidos y la epistemología propia de la ciencia que enseñamos. No es nada sencillo situarnos en este espacio tridimensional al enseñar ciencias y hacer que tales dimensiones sean compatibles, pero es imprescindible hacerlo para que las ciencias contribuyan al desarrollo de competencias en los estudiantes.

Ahora, se intenta caracterizar los conocimientos escolares desde estas nuevas perspectivas y contrastarlos con la imagen tradicional que recibimos de las ciencias, que aún se percibe claramente en algunos currículos –muy similares al universitario– y en cuya imagen están ausentes los aspectos cognitivos y personales

–por lo cual tampoco tienen significado, para los alumnos de los niveles básicos, los conocimientos de ciencias.

La diferencia entre la “ciencia de las universidades” y la “ciencia escolar” ha preocupado, desde hace tiempo, a los profesores y didactas. Klafki (1958) fue quizás el primero en plantearse las preguntas que surgen de la constatación de que las finalidades específicas de la clase hacen que sea imprescindible diseñar los conocimientos “a la carta”. Algunas de estas preguntas respecto al análisis didáctico de los contenidos, se plantean de la siguiente manera:

- ¿Qué idea, principio general, fenómeno, ley, problema o método es un ejemplo para lo que voy a enseñar?
- ¿Qué puede significar para los estudiantes? ¿Qué significado pedagógico tendrá?
- ¿Qué aporta para el futuro de mis estudiantes?
- ¿Cómo se estructura de manera didáctica?
- ¿Qué hechos, situaciones, fenómenos, experimentos, controversias, intuiciones, entre otros, son apropiados para inducir al alumnado a plantearse las preguntas dirigidas a la esencia del conocimiento que voy a enseñarles?
- ¿Qué imágenes, indicaciones, relatos, modelos, etcétera, son apropiados para ayudarles a responder de manera autónoma las preguntas dirigidas a los aspectos esenciales del tema?
- ¿Qué situaciones y tareas son apropiadas para ayudar a que mis estudiantes identifiquen la idea principal del tema mediante un ejemplo o un caso elemental, y luego aplicarlo de manera que les resulte útil?

En este sentido, White (1994) hizo nuevas aportaciones a la caracterización de las dimensiones de la ciencia escolar, las cuales denomina “dimensiones del contenido”, que pueden relacionarse con campos importantes de la investigación didáctica; es decir, con las aportaciones de la didáctica de las ciencias

(Izquierdo, 2005). Esta relación, junto con una propuesta tentativa de los elementos del qué enseñar, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de la ciencia escolar, aportaciones de la didáctica de las ciencias, y propuesta de elementos de diseño a considerar		
Dimensiones de los contenidos (White, 1994)	Aportaciones de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 2005)	Elementos “qué enseñar”
• Necesidad de aceptación social y de capacidad de “emocionar”. • Aportación al aprendizaje a lo largo de la vida.	• Valores educativos. • Motivación. • Importancia de la metacognición.	1. Finalidad educativa (desarrollar competencias, participar en la cultura, despertar vocaciones).
• Abstracción (tensión entre lo abstracto y lo concreto). • Modelos con poder explicativo. • Complejidad.	• Modelos teóricos escolares. • Búsqueda de coherencia entre la experiencia, la representación mental y el lenguaje.	2. Núcleos temáticos (relacionados con modelos teóricos de las disciplinas) que sean accesibles a los estudiantes.
• Demostrable, no arbitrario. • Formulable en lenguaje cotidiano.	• Fundamentación epistemológica de la Actividad científica escolar (realismo no ingenuo, racionalidad moderada). • Discurso/argumentación en clase.	3. Progresión de los conocimientos de manera fundamentada (modelización). Emergencia del lenguaje específico.
• Obertura a la experiencia común. • Interacción entre diferentes conocimientos.	• Ideas previas de los estudiantes. • Dimensiones del sistema cognitivo (inteligencias múltiples).	4. Criterios para conectar conocimientos.

La tercera columna de esta tabla proporciona una guía para diseñar actividades docentes que concreten las finalidades educativas de las ciencias. Los tres primeros puntos definen el espacio tridimensional (eje epistemológico o del contenido, eje cognitivo, eje personal) en el que se adquiere “conocimiento competen-

te"; el cuarto punto proporciona una evidencia de que se ha obtenido el resultado esperado. Tal como señala Izquierdo (2005:119):

Con seriedad y rigor, los temas deberían ordenarse alrededor de los modelos básicos e irreductibles (Izquierdo, 1994; Izquierdo, Solsona y Cabello, 1994) que permiten interpretar conjuntos de fenómenos que son relevantes para la formación de todas las personas, los cuales se han de identificar, seleccionar y reelaborar (Black, 1986). Y tal como se desprende de González (2001), estos modelos básicos no son ni los más modernos ni los más antiguos; son los que agrupan las ideas que fundamentan los conocimientos derivados de una determinada intencionalidad educativa que incluye enseñar a razonar a la manera de las ciencias físicas y naturales.

¿Cómo hacer funcionar este esquema de trabajo?

En la tabla 1 se muestra el esquema general que debemos seguir al diseñar una actividad científica escolar, que se profundizará en la sección 3.1, y contempla los siguientes aspectos:

- a) Su *finalidad*: ser educativa. Los estudiantes deben comprenderla y compartirla porque le da sentido y hace que su actividad escolar sea racional. La "finalidad" ha de "tirar" de los estudiantes y probablemente va a ser muy diferente de la que habitualmente se atribuye a cualquiera de los temas. Si se enseñan las interacciones entre ácidos y bases, por ejemplo, concretar su finalidad significa proponer "algo que hacer" en relación con un problema que afecte a los niños y que al mismo tiempo entiendan, de manera que su solución les aporte recursos para su vida personal y social, de ahora en adelante.
- b) Los *núcleos temáticos* permitirán acceder a las ideas básicas de las ciencias, a partir de las cuales la actividad cotidiana se hace racional. Deberán conectar con

las ideas básicas de las disciplinas –los “modelos teóricos”: el de ser vivo, cambio químico, interacción física, por ejemplo– que son indispensables y con las capacidades de los estudiantes, en función de las finalidades que se hayan establecido.

- c) Los conocimientos se desarrollarán mediante “estrategias de progresión” que permitan que los fenómenos den lugar a “episodios” en los que se pueda intervenir y al mismo tiempo razonar, estableciendo relaciones a la vez entre estudiantes y profesores; es decir, la ciencia escolar debe socializar a partir de las narraciones, la argumentación y el discurso.
- d) El aprendizaje culmina si se adquieren criterios para continuar aprendiendo y autoevaluar la coherencia de los conocimientos obtenidos –la conexión entre los diferentes temas/conocimientos; es decir, entre un tema y los conocimientos previos, y a la vez con los conocimientos posteriores.

La enseñanza de la química se toma como ejemplo, ya que se refiere a fenómenos interesantes de la vida cotidiana, además de que proporciona los fundamentos para comprender el funcionamiento de los organismos y los ciclos de materia y energía en la naturaleza, pero se presenta de manera abstracta mediante las fórmulas en los libros de texto. La distancia entre los cambios químicos y su interpretación es grande y probablemente es la causa de que esta disciplina haya desaparecido casi por completo de las aulas de preescolar y primaria. Lo cual es grave, ya que cuestiona declaraciones genéricas respecto a la enseñanza de las ciencias como conocimiento básico para los alumnos.

Como se ha mencionado, programar esta enseñanza no es sencillo, porque debe cumplir los requisitos de la ciencia escolar, pero tampoco es imposible. Tomemos como ejemplo la enseñanza de las interacciones entre los ácidos y las bases. En primer lugar, debemos plantearnos la finalidad que perseguimos, y determinar cuál será el contexto que va a proporcionar problemas y ocasiones de intervenir: la cocina, los organismos y el medio ambiente, entre otros, y preguntarnos, ¿qué aporta de nuevo el estudio de los ácidos a la experiencia de los estudiantes y

a los contenidos de química que ya conocen? ¿Cuál es la característica principal de los cambios entre ácidos y bases que los estudiantes deben conocer para comprender mejor los fenómenos que estudian? ¿Qué aspectos del fenómeno seleccionamos, que sean relevantes y adecuados para ser razonados tomando en cuenta los conocimientos y las capacidades de los estudiantes?

Para responder estas preguntas se selecciona lo más esencial, lo más claro, la idea que relacione mejor los fenómenos que parecen diferentes, pero no lo son: la leche se “corta” al añadir vinagre, el jabón limpia, el bicarbonato reacciona con jugo de limón, los cambios de color del jugo de la col morada; los efectos de: la lluvia ácida, la “disolución” del carbonato de calcio, el reconocimiento de las calizas mediante ácido clorhídrico, la función del jugo gástrico y de los antiácidos, la composición del refresco Coca-Cola y de los caramelos ácidos. En todos estos casos hay agua, intervienen indicadores, se producen interacciones en proporciones de masa (o de volúmenes de disolución) fijas, y las sustancias iniciales y finales son diferentes, pues muchas son cristalinas.

Con ello se “aprende” a ver el mundo desde la perspectiva del Modelo de cambio químico, gracias a la cual se identifica la interacción entre materiales, especial y presente en nuestra vida cotidiana, que hace que éstos cambien radicalmente.

De cualquiera de los fenómenos citados se derivan situaciones en las que hay algo que hacer, qué medir, qué narrar, qué discutir y donde se obtengan nuevas sustancias. En todos se observará *la importancia del agua* y los estudiantes aprenderán a *guiarse por indicios* (en este caso, los *indicadores*) para “ver lo que es invisible” –las sustancias disueltas en el agua y los cambios/interacciones que se producen–, luego se interpretarán “las acciones” que se deben llevar a cabo; por ejemplo, las proporciones de masa.

Cada una de estas situaciones implica tomar decisiones e información útil para atar cabos, y con ello ir configurando un sistema científico coherente y eficaz para comprender nuestra interacción con el entorno.

Finalmente, se debe considerar una perspectiva de continuidad, para que lo aprendido se relacione con otros temas, se identifiquen "cajas negras" que se abrirán en otro momento y se contrasten los conceptos de ácido y base con otros propios del lenguaje común.

Por lo tanto, la respuesta a las preguntas iniciales, por qué y para qué enseñar ciencias, puede deducirse de lo que se expone. Destacamos su aportación a las actuaciones "competentes" frente a problemas de la vida cotidiana gracias al desarrollo de las capacidades cognitivas de los estudiantes; el gozo que puede proporcionar el intervenir en los fenómenos al comprender lo que se hace; el valor de disfrutar de uno de los mayores logros de nuestra cultura; los recientes lenguajes y las nuevas miradas que proporciona, sin menoscabo de la capacidad de decidir cómo usar, en el futuro, los conocimientos.

Hicimos hincapié en un aspecto que algunas veces se olvida: nada de lo anterior se logra si no se aprenden, realmente, las ciencias; como ejemplo, una ciencia poco presente en la enseñanza básica. Para ello debemos cambiar la manera de mirar el mundo, incorporando la perspectiva disciplinaria para enriquecer el sentido común. Si la ciencia escolar no se entiende, ninguno de sus valores se alcanza y su enseñanza es inútil. Por ello, es necesario plantearnos, con sinceridad, la relación entre los fines y los medios que se proporcionarán para que la enseñanza de las ciencias funcione; lo cual es posible si se dedica tiempo a planificarla de manera creativa e innovadora.



2. ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias?

Ángel D. López y Mota

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL, MÉXICO

Neus Sanmartí Puig

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS MATEMÁTICAS Y DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES,
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA, ESPAÑA

En este apartado se presenta un breve repaso acerca de distintos enfoques de la enseñanza de las ciencias y sus respectivos sustentos –epistemológicos, cognitivos y pedagógicos–, con el fin de comprender que la “educación en ciencias” se inicia cuando se identifica que, para conocer, los sujetos interpretan a partir de la experiencia y desarrollan formas –estructurales o conceptuales– para “incorporar” la realidad externa a su pensamiento. Así, las representaciones sobre fenómenos o conceptos estudiados por la ciencia pueden modificarse mediante diversas versiones del cambio conceptual, o a través de la modelización del mundo natural en condiciones escolares.

Asimismo, se desglosa la orientación de la enseñanza basada en competencias, las cuales permiten concretar postulados filosóficos, sociales y políticos de para qué aprender ciencias: incidir en la capacidad de plantear preguntas y de argumentar con base en pruebas, y alentar la aplicación del conocimiento y el desarrollo de actitudes en relación con el accionar científico-escolar de los sujetos, en un contexto social específico.

2.1 Razones del cambio para enseñar y aprender ciencias

Las razones del cambio en la orientación de la enseñanza se exponen, a partir de ejemplos, con base en la modificación de fundamentos científico-disciplinarios; metodológico-experimentales; histórico-filosóficos, y cognitivos. Este cambio se dio históricamente cuando la enseñanza de las ciencias se democratizó, dirigiéndose a todos los alumnos de hasta 14 años de edad y el campo centró la atención en el sujeto que aprende, ya que surgió el problema de cómo conseguir que este saber lo aprendieran estudiantes no necesariamente dotados intelectualmente ni motivados a su estudio. Esta aproximación implicó ir más allá de centrarse sólo en el análisis de los contenidos disciplinarios o del quehacer del profesor, que es quien enseña.¹⁹

Enseñar y aprender ciencias naturales en la educación básica a nivel mundial, no siempre ha presentado el mismo énfasis ni los mismos sustentos; sin embargo, es probable que aquellos profesores en México con un mayor número de años en el servicio magisterial hayan podido constatar prácticamente todos los cambios de enfoque en la enseñanza de las ciencias naturales, sobre todo los que se formaron en las escuelas normales cuando todavía no se consideraban instituciones de educación superior –sucedió hasta 1974–, y cuando unos años más tarde se vislumbraría la conformación del campo de investigación de la “educación en ciencia” o “didáctica de las ciencias”, porque las primeras tesis doctorales y los primeros

¹⁹ Como lo indican Méheut y Psillos (2004), el reto consiste en la pertinente integración de los tres elementos de la triada pedagógica.



artículos en revistas especializadas, relacionados con este campo, aparecieron justamente en esa década.²⁰

Estos cambios incluyen el acento puesto en los contenidos científicos, en la metodología de carácter experimental, en la historia y naturaleza de la ciencia, así como en el agente que aprende: el alumno, además del despunte de un planteamiento didáctico basado en la representación social de fenómenos y conceptos científicos. De esta manera, el repaso por los tres principales elementos que intervienen en la llamada triada pedagógica –contenidos/profesor/alumnos– ha sido completo: los contenidos de enseñanza –representados por los conocimientos disciplinarios presentes en programas de estudio y libros de texto–; el profesor –al dar prioridad a la metodología utilizada en el aula–, quien tenía que hacer atractiva e interesante la enseñanza y lograr que los alumnos se comportaran como pequeños científicos; los contenidos científicos volvieron a estar presentes, con la influencia de la historia y filosofía de la ciencia; es decir, resaltando la naturaleza relativa de los llamados “descubrimientos” científicos y, la centralidad del actor que aprende, cuya mente no es una tabla rasa en la cual pueden “inscribirse” los conocimientos, sino que participa activamente en la construcción de ellos.

A continuación se describen las principales orientaciones pedagógicas de tales énfasis,²¹ así como las posiciones epistemológicas y psicológicas que las sustentan. No debiéramos ver tales orientaciones y posiciones como meras “modas”

²⁰ Algunos textos son: la tesis de Rosalind Pope Driver (1973), *Representation of Conceptual Frameworks in Young Adolescent Science Students*, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA; uno de los primeros trabajos de Driver, donde se distancia de J. Piaget: R. Driver (1978), “When is a Stage Not a Stage? A Critique of Piaget’s Theory of Cognitive Development and its Application to Science Education”, en *Educational Research*, 21 (1), 54-61, y la publicación de trabajo pionero en el campo de L. Viennot (1979), “Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics”, en *European Journal of Science Education*, 1 (2), 205-221.

²¹ Los ejemplos de orientaciones pedagógicas que utilizan materiales educativos –libros de texto, guías para los profesores y otros– tienen el propósito de mostrar al profesorado que no son abstracciones de quienes estudiamos el campo, sino que han tenido expresiones concretas en el pasado. Lo importante es que los ejemplos se utilizan para indicar el desarrollo de las orientaciones y comprender cómo se ha llegado hasta la “modelización” –véase más adelante en este mismo apartado–, que es la orientación que nos interesa mostrar en este texto.

educativas sino como soluciones provisionales que se van dando de acuerdo con el avance del campo de investigación de la “educación en ciencias” o “didáctica de las ciencias” –quien las integra– y cuyos avances se intenta bosquejar en este documento.

Los aspectos epistemológicos y psicológicos presentes en la educación en ciencias o didáctica de las ciencias, lo han estado de manera implícita –la mayor parte del tiempo– y, recientemente, de manera explícita. En la época en que la enseñanza de la ciencia estaba totalmente influenciada por las disciplinas que son objeto de estudio en la educación básica –física, química, biología–, lo que importaba era el contenido científico, su rigor en los conceptos, leyes, teorías, y su formulación matemática; es decir, en los productos acabados de la ciencia, por encima de cualquier otra consideración. Por otro lado, los alumnos debían ser capaces de aprender, poniendo atención al profesor en clase, leyendo cuidadosamente el libro de texto y resolviendo los ejercicios de problemas. Así, los sustentos epistemológicos y psicológicos de tal orientación pedagógica se encontraban en fundamentos –muchas veces– de carácter implícito, ya que no se cuestionaba el cariz empírico-positivista de la formulación de la ciencia en esos términos –matemático/conceptual– ni tampoco el énfasis asociativo-conductista: el sujeto aprende por medio de los sentidos, por lo que debe fijar la atención y su mente es una tabla rasa que puede recibir cualquier estímulo sensorial que queda en su mente.

Un ejemplo de los contenidos científicos en un libro de texto de secundaria (González y de la Torre, 1971), con cierta popularidad en 1970, presentó un índice integrado por los temas fundamentales de la física:

Unidad 1	La física y sus correlaciones	pp. 3-10
Unidad 2	Energía mecánica (sólidos, líquidos y gases) 4. Magnitudes fundamentales y unidades 12. Sistemas de fuerzas (1) 16. Trabajo mecánico y potencia 25. Gravitación universal	pp. 12-106

Unidad 3	Energía calorífica	pp. 108-140
Unidad 4	Movimiento vibratorio y energía acústica	pp. 142-161
Unidad 5	Energía luminosa	pp. 163-189
Unidad 6	Energía eléctrica	pp. 191-213
Unidad 7	Energía radiante y energía atómica	pp. 215-250

El tratamiento del contenido es como se describió: el concepto científico –trabajo mecánico– se enuncia en función de una ecuación y se incorpora al texto; además de que al final de la lección se propone una serie de problemas para su resolución, como se aprecia en el libro de González y de la Torre (1971:52 y 57):

Desplazándose la pesa hasta B recorre la altura h o distancia AB que nombraremos d [se refiere a una silueta humana con unas pesas unidas por una barra a la altura de la cintura en posición horizontal, las que serían elevadas a la altura del pecho];²² entonces se define el trabajo T de la Fuerza F como el producto de F y d . Es decir $T = F d$. Un ejemplo de problema a resolver en este tema es:

1. Un hombre que pesa 60 kgf sube del primero al segundo piso una altura de 5 m. Calcula el trabajo efectuado.

En lo que respecta al sustento psicológico, una obra de la época (Medina, 1969: 19-20) revela claramente su énfasis marcadamente asociativo-conductista:

²² A partir de esta descripción entre “corchetes” y los demás similares en este apartado, se entenderá como añadido por los autores.

En el prólogo de este libro se trató sobre el grave inconveniente de un experimento o una construcción [de un dispositivo] cuando fracasa y es adecuado, ya que estamos hablando del aprendizaje, apuntar que los resultados positivos que se obtengan vigorizarán el aprendizaje, en tanto que los fracasos serán negativos para éste y pueden dar origen a apreciaciones equivocadas.

En los ejemplos anteriores hemos querido ilustrar dos de las leyes del aprendizaje de Thorndike (ley de la disposición y ley del efecto).

El valor de la repetición estriba en que da oportunidad para que actúen las causas del aprendizaje. Bien llevada la repetición, permite que en el aprendizaje existan diferenciaciones, asimilaciones, graduaciones y lo más difícil: las redefiniciones.

La posición empírico-positivista acerca de la ciencia también permeó las recomendaciones de la autoridad educativa a los docentes, para llevar a cabo la práctica de la enseñanza en las aulas. Es el caso del *Manual del Maestro* (SEP, 1969:3), con un enfoque de *aprender haciendo*, que presenta cuatro actividades esenciales:

La primera es la lección teórica, seguida de informaciones y explicaciones complementarias[...] La segunda, la comprobación mediante la observación directa de la realidad[...] La tercera, la reflexión como práctica invariable que relacione las nociones teóricas con los hechos reales[...] La cuarta, la actividad práctica que constituye la aplicación del conocimiento.

Pero ha habido otras concreciones pedagógicas influenciadas por aspectos epistemológicos y psicológicos diferentes a los anteriores. En este caso, el contenido no fue el centro de atención de los docentes sino la metodología de enseñanza utilizada en las aulas; es decir, no varió la fundamentación empírico-positivista de

la naturaleza de la ciencia promovida en el currículo, lo que cambió fue el tenor adoptado para enseñar: hacerlo como proceden los científicos; esto es, con el uso del *método científico* de origen empírico-positivo.

La metodología de la enseñanza estuvo marcada por supuestos epistemológicos que establecían la supremacía de la posición empírico-positivista, los cuales se filtraron a la enseñanza con énfasis en la observación y el registro de eventos, la formulación de hipótesis y su contraste con los datos recabados, así como en las inferencias o deducciones que se realizaban para establecer resultados; todo ello, posiblemente con la intención de hacer de la enseñanza de la ciencia una actividad interesante y que cautivara la atención de los estudiantes, en vez de sólo escuchar las explicaciones del profesor o memorizar las definiciones del libro de texto y resolver problemas totalmente fuera del contexto donde suceden los fenómenos, como lo fue el caso anterior.

Así, tal orientación pedagógica marcó los lineamientos establecidos en el *Libro para el Maestro* (SEP, 1982:128) para situar las acciones docentes:

Los contenidos y actividades propuestas se han seleccionado y diseñado respectivamente para desarrollar de manera sistemática en el niño las siguientes habilidades: observar objetos, seres y fenómenos[...]; elaborar registros sistemáticos de sus observaciones[...]; formular explicaciones provisionales (hipótesis)[...]; comprobar experimentalmente la validez de las explicaciones[...]; enunciar en forma oral o escrita las conclusiones.

Acorde con estas recomendaciones de la época, en un libro de texto de secundaria (Castellanos, 1977:9), el llamado método científico también fue objeto de enseñanza, lo cual se manifiesta como sigue:

Al investigar, el método científico va siguiendo ciertos pasos que, en total, constituyen lo que conocemos como *método científico*[...] Los pasos generalmente seguidos son: se observan los hechos; se plantea un problema en relación con lo observado; se acumulan datos sobre el asunto[...]; se define qué parte del problema se pretende resolver y se intenta una posible respuesta o explicación (hipótesis); se procede a poner a prueba la hipótesis, *experimentando, repitiendo* el hecho observado; si los experimentos nos permiten comprobar la hipótesis, con los conocimientos obtenidos se formula una *teoría*, la cual, si se generaliza para todos los casos, se eleva a la categoría de *ley científica*.

En el ámbito psicológico, esta orientación pedagógica de hacer del método científico el método de enseñanza, es decir, actuar como los científicos, se basa, probablemente, en la importancia que se da a la demostración experimental de leyes y teorías en el aula o laboratorio, ya que la intención es comprobar que se cumplan las predicciones inherentes a ellas. Dicha posición psicológica también se sustenta en el llamado *aprendizaje por descubrimiento*,²³ que promueve una participación activa del estudiante, su motivación, autonomía, responsabilidad e independencia, la resolución de problemas, mediante un aprendizaje ajustado a la experiencia; con lo que se espera que el conocimiento, descubierto por él mismo –por oposición a un modelo de transmisión de ese aprendizaje, como en el modelo anterior– se incorpore satisfactoriamente.

En correspondencia con este enfoque, el encuadre pedagógico realizado en el *Libro para el Maestro* (1982:128), se ejemplifica así:

²³ Véase el trabajo de J. S. Bruner (1967), *On Knowing: Essays for the Left Hand*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, el cual inspiró diversos desarrollos curriculares.

Con el estudio de las ciencias naturales se pretende la formación de una actitud científica en el niño que le permita entender la ciencia como... una búsqueda lógica y sistemática que, fundamentada en conocimientos logrados anteriormente y en procedimientos de investigación científicos[...] De ahí que a los niños[...] se les enseñe a descubrir [por sí mismos] algunos de los conocimientos que estas disciplinas han alcanzado, no sólo con el propósito de que obtengan este tipo de información, sino también de que aprendan a manejar los procedimientos de la investigación científica.

El libro de *Ciencias Naturales* de quinto grado (SEP, 1977:7) ya presentaba esta visión desde su primer capítulo "Cómo resolvemos problemas":

El primer paso para resolver un problema es **definirlo**, es decir, saber qué se quiere y para qué se quiere. Después, hay que averiguar todo lo que se pueda sobre él, esto es, obtener información[...] La información se puede obtener de varias maneras: **observando, consultando y experimentando**.

El tercer caso de orientación pedagógica acerca de la enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica –ya que la influencia de la historia de la ciencia sobre aspectos didácticos en nuestro país no ha sido realmente relevante– es aquél que pone el énfasis ya no en los contenidos, ni en el profesor por medio de los métodos, sino en el sujeto que aprende: el alumno, quien de ser considerado una tabla rasa sobre la cual se puede "escribir" el aprendizaje, dirían unos, o conocimientos, dirían otros, mediante una explicación clara, en la primera orientación pedagógica, o por medio de una metodología de enseñanza que propicie en el alumno una actividad experimental que implique la resolución de problemas y realice descubrimientos por sí mismo; en la segunda orientación didáctica se pasa,

recientemente, a priorizar la atención sobre la actividad “constructora” del estudiante. Se considera que el alumno, previamente a la escolarización y fuera de la escuela en el ambiente cotidiano, construye su propio conocimiento.

En su origen, el constructivismo es una posición epistemológica²⁴ respecto al conocimiento y de la cual se han derivado elaboraciones psicológicas y orientaciones didácticas para la enseñanza, ya planteadas como un campo de investigación propio en el apartado 1. La epistemología constructivista –por oposición al racionalismo clásico que privilegia la razón; es decir, el sujeto que conoce, y al positivismo que centra su atención en el objeto conocido y que es exterior al sujeto– propone igual importancia para el conocimiento respecto del sujeto que conoce y del objeto a ser conocido. El pionero en esta aproximación epistemológica es Jean Piaget; sin embargo, su planteamiento explicativo de la actividad cognoscente del sujeto es de carácter estructuralista, y no “conceptualista” como el de Rosalind Driver.²⁵

El parteaguas epistemológico y psicológico-genético que propone Piaget y sus investigaciones para conocer el pensamiento de los estudiantes, dieron como resultado la determinación de un fenómeno que se estableció como piedra fundamental del campo de investigación de la “educación en ciencias naturales”, esto es: las ideas previas, concepciones alternativas, entre otras denominaciones (Gilbert y Watts, 1983).

Algunos ejemplos de esta orientación pedagógica se encuentran en el *Libro para el Maestro* de sexto grado (SEP, 2000), la *Guía de estudio* (SEP, 2001a) y en el libro de *Lecturas* (SEP, 2001b), conformadas para preparar las evaluaciones de los cursos nacionales del Programa Nacional para la Actualización Permanente de los Maestros de Educación Básica en Servicio (Pronap); textos diseñados para apoyar la enseñanza de las ciencias naturales.

²⁴ Véase a P. Ernest (1995), quien expone diversos niveles y concepciones del constructivismo.

²⁵ Véase nota 7 de pie de página.

En el caso del libro para el docente, en “Retos y orientaciones para la enseñanza”, hay una referencia muy clara a las ideas previas de los alumnos y un punto de arranque del aprendizaje:

A los puntos de vista, ideas o explicaciones que los alumnos van construyendo mediante la interacción con su medio social y natural se les conoce como concepciones, preconceptos, representaciones o ideas previas. Éstas responden a una manera particular que tienen los niños de conocer los fenómenos y procesos naturales que observan[...] El contenido y las actividades del libro de texto están diseñados con la finalidad de que los alumnos puedan partir de lo que conocen²⁶ para hacer interpretaciones alternativas (SEP, 2000:39).

Asimismo, la consideración de las ideas previas de los estudiantes en el salón de clases tiene como propósito que intercambien conceptos y opiniones:

Lo interesante[...] es alentar a los alumnos para que expongan sus ideas y sus puntos de vista para explicar los resultados. También es importante que los argumenten (SEP, 2000:42).

En la lección 9 de la *Guía de estudio* (2001:41), donde están las orientaciones pedagógicas que el docente debe tener en cuenta para la enseñanza, se le advierte:

Aunque estas ideas [previas] pueden ser erróneas [respecto de las de la ciencia] o imprecisas, es importante conocerlas, pues constituyen

²⁶ Hay que tener en cuenta que “conocer” no quiere decir saber de memoria, sino explicar espontáneamente lo que piensa acerca del fenómeno en cuestión y sus causas.

el punto de partida para orientar a los alumnos en su propio proceso de elaboración y facilitar que asimilen nociones que corresponden al saber científico.

Es sintomático también que, ya para inicios de este siglo, se incluya en el libro de *Lecturas*, un texto en español de Rosalind Driver y otros autores: “Las ideas de los niños y el aprendizaje de las ciencias” (SEP, 2001b:55).²⁷

Como se observa claramente en los ejemplos anteriores, el papel del alumno se vuelve prioritario, al ser su manera de pensar, sus ideas previas, la materia prima que transforma la actividad docente.

Más adelante se expone que el hecho de poner en primer lugar la manera de pensar de los alumnos, no quiere decir olvidar los contenidos científicos ni las estrategias a seguir en la enseñanza, sino más bien que debe incluirse en la metodología o forma de enseñanza.

2.2 El pensamiento de los alumnos como punto de partida de la enseñanza

El recorrido realizado por las aportaciones de Binet y Simon sobre el “error” en el aprendizaje de los alumnos, y las de Piaget acerca de la búsqueda de las explicaciones de por qué los sujetos cometen “errores” cuando aprenden, nos permite entender la aparición de las “ideas previas”; las cuales manifiestan la manera real de pensar. Lo anterior lleva a transformar la manera de pensar de los estudiantes, utilizando alguna de las visiones sobre transformación conceptual –incluida la que considera múltiples representaciones– o la modelización –que aquí se asume–, y el acercamiento de sus ideas a las de la ciencia escolar.

²⁷ R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (1989), *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*, Madrid, Morata.



La posibilidad de tomar seriamente, como objeto de conocimiento, el pensamiento de los sujetos, recae probablemente en Piaget (1896-1980), gracias a sus estudios en relación con los sujetos que aprenden y respecto de los errores cometidos por ellos en *test* de inteligencia.

Alfred Binet publicó un instrumento (1905) que después se convirtió en el *test*²⁸ "Binet y Simon" (Binet y Simon, 1983), para predecir el desarrollo intelectual de niños y jóvenes de entre tres y 13 años de edad y prever lo que un sujeto sería capaz de realizar en términos de razonamiento lógico y otras conductas cognitivas. Los desvíos de la norma, esto es de lo que un sujeto normal debiera ser capaz de hacer a cierta edad, se justificaron inicialmente diciendo que los alumnos "retardados" eran los que podían resolver los ítems con un desfase de dos o tres años respecto de la edad biológica de los que sí podían hacerlo.

Sin embargo, Simon y Piaget, sobre todo este último, se interesaron en estudiar los errores de los sujetos y la causa de tal situación. De esta manera, el problema no consistía –a diferencia de Binet– en qué errores cometían los sujetos a los que se aplicaba el *test*, sino a qué podía deberse que presentaran precisamente esos "errores". He aquí un ejemplo de los ítems desarrollados inicialmente:

"Cinco pesos a ser colocados en orden"²⁹

Este *test* requiere una concentración directa de la atención sobre la apreciación del peso y de la memoria sobre el juicio realizado.

Procedimiento: cinco pequeñas cajas del mismo color y volumen son colocadas en grupo sobre la mesa. Pesan respectivamente 3, 6, 9, 12 y 15 gramos. Les son mostradas al sujeto, mientras se le dice:

²⁸ *Test* de inteligencia.

²⁹ Traducción de "Five Weights to be Placed in Order", en A. Binet, *New Methods for the Diagnosis of the Intellectual Level of Subnormals* [primera publicación *L'Année Psychologique*, 12, 191-244, 1905. Disponible en: <http://psychclassics.yorku.ca/Binet/binet1.htm>

“mira estas pequeñas cajas, no tienen el mismo peso; vas a ordenarlas de forma correcta. A la izquierda la menos ligera, ..., aquí la más ligera.”

Terminada la explicación, uno debe observar con atención la actitud del niño[...] La lectura de los pesos inscritos en cada uno, nos muestra los errores.

Así, Binet definió la inteligencia en términos de las conductas manifestadas por los sujetos frente a ciertos ítems o tareas, como en este ejemplo. Posteriormente Piaget delimitó la inteligencia como “un término genérico que designa las formas superiores de organización o de equilibrio de las estructuras cognitivas” (1979:17); es decir, lo hizo en términos estructuralistas.³⁰ Para él, la inteligencia tiene un carácter adaptativo, que se caracteriza “como un equilibrio entre las acciones del organismo sobre el medio [asimilación] y las acciones inversas [acomodación]” (1979a:17). De esta manera, en el plano psicológico, la *adaptación* es “como un equilibrio entre la asimilación y la acomodación, que es como decir un equilibrio de los intercambios entre el sujeto y los objetos” (1979a:18). Con estas ideas en mente, Piaget estudió diversos conceptos elaborados por la ciencia; por ejemplo, el de la conservación de la materia (1979a:140) o el de tiempo.³¹

Las investigaciones psicológicas de Piaget en las que utilizó el método genético, le sirvieron para apuntalar sus hipótesis epistemológicas. Así, como se observa en el ejemplo anterior, es tan importante el sujeto que conoce –y que aprende la realidad mediante estructuras cognitivas que le permiten la asimilación– como el objeto conocido –que mediante la acomodación, modifica las estructuras cognitivas del sujeto. De esta forma llega a principios epistemológicos constructivistas, en

³⁰ Más adelante se señala la diferencia que marcará la investigación sobre ideas previas, la cual se caracteriza por centrarse en los conceptos y fenómenos científicos, y sus conceptualizaciones o representaciones por parte de los sujetos que conocen.

³¹ Véase más sobre el tema en: J. Piaget (1980), *El desarrollo de la noción de tiempo en el niño*, México, FCE, 301 p.

los que el conocimiento es posible mediante el equilibrio permanente de dichas estructuras. En el ámbito epistemológico, Piaget utiliza, además del método genético, el histórico-crítico. Para este autor, la *epistemología* consiste en una primera aproximación "al estudio de la constitución de los conocimientos válidos" (1979b:15). En una segunda aproximación, como "el estudio del pasaje de los estados de menor conocimiento a los estados de conocimiento más avanzados" (1979b:16). El carácter constructivista de su propuesta epistemológica se manifiesta cuando aborda lo que llama el problema central de la epistemología: "En establecer si el conocimiento se reduce a un mero registro realizado por el sujeto, de datos, ya bien organizados en forma independiente de él, en un mundo exterior (físico o ideal), o si el sujeto interviene de una manera activa en el conocimiento y en la organización de los objetos" (1979b:16). Por supuesto que el autor argumenta en sus trabajos en favor de la participación activa del sujeto.

Sin embargo, la teoría de la inteligencia de Piaget enfrentó problemas al identificar en algunas investigaciones un desfase entre conductas cognitivas presentes en una temática científica pero no en otra u otras; cuando la similitud de estructuras construidas supondría la presentación de conductas similares. Para ello formuló los *décalages*.³² Está el caso del *décalage* horizontal que es una discordancia que tiene lugar entre dos desarrollos similares dentro de una sola etapa; por ejemplo, un niño que ya reconoce que la masa de un trozo de plastilina es idéntica aunque cambie su forma (noción de conservación de la masa), pero que no adquiere la noción de conservación del peso (que será en uno o dos años después).

De aquí la importancia del artículo de Rosalind Driver, en el que se distancia de Piaget³³ e inaugura un auge investigativo por describir las representaciones, ideas

³² Puede traducirse como "desfases".

³³ Se toma a Piaget como hilo conductor de la exposición, debido a la relación tan clara entre su intención de dar cuenta de por qué los niños y jóvenes piensan como lo hacen, y los inicios del campo con Rosalind Driver, quien se centra en la conceptualización de los sujetos, aunque ya no en bases estructuralistas; si bien, se requeriría abordar también a Vygotsky y Ausubel.

previas, ideas intuitivas y preconceptos que presentan los sujetos y que ha cubierto desde entonces la mayoría de las temáticas científicas en ciencias naturales,³⁴ cuyos resultados se publicaron en las revistas sobre ciencia más importantes.³⁵

La investigación acerca de ideas previas³⁶ para identificar la manera de pensar del estudiante, conocer su punto de partida y planificar su posible transformación hacia ideas más cercanas a las aceptadas por la ciencia regular, aporta numerosos ejemplos de cómo el pensamiento genuino de los estudiantes –no la memorización de conceptos, que da pie a los llamados conocimientos previos y supone que los profesores han revisado previamente alguna temática científica con los alumnos– difiere de los conceptos científicos (en la sección 3.1 se resalta la importancia de la consideración de las ideas previas en el diseño de estrategias de enseñanza con orientación constructivista). Enseguida algunos ejemplos de varias disciplinas científicas:

- El calor pasa desde un objeto caliente hacia uno frío cuando están en contacto.³⁷

Realizar una afirmación como ésta indica que para algunos estudiantes el calor es una sustancia y no un incremento o decremento de la energía cinética de las moléculas.

³⁴ Recopilación “ideas previas” de la literatura especializada, desde preescolares hasta universitarios, en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>, y *Bibliography STCSE (Students' and Teachers' Conceptions and Science Education)*, en <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>

³⁵ Por ejemplo: *Science Education, International Journal of Science Education* –que inició como *European Journal of Science Education–*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science and Education (Enseñanza de las Ciencias)*.

³⁶ “Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, bien porque esa interpretación es necesaria para la vida cotidiana o porque es requerida para mostrar cierta capacidad de comprensión que es solicitada a un sujeto por otro –como un profesor–, entre pares o por cierta circunstancia específica no cotidiana; por ejemplo, la solución de un problema práctico”, en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>

³⁷ G. Erickson (1979), “Children's Conceptions of Heat and Temperature”, en *Science Education*, 63(2), 221-230, en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>

- Las flores no son seres vivos, a pesar de que pueden crecer.³⁸

El hecho de que las plantas no puedan transportarse por sí mismas, conduce a pensar a algunos alumnos de primaria que no son seres vivos; a pesar de que ésta no sea una característica esencial y que la esgrimen posiblemente por tener como modelo de ser vivo al humano y a los animales.

- Una sustancia se crea durante la condensación, porque la sustancia se vuelve visible.³⁹

En este caso, algunos alumnos piensan que la materia se crea a partir de la nada; es decir, piensan que no existe –quizá porque no se ve– cuando hay evaporación y existe –porque tal vez se ve– cuando hay condensación.

Ahora bien, ¿qué consecuencias teóricas y prácticas podría tener el hecho de contar con información acerca de las conceptualizaciones que los estudiantes construyen respecto de los fenómenos naturales manifiestos en el universo?

En el planteamiento teórico, el punto de vista tradicional acerca del aprendizaje ha cambiado, ya que se ha dejado de lado la interpretación del mismo como un proceso de adquisición de “pedazos” de información científica y se ha adoptado una posición constructiva del conocimiento, y en el que hay una diferencia entre los conocimientos elaborados por el estudiante y el formulado por la ciencia, que se desarrolla en el currículo escolar de ciencias naturales en la educación básica. Por lo que, si existe un diferencial entre conceptualizaciones que provienen de las elaboraciones mentales estudiantiles– y los conceptos –provenientes de las

³⁸ R. Stavy y N. Wax (1989), “Children’s Conceptions of Plants as Living Things”, en *Human Development*, 32, 88-94, en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>

³⁹ Véase a O. Lee et al. (1993), “Changing Middle School Students’ Conceptions of Matter and Molecules”, en *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3), 249-270. Disponible en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>

construcciones científicas–, la idea natural en una primera instancia es postular que la transformación de las ideas previas de los estudiantes se realiza mediante el *cambio conceptual*.

En una revisión de las estrategias didácticas para promover el cambio conceptual⁴⁰ mediante la enseñanza; a principios de la década de 1990, Scott, Asoko y Driver (1991) señalan que ya se propusieron varios modelos del aprendizaje, visto como desarrollo o cambio conceptual; algunos derivados de literaturas epistemológicas –los autores señalan el trabajo de Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) –y otros provenientes de la psicología cognitiva –en este caso se refieren a Osborne y Wittrock (1983). Los primeros afirman que estos trabajos han tenido importantes implicaciones en la práctica docente y ciertas aproximaciones con la enseñanza, basadas en el reconocimiento de las ideas previas de los estudiantes, han sido investigadas, desarrolladas y probadas, e involucran diferentes estrategias pedagógicas y se fundamentan en diversos aspectos teóricos, como la naturaleza de las ideas previas.

Desde el punto de vista de la intervención pedagógica, ¿cómo promover el cambio conceptual de los estudiantes mediante la enseñanza? Todo depende de cómo se enfoque la naturaleza de las ideas previas, por lo que se han desarrollado diversas estrategias didácticas en esta dirección.

Scott, Asoko y Driver señalan que la determinación de actividades apropiadas para aprender ciencias plantea una pregunta crucial para investigadores y profesores en el campo de la enseñanza y de aprendizaje de estas ciencias: ¿sobre qué bases realiza el profesor decisiones respecto de la selección de actividades de aprendizaje y estrategias? Más aún, ¿qué guía puede proporcio-

⁴⁰ Otro texto para revisión, similar al de Scott, Asoko y Driver, puede consultarse en español: F. Flores (2002), “El cambio conceptual. Interpretaciones, transformaciones y perspectivas”, en *Educación Química*, vol. XIII, núm. 4; más recientemente, Pozo y Flores (coords.) (2007), *El cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*, Madrid, A. Machado Libros, 311 p.

nar el programa de investigación sobre las concepciones de los estudiantes y el cambio conceptual, en respuesta a este problema de carácter real y práctico? Según ellos, las decisiones pedagógicas que deben realizar profesores son de tres niveles: a) buscar ambientes de aprendizaje; por ejemplo, que provean oportunidades de discusión, consideren puntos de vista alternativos y su argumentación, que soporten el cambio conceptual; b) selección de estrategias de enseñanza, planes que guíen la secuenciación de la enseñanza dentro de un tópico particular; c) escoger tareas específicas de aprendizaje que encajen dentro del marco ofrecido por la estrategia seleccionada y atiendan las demandas científicas particulares del dominio en consideración.

En resumen, Scott, Asoko y Driver (1991) establecen cuatro factores para realizar decisiones relativas a estrategias de aprendizaje apropiadas:

- Concepciones previas de los estudiantes: consideraciones que deben darse respecto de cómo la literatura sobre ideas previas debe guiar la enseñanza.
- La naturaleza de los pretendidos resultados de aprendizaje: análisis de los resultados de aprendizaje, en términos científicos, para planear la enseñanza.
- Análisis de las demandas intelectuales implicadas en las tareas de aprendizaje, que buscan transformar las concepciones de los estudiantes, para modificar sus actuales concepciones por los resultados de aprendizaje pretendidos.
- Consideración de las posibles estrategias de enseñanza que pueden ser utilizadas para ayudar a los estudiantes a transitar desde sus puntos de vista hacia los establecidos por la ciencia en el currículo escolar.

En la revisión de las estrategias que hicieron estos autores, dos elementos ayudan a describir las contribuciones: a) las basadas en el conflicto cognitivo y la resolución de perspectivas conflictivas y, b) las que se basan en las ideas existentes de

los aprendices y extenderlas mediante el uso de la metáfora o la analogía hacia un nuevo dominio.⁴¹ Se incluyen dos ejemplos, uno de cada categoría.

Primero, un ejemplo de estrategia basado en el conflicto cognitivo y su resolución. Puede existir discrepancia entre lo que se piensa debe suceder y lo que realmente pasa en un determinado fenómeno, debido a las suposiciones implícitas que mantienen los sujetos, y una discrepancia entre diferentes ideas frente a un mismo fenómeno. Exploremos este último; Scott, Asoko y Driver ofrecen el siguiente ejemplo tomado de Cosgrove y Osborne (1985):

Ellos desarrollaron una aproximación a la enseñanza que requiere que los estudiantes explícitamente resuelvan diferencias entre ideas dentro de un rango de diferentes fuentes (las de otros estudiantes, la del profesor, la del libro de texto). Propusieron su modelo de aprendizaje generativo que está organizado en cuatro fases:

- Preliminar: el profesor necesita entender el punto de vista científico, el de los alumnos y el suyo propio.
- Focalización: oportunidades para que los estudiantes exploren el contexto del concepto, preferentemente dentro de una situación “real” de una situación cotidiana. Los alumnos se involucran en clarificar sus propias visiones.
- Desafío: los alumnos debaten los pros y los contras de sus perspectivas, uno con otro, y el profesor introduce la perspectiva científica (cuando sea necesario).
- Aplicación: oportunidades de aplicación de nuevas ideas en un cierto rango de contextos.

⁴¹ Perspectivas de transformación que desembocaron en la enseñanza por “modelización”.

Enfatizan que un punto de vista alternativo a la ciencia puede no ser recibido con mucho entusiasmo hasta que se muestre inteligible y posible mediante la experimentación, la demostración o por referencia a una analogía.

Segundo, un ejemplo fundado en una estrategia de enseñanza basada en el desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista científico de Stavy (1991):

Reporta un trabajo, el cual pretende usar el conocimiento perceptual-intuitivo de los estudiantes para comprender la conservación de la materia en la evaporación. Sugiere que el uso de la relación analógica entre lo conocido y lo desconocido puede ayudar a los estudiantes a aprender nueva información y descartar o modificar sus ideas previas. Reporta que los estudiantes de 5° y 6° –sistema educativo norteamericano– se dividieron en dos grupos. Uno completó una tarea que involucraba la evaporación de iodo, donde los vapores gaseosos son visibles al ser un gas coloreado, antes de intentar una tarea similar con acetona. El segundo usó acetona, seguida del iodo. Encontró que el desempeño en la actividad de la acetona fue significativamente superior cuando fue seguida de la actividad con iodo. Los alumnos intuitivamente entendieron, ya que la actividad basada en el iodo sirvió como ejemplo analógico para el caso de la incomprensión hacia la evaporación de la acetona ("la acetona... desapareció").

El hecho de haber presentado estos dos ejemplos de estrategias didácticas, basadas en la utilización o consideración de las ideas previas de los estudiantes, no quiere decir que no presenten problemas, ya que puede suceder que el conflicto no se presente o el sujeto simplemente lo niegue, o bien que el conflicto cause pérdida de confianza en el alumno y pueda regresar a juicios inapropiados, con lo

que no hay ninguna receta exacta para asegurar buenos resultados en un proceso de aprendizaje.

Así, con esto se establece la importancia de considerar la manera de pensar de los estudiantes, para plantear la transformación de sus concepciones mediante estrategias didácticas fundadas en el cambio conceptual.⁴² Pero éstas tienen, como vimos, algunos problemas, por lo que la visión de su transformación mediante procesos de “modelización” se presenta a continuación. De esta manera, la adopción de nuevos planteamientos didácticos basados en lo que se ha llamado “procesos de modelización” se fundamenta en las nuevas visiones epistemológicas de la ciencia (apartado 3), en contraposición con un programa de investigación de corte más psicológico,⁴³ aunque recoge muchos de los logros anteriores sobre la enseñanza de las ciencias. Específicamente, los nuevos planteamientos buscan integrar los conocimientos de epistemología, psicología y pedagogía a la didáctica de las ciencias de forma interrelacionada y coherente.

2.3 El aprendizaje visto como un proceso de modelización

La ciencia genera modelos teóricos para explicar los hechos o fenómenos a través de procesos de modelización. La modelización exige ajustar lo imaginado con lo observado por medio de representaciones que posibiliten compartirlas

⁴² Hasta aquí se ha seguido una línea de exposición ligada a una vertiente del constructivismo –que algunos pudieran denominar “constructivismo trivial” y centrada en el individuo– de Piaget; sin embargo, habría que reconocer que una vertiente cercana al constructivismo social –como el trabajo de Vygotski– no está presente explícitamente –por razones de espacio– en las secciones 2.1 y 2.2, pero sí implícitamente en la 2.3 y 2.4 (Ernest, 1995).

⁴³ Varias posiciones relativas al cambio conceptual son de origen psicológico, aunque no todas, pues también hay de origen epistemológico, como lo han hecho ver Scott, Asoko y Driver (1991), Flores, F. (2002), y Pozo y Flores (2007). Sin embargo, creemos que la modificación de las ideas previas mediante la “modelización” que se presenta en este texto, es más fructífera desde el punto de vista pedagógico, aun por sobre las “representaciones múltiples” que, si bien están ancladas en investigación de punta, para el profesorado pueden resultar nociones que compliquen aún más su labor.



y hablar de ellas, con los demás y con uno mismo; lo que implica procesos autorregulados, tanto metacognitivos como metaafectivos. Adoptar esta perspectiva permite modificar la visión docente sobre los “errores” de nuestros alumnos en el aprendizaje de la ciencia escolar. También permite revisar la visión sobre la evaluación como condición del aprendizaje.

A menudo se tiende a creer que el cambio conceptual se produce como consecuencia de un proceso racional, fruto de reconocer que las nuevas ideas son más coherentes y fructíferas que las anteriores. Pero, en general, los estudiantes (y los adultos) tienden a reafirmar sus ideas, encontrando todo tipo de justificaciones para validarlas. Por ejemplo, en cualquier parte del mundo los estudiantes creen que en verano el Sol está más cerca de la Tierra que en invierno, y cuando se intenta crear un “conflicto cognitivo”, a partir de enfrentarlos al hecho de que México y Argentina están a la misma distancia del Sol por estar en el mismo planeta y, en cambio, en un país es verano y en el otro invierno, tienden a buscar explicaciones alternas que no pongan en duda su idea inicial. Dicen: Argentina, “al estar abajo, está más lejos del Sol o los rayos no le llegan bien”. Esta concepción tan persistente seguramente tiene su origen en su larga experiencia de comprobar que cuando se acercan a un foco que emite energía en forma de calor aumenta su sensación de “calor” y, por lo tanto, creen que es imposible que en México estemos más lejos del Sol en verano que en invierno.

El cambio en este tipo de ideas no es fácil de asimilar. Una hipótesis de trabajo es que seguramente no tiene sentido promover el cambio de una idea específica, sino que el reto es ayudar a construir un buen modelo teórico del Sistema Solar, general y abstracto –en tres dimensiones–, en cuyo marco tenga sentido plantearse este tipo de problemas y otros.

La actividad científica (Adúriz e Izquierdo, 2009) se caracteriza por la interacción entre el *pensar* (alrededor de modelos teóricos, generales y abstractos), el *hacer* (experimentando o simulando para poner a prueba los modelos teóricos) y el

hablar (argumentando la coherencia entre los modelos y los hechos en reuniones, congresos y por medio de escritos). Las distintas interacciones tienen lugar en un determinado contexto socio-histórico-emocional que las condiciona, y posibilitan la evolución de los modelos teóricos iniciales (cómo se abstraen, la manera de mirar y ver hechos que explican, y del lenguaje utilizado para hablar de ellos). Cabe recordar que, tal como demuestra la historia de la ciencia, una nueva idea no se universaliza sólo por el hecho de ser más coherente con las pruebas que la confirman o de explicar más racionalmente algún hecho, sino que depende también de factores sociales, como son el prestigio de quien la emite, su capacidad de darla a conocer en el momento y lugar apropiado y, los intereses económicos que suscita, entre otros.

En consecuencia, es razonable la hipótesis de que la *actividad científica escolar* (sección 3.1) orientada al aprendizaje debería guardar un cierto grado de similitud con la actividad científica. Esta actividad tendría que promover que los alumnos piensen acerca de los modelos teóricos que generan para explicar los fenómenos, y los contrasten con los datos obtenidos a partir de la observación experimental o de la simulación –utilizando maquetas, modelos mecánicos, simulaciones por computadora u otros tipos de representaciones–, y con los argumentos que aportan los compañeros, el profesorado, lecturas, videos, con el objetivo de que dichos modelos sean cada vez más complejos y expliquen fenómenos distintos. Todo ello sin olvidar que en la construcción del conocimiento también es importante el prestigio del maestro, su retórica, las características personales de la compañera o el compañero que propone la idea o plantea la objeción, la capacidad de superar las emociones que genera el hecho de percibir que las ideas propias no son idóneas, entre otros aspectos.

Desde este punto de vista, no es de extrañar que a partir de la didáctica de las ciencias más que hablar de cambio conceptual, actualmente se hable de construcción de modelos y de modelización, como monográficos de *International Journal of Science Education* (2000) y de *Science & Education* (2007); Gilbert

y Boulter (2002); Izquierdo (2004); Pujol (2004); Justi (2006), entre muchos otros. Se considera que la construcción del conocimiento científico es consecuencia de realizar una actividad de modelización en donde las ideas, la experimentación y la discusión se entrecruzan para promover la autorregulación metacognitiva de las representaciones iniciales sobre los fenómenos y, por lo tanto, su evolución hacia modelos cada vez más complejos (Acher, Sanmartí y Arcá, 2007). A partir del estudio de situaciones transformadas a problemas para los alumnos, éstos expresan sus ideas y el profesorado les ayuda a ponerlas en juego, promoviendo la experimentación y la discusión sobre aspectos que a su juicio son relevantes en relación con el modelo o la teoría científica de referencia.

Es decir, se trata de integrar el constructivismo psicológico y el epistemológico (Méheut y Psillos, 2004) tomando en cuenta que el rol de profesor –su estrategia de enseñanza– es clave.

En esta línea, las ideas alternativas del alumnado se analizan no tanto desde el punto de vista de errores que hay que cambiar, sino de su potencialidad para comprender la lógica de los estudiantes y deducir posibles anclajes que posibiliten la evolución de sus modelos teóricos hacia otros más congruentes con los de la ciencia actual (Stavy, 1991; Merino y Sanmartí, 2007).

Por ejemplo, a partir de manipular materiales y observar los cambios, los alumnos generan ideas potentes para explicarlos y las relacionan con imaginar la materia formada por muchas “partes”, que están más o menos fuertemente unidas en función de que el material se pueda romper casi con facilidad, que están más o menos ordenadas según se formen cristales o no, y que algo de estas partes se conserva en los cambios. Esta red de ideas de partida es utilizada y puesta a prueba en la interpretación de nuevos hechos, situación que exigirá revisar los modelos iniciales, sus representaciones y la manera de hablar sobre ellos, en un proceso de modelización. Junto con estas ideas los alumnos expresan otras –confieren a las partículas propiedades macroscópicas, sustancializan o materializan las propiedades– que, a medida que avanza el proceso a lo largo de los años de escolarización,

los estudiantes dejan de manifestar, porque no son útiles para explicar los nuevos hechos observados.

La palabra *modelo* es polisémica, por lo que desde la ciencia y su didáctica se ha utilizado históricamente con distintos puntos de vista (Gallego, 2004; Adúriz e Izquierdo, 2009). Una definición de modelo es que lo concibe como un “cuadro conceptual explícito, estructurado por relaciones internas y ‘calculable’, construido en relación con una o más situaciones-problema para poder progresar en sus soluciones” (Joshua y Dupin, 1993:327). Conviene diferenciar entre el *modelo teórico* –cuadro conceptual estructurado relacionado con hechos– y su *modelo-representación*, aunque ambos puntos de vista están íntimamente relacionados, ya que un modelo teórico se conoce a partir de cómo se representa, sea un dibujo, una maqueta, un hecho ejemplar, una narración, una expresión matemática, etc. Se podría, por lo tanto, completar la afirmación de Gilbert y Boulter (2002), de esta manera: “el valor de los modelos [representaciones] radica en hacer visible los aspectos complejos o abstractos de aquello que se esté representando [modelos teóricos]”.*

Los modelos, como fuertes depositarios de analogías y metáforas, sirven para conocer algo de lo nuevo a partir de lo ya conocido, para unir dos realidades que eran extrañas. Pensar a través de modelos posibilita establecer relaciones entre “lo real” y “lo construido”, y desarrollar una visión multicausal a partir de considerar más de una variable al mismo tiempo, todo ello con la finalidad de predecir y explicar. Los modelos son las entidades principales del conocimiento científico escolar, siempre y cuando conecten con fenómenos y permitan pensar sobre ellos para poder actuar (Izquierdo *et al.*, 1999).

* Entre corchetes aparece lo que incorpora el autor.

La autorregulación metacognitiva y metaafectiva como condición para transformar la manera de pensar y hacer ciencia

Modelizar exige ajustar lo imaginado con lo observado por medio de representaciones que posibiliten compartirlas y hablar con los demás y con uno mismo. Cuando una persona con formación científica profesional propone una solución a un problema, a menudo pasa mucho tiempo intentando encontrar los posibles errores, incoherencias u objeciones de todo tipo y la forma de superarlos, y al mismo tiempo busca cómo comunicar las nuevas ideas y equilibrando las emociones positivas y negativas que se generan en el proceso.

De la misma forma, todo proceso de modelización en la escuela necesita constantemente llevar a cabo esta fase de regulación cognitiva y afectiva. Aprender no es el resultado de llenar la cabeza del alumnado de ideas correctas, sino de conseguir que evolucionen los modelos teóricos que construyen para explicar los fenómenos. Todos los estudiantes construyen ideas alternativas similares, pero unos consiguen hacerlas evolucionar y otros no. ¿Cuál es la explicación?

Una hipótesis de trabajo se relaciona con la capacidad de autorregularse metacognitivamente. Los alumnos que aprenden son capaces de identificar las incoherencias en los modelos que utiliza para explicar los fenómenos, de comprender las causas de dichas incoherencias y de tomar decisiones idóneas para revisarlas. Los maestros, los compañeros, la familia[...] pueden ayudar a realizar este proceso, pero quien lo lleva a cabo es la persona que aprende.

Desde la infancia cada estudiante construye su propio estilo de aprender y, en especial, las ciencias, generalmente a partir de cómo lo educan sus profesores y familiares. Algunos se refugian en la repetición de lo que encuentran en los libros de texto y prefieren que el enseñante les indique detalladamente lo que han de decir y hacer, y les ayude a detectar sus errores. Otros, en cambio, evalúan y regulan la coherencia y calidad de sus ideas de manera autónoma, a partir de contrastarlas con sus observaciones, con lo que dice el maestro o libro, y de hablar y discutir con sus compañeros.

Cada metodología para enseñar ciencias favorece en el alumnado el desarrollo de un determinado sistema de aprender, y será fundamental planificar dispositivos didácticos que ayuden a desarrollar sistemas de aprender *autónomos*. En el marco de las teorías constructivistas socioculturales del aprendizaje (derivadas del pensamiento de Vygotsky), el concepto de autorregulación es central, ya que se considera que es el propio alumno quien construye su conocimiento a partir de la interacción con otras personas.⁴⁴ Pero en este proceso los adultos y, en especial el profesorado, pueden favorecer o no el desarrollo de esta capacidad.

La integración del constructivismo psicológico y el epistemológico pasa por el diseño de procesos de enseñanza para que los alumnos aprendan a regularse de manera autónoma. Según Nunziatti (1990), es necesario que las actividades de enseñanza promuevan que los estudiantes:

Se representen adecuadamente las *metas y objetivos* (¿qué voy a aprender?, ¿por qué?, ¿para qué?, ¿me interesa?, ¿qué seré capaz de hacer si lo aprendo?...). La meta de muchos estudiantes es aprobar y no tanto aprender, por lo que generalmente realizan las tareas de acuerdo con lo que el maestro solicita, pero sin saber por qué se les pide que las realicen ni para qué les sirve ejecutarlas. En consecuencia, su aprendizaje es poco significativo y, lo más importante, su estrategia básica es copiar (libros o a los conocimientos de sus compañeros) y son incapaces de regular las dificultades a las que se enfrentan.

Anticipen y planifiquen la acción (¿cómo lo aprendo?, ¿en qué tengo que pensar para resolver este tipo de tareas?, ¿cómo lo tengo que hacer?, ¿qué resultados espero obtener?...). Generalmente, los profesores tendemos a evaluar-regular los resultados de una actividad y no

⁴⁴ Coll y otros (1992) coinciden en que la influencia educativa tiene como finalidad aumentar la autonomía del que aprende, a partir de traspasar el control y responsabilidad del proceso de aprendizaje del profesor al alumno.

tanto cómo se ha planificado. Por ejemplo, evaluamos los resultados de la solución de un problema, pero no en cómo lo resolvió el alumno. Sin embargo, sin una buena planificación es difícil realizar bien una tarea y autorregularse mientras se lleva a cabo. Las personas expertas en aprender se caracterizan por dedicar, comparativamente, mucho tiempo a la planificación y muy poco a la ejecución. Además, a partir de una buena planificación es más fácil identificar dónde están los errores o dificultades y sus causas y por ende encontrar la forma de superarlos. Ello conlleva que los resultados sean mejores, con lo que aumenta la autoestima y la motivación.

Se representen los *criterios de evaluación* (¿en qué fijarme para darme cuenta si lo estoy haciendo bien?, ¿puedo reconocer si es adecuado lo que creía que aprendería?...). Los criterios de evaluación suelen ser el secreto mejor guardado del profesorado, pero sin compartírselos es imposible que los estudiantes puedan autorregular sus ideas, actitudes, estrategias y comportamientos, y para autocorregir las producciones se necesita saber qué es lo que se ha de comprobar y por qué.

Sin embargo, no es suficiente autorregular qué y cómo se realizan las distintas actividades de aprendizaje y los saberes en general, que se van construyendo a partir de estas. Tal como señala Boekaerts (1999), también es necesario aprender a autorregular otros aspectos:

Las *emociones generadas* a lo largo del proceso de aprendizaje, tanto las muy positivas que a veces llevan a ser poco autocríticos con el trabajo realizado, como las muy negativas que bloquean la capacidad de regularse. Cada vez se va conociendo mejor el papel que juegan las emociones en cualquier aprendizaje, y no hay duda que muchos problemas de los estudiantes para aprender ciencias se explican más

por una mala autorregulación y control de las emociones que surgen mientras aprenden, que por dificultades de tipo cognitivo; es decir, por procesos de comprensión y razonamiento.

La autovaloración sobre la propia capacidad de aprender, que a menudo conlleva que muchos estudiantes renuncien a aprender ciencias por considerarlo algo fuera de sus posibilidades. El discurso mayoritario sobre el conocimiento científico lo asimila a algo difícil y sólo alcanzable por parte de un número reducido de estudiantes que tienen unas características muy especiales. Pero una sociedad democrática necesita de ciudadanos capaces de utilizar todo tipo de conocimiento para promover actuaciones responsables y para criticar las que no lo sean.

Las actitudes que orientan el aprendizaje, muchas veces fruto de reglas que se transmiten sin que nadie las haya explicitado y a partir de condicionamientos sociales o debidos a la edad. Por ejemplo, los adolescentes acostumbran a no preguntar por miedo al ridículo, y esta actitud condiciona su capacidad de interrogarse y desear saber. También hay tendencia a no demostrar iniciativa y, en cambio, a esperar que otros digan qué se ha de hacer y cómo, o a ser incapaz en mantener un esfuerzo a lo largo de un periodo de tiempo. Y también está bien visto copiar y dividirse el trabajo más que cooperar. La regulación de las actitudes pasa en primer lugar por promover la vivencia en el aula de otras más favorables al aprendizaje autónomo, tomando conciencia de las diferencias entre unas y otras, de sus ventajas e inconvenientes y de las razones que las explican, así como de posibles estrategias aplicables para el cambio.

Estas capacidades son resultado, en buena parte, de *pensar lo que se piensa y se hace conjuntamente* (con otras personas, maestros, compañeros o familiares).

Es decir, la autorregulación es un proceso individual, pero a menudo sólo se puede llevar a cabo gracias a la interacción con los demás, a partir de comparar ideas con las de los compañeros o con las que escuchamos cuando una persona adulta las explica oralmente, por escrito o a través de imágenes en video. Es por eso que las actividades que estimulan la evaluación mutua entre compañeros son tan importantes (Jorba y Sanmartí, 1996; Black *et al.*, 2003). Muchas veces esta interacción conlleva que sólo se incorporen nuevos datos e ideas sin cambiar las propias, o que éstas se adapten casi superficialmente. Si el número de entradas de tipo cognitivo distintas es alto y se dan otras condiciones, como cierto grado de confianza en la persona que interactúa con nosotros y de capacidad para gestionar la emoción que provoca aceptar que nuestro punto de vista no es el mejor, es posible reconocer el interés y sentido de las nuevas ideas. Esta aceptación aumenta cuando quien aprende comprende que el anterior punto de vista no es que sea “erróneo”, sino que sirve para explicar y actuar en relación con un determinado tipo de situaciones y no en las propias de la ciencia.

Necesidad de cambiar la visión del “error”

Cuando se planifican las actividades de enseñanza nunca se piensa en cómo conseguir que el alumnado corrija los errores que sin duda comete. Regularmente se piensa en qué y cómo “explicar” el tema, y en las lecturas, experimentos, problemas y todo tipo de actividades que se propondrán al alumnado para que aprenda, pero se tiene la idea implícita de que si éstas están bien planteadas y el alumno las realiza con dedicación (“se esfuerza”, “estudia”), no cometerá errores y no será necesario dedicar tiempo a revisarlos. El error se percibe como algo no deseable y a evitar desde el inicio, y se sanciona a los estudiantes que lo expresan. Pero ¿qué se entiende por error en el aprendizaje científico y qué se supone que comporta superarlo?, ¿por qué “el error es útil para aprender”? (Astolfi, 1999).

En los estudios sobre concepciones alternativas del alumnado –abordadas en las secciones 2.1 y 2.2– se empezó a nombrarlas como *misconceptions* o con-

cepciones erróneas y, por lo tanto, de ideas que era necesario borrar de la cabeza de los alumnos y sustituirlas por otras más acordes con las que actualmente la ciencia acepta. Sin embargo, pronto se percibió que eran ideas potentes y muchas útiles para la vida cotidiana. Por ejemplo, pensar que la sensación de frío se debe a que “nos entra” del exterior, funciona bien en el día a día y nos permite tomar decisiones adecuadas, a pesar de que sabemos que dicha sensación se debe a que transferimos energía desde nuestro cuerpo al medio, y que este conocimiento, acorde con el de la ciencia actual, es necesario y útil aplicarlo en el análisis y la toma de decisiones relacionadas con otro tipo de situaciones y en diferentes contextos.

El conocimiento cotidiano es automático y poco costoso, desde el punto de vista cognitivo. Se basa en reglas asociativas simples, intuitivas, de pensamiento causal... (Pozo y Gómez, 1998) y a menudo se aprende a partir del ensayo y del error. Por ejemplo, para aprender a caminar sobre las rocas de la playa sin hacernos daño no es necesario pensar en cómo disminuir la presión o la fuerza de rozamiento (Claxton, 1995).

En cambio, el conocimiento científico requiere de actividad metacognitiva por parte de quien lo aprende, que guíe la regulación del proceso de diferenciación entre las ideas cotidianas y las científicas (Oliva, 1999). Por lo tanto, es un aprendizaje costoso que necesita evaluar constantemente las explicaciones generadas, buscando una mejor coherencia entre las ideas expresadas y los hechos. Además, exige regular la manera de mirar estos hechos y la formulación de los modelos teóricos que los explican.

Aprender ciencia no tiene por qué traducirse en eliminar ideas de la mente y sí en reconocer en cada situación qué formulación es más útil para actuar con eficacia y eficiencia. Es decir, ideas alternativas e ideas científicas pueden relacionarse, siempre y cuando se activen en el contexto adecuado. Por lo tanto, se requiere conocerlas y saber diferenciarlas (un metaconocimiento), pero sin necesidad de dar a unas un valor superior que a las otras.

Revisar la visión sobre la evaluación como condición para aprender

La autorregulación es el resultado de un proceso de autoevaluación, por lo que para promover un aprendizaje significativo es necesario revisar la concepción y la práctica sobre qué, cuándo, cómo, por qué y para qué evaluar que tienen habitualmente docentes y estudiantes.

Los alumnos tienden a centrar su trabajo escolar en preparar sus exámenes, buscando el mejor sistema para reproducir las “buenas” respuestas que contiene el libro de texto o que ha dado el maestro en sus explicaciones. Pero difícilmente tendrán éxito si no consiguen comprender por qué no entienden, por lo que han de cambiar su idea de lo que implica aprender y evaluar.

La evaluación tiene dos finalidades fundamentales íntimamente interrelacionadas. Por una parte, tiene una función pedagógica relacionada con la regulación de las dificultades y obstáculos que una persona encuentra mientras aprende algo. Alumnos y profesores evalúan desde que se inicia el proceso de aprendizaje. Los estudiantes se representan qué es lo que se les propone saber, si les gustará, si vale la pena esforzarse. Y los enseñantes, si será costoso conseguir que lo aprendan, si les interesará o a qué será necesario dedicar más tiempo. Posteriormente, unos y otros evalúan si el proceso de aprendizaje se está realizando adecuadamente. Como se ha visto en el texto, el objetivo es que los propios alumnos sean capaces de “corregirse” y, por lo tanto, la evaluación que realiza el profesorado debería orientarse principalmente a ayudarles a autoevaluarse.

La otra finalidad de la evaluación tiene la función de acreditar los aprendizajes realizados. Sin cambiar cómo se lleva a cabo habitualmente esta función, difícilmente modificará algo en las clases de ciencias. En primer lugar, tienen que cambiar el tipo de actividades propuestas para acreditar o calificar aprendizajes; es decir, de ser mayoritariamente reproductivas de lo que ha dicho el maestro o está escrito en el libro de texto, deberían ser productivas; por ejemplo, actividades en las que el estudiante demuestre su capacidad de utilizar el conocimiento interio-

rizado a la interpretación, creación y actuación en situaciones o problemas nuevos y complejos. Y en el caso de exámenes que incluyen muchas y diversas preguntas descontextualizadas, tendrían que ser en lo posible actividades “auténticas”; es decir, en las que los alumnos demuestren actuando que saben utilizar el conocimiento aprendido.

No tiene sentido evaluar sólo con el objetivo de calificar cuando se sabe que los estudiantes fracasarán en una elevada proporción. Si se prevén malos resultados es mejor dedicar tiempo a actividades de autorregulación. La evaluación debe posibilitar el aumento de la autoestima a partir de reconocer que se ha aprendido, siendo la mejor fuente de motivación para el alumno.

2.4 El punto de vista competencial del aprendizaje

Enseñar ciencias, desde el punto de vista de las competencias, permite al docente dirigir el aprendizaje hacia el desarrollo de la capacidad para plantear preguntas investigables y de argumentar con base en pruebas, al fundamentar la actuación de los estudiantes.

En esta sección se inicia por explicar en qué consiste una “competencia” y, en concreto, una “competencia científica”, y se analiza la correspondencia entre un currículo orientado a desarrollar el modelo de competencias (adoptado recientemente en la educación básica en México) y de conocimientos sobre cómo promover la educación en ciencias significativa desde el conocimiento científico y de relevancia social.

En los últimos años, los currículos promovidos por los sistemas educativos de la mayoría de los países se han elaborado con el objetivo de desarrollar las competencias. El concepto competencia no ha nacido propiamente de la investigación edu-



cativa, pero no hay duda de que reúne muchas de sus aportaciones. ¿De dónde surge el concepto y cómo se define? ¿Qué es lo que caracteriza a la competencia científica? ¿Qué implica promover su desarrollo en las aulas?

¿Qué se entiende por competencia?

El concepto de competencia en el campo educativo, tal como se conceptualiza actualmente, surge a finales del siglo XX, cuando se constata que el índice de fracaso escolar va en aumento a pesar de que en muchos países la educación es obligatoria para todos los estudiantes, como mínimo hasta los 16 años. Instituciones de diversa índole valoran que la escuela no prepara para las necesidades de la sociedad actual, ya que no consigue que la mayoría de los jóvenes desarrollen lo que Perrenoud (1997) llama “una relación pragmática con el saber”.

Sus antecedentes los encontramos en el informe elaborado en 1994 a petición de la Unesco, por una comisión presidida por J. Delors (1996) –político y expresidente de la Unión Europea (UE)–, donde se habla de los “cuatro pilares de la educación” (*aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a convivir, y aprender a ser*). A partir de este documento, la UE impulsó cambios en los currículos de los países miembros, promoviendo, en primer lugar, la reflexión en torno a los saberes que tendrían que aprender los jóvenes para estar preparados y afrontar los retos con los que se encontrarán en su camino. Las aportaciones de los expertos consultados (Eurydice, 2002) comportó explicitar los diferentes puntos de vista y fundamentar la necesidad que hay de revisar las concepciones tradicionales sobre qué se ha de enseñar en la escuela. Los argumentos principales se relacionaban con tres campos:

Son fundamentales los saberes que posibilitan vivir y participar en una sociedad que queremos que sea democrática. Es decir, los jóvenes deben estar capacitados para plantearse problemas que afectan a todos

y para buscar cómo resolverlos junto a otros, para interpretar la información y analizarla críticamente, para expresar sus ideas fundamentándolas en conocimientos (y no sólo en opiniones personales), para argumentarlas en público y por escrito, para trabajar en equipo y consensuar puntos de vista.

Las nuevas necesidades de la economía implican estar preparado para cambiar de trabajo y, por lo tanto, para no dejar de aprender nunca. La experticia no proviene de tener mucha experiencia y conocimientos de una profesión, sino de saber afrontar la resolución de los problemas complejos que se generan en el ejercicio de cualquier trabajo, y la responsabilidad se relaciona más con mostrar iniciativa cuando se produce un problema que con ejecutar bien las órdenes o los protocolos fijados por otros.

En estos momentos la información está al alcance de todo el mundo a través de Internet, cosa que no pasaba hace 20 años. Por lo tanto, no hace falta que la escuela se dedique a transmitirla pero, en cambio, es necesario que ayude a construir y organizar en la memoria el conocimiento abstracto necesario para plantearse las preguntas que posibilitan encontrarla de manera eficiente, comprenderla y analizarla críticamente (y contribuir a su evolución y reconstrucción). Tal como decía Brooks (2007): *I am one with the external mind*.⁴⁵

A partir de estas y otras consideraciones (por ejemplo, relacionadas con el uso del tiempo libre) se introdujo el concepto de “competencia” para resumir todos estos tipos de saberes que se debería ayudar a desarrollar en el alumnado. La definición más consensuada es:

⁴⁵ Traducción: “Soy alguien con mente externa”.

Capacidad de responder a demandas complejas y realizar tareas diversas de forma adecuada. Supone una combinación de habilidades prácticas, conocimientos, motivación, valores éticos, actitudes, emociones y otros componentes sociales y de comportamiento que se movilizan conjuntamente para conseguir una acción eficaz (OCDE-DeSeCo, 2002).

De esta definición cabe destacar algunos aspectos; por ejemplo, la competencia implica siempre la realización “de una acción eficaz”, que responda a una demanda “compleja” y “diversa” (imprevisible), y también que se trata de combinar o integrar saberes muy diferentes—incluido el conocimiento disciplinario, las emociones, o la capacidad de trabajar en grupos sociales heterogéneos— en la actuación y de ser capaz de movilizarlos adecuadamente, no sólo de conocerlos de manera separada. En este sentido, supone una evolución respecto al planteamiento habitual de los anteriores currículos, que tendían a hablar de saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales en el marco de disciplinas que no tenían puntos de contacto. Por lo tanto, un currículo orientado al desarrollo de competencias forzosamente tiene que promover una aproximación interdisciplinaria a la resolución de problemas socialmente relevantes del entorno de los que aprenden (Rychen y Salganik, 2004).

El hecho de haber utilizado el término competencia para el planteamiento de los nuevos currículos ha generado muchas controversias (Denyer *et al.*, 2007), debido especialmente a que proviene del campo empresarial y a que en el campo educativo sólo se había utilizado en formación profesional de forma muy vinculada con la preparación de futuros profesionales (competencias profesionales). A menudo se relaciona el cambio curricular con la mejora de la economía y de su competitividad, y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE) ha auspiciado totalmente el nuevo discurso entroncándolo con el neoliberal (Medina y Gómez Llorente, 2006). Dice Gimeno Sacristán (2008): “El lenguaje no es inocente”.

Pero también es cierto que la visión de competencia que explicita el documento base *Definición y Selección de Competencias* (DeSeCo) (OCDE, 2002), recoge una larga demanda de los profesionales de la educación innovadores y de la investigación educativa en el campo curricular. En concreto, el documento propone la reflexión acerca de “para qué” enseñar. El problema, tal como señala Fernández de Castro (2006) en su crítico estudio, es si el objetivo de preparar a los jóvenes para ser buenos profesionales (entendiendo por profesionales: trabajadores acríticos) o para ser personas libres y conscientes.

Las autoridades de los sistemas educativos de la mayoría de los países, sin distinción de ideologías, se han movilizado para transformar sus currículos oficiales y reorientarlos con competencias. México, Nicaragua, Canadá y España, entre otros países, han adoptado las competencias en sus currículos de alguna de las maneras señaladas. Y aunque desde la investigación educativa el enfoque competencial del currículo no es algo nuevo, no hay duda de que, según Pérez Gómez (2008), “este programa requiere refundar, reinventar la escuela que conocemos”, al menos en buena parte.

¿Qué se entiende por competencia científica?

Desde esta visión competencial del currículo se han definido competencias más específicas. Aunque hay distintas clasificaciones, es importante concebir la competencia como algo holístico y global, que abarca muchos tipos de saberes; por lo tanto, no tiene sentido confeccionar largas listas de competencias. En todo caso, una competencia puede tener distintas dimensiones o capacidades más específicas. Una de las competencias que se incluye en la mayoría de currículos es la competencia científica entendida como:

La capacidad de usar el conocimiento científico para identificar cuestiones y obtener conclusiones a partir de pruebas, con la finalidad de

comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana produce (OCDE-PISA, 2000).

Esta definición busca concretar el “para qué” aprender ciencias (el conocimiento es la base de toda competencia), al incidir en la capacidad de plantear preguntas investigables y de argumentar con base en pruebas al fundamentar la actuación. Para visualizar con qué cambios se relaciona esta visión curricular en la práctica es útil conocer el programa de evaluación PISA (Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes, de la OCDE), que tiene como finalidad evaluar competencias. Por ejemplo, una pregunta propuesta para evaluar la competencia científica dice:

Un granjero estaba trabajando con vacas lecheras en una explotación agropecuaria experimental. La población de moscas en el establo donde vivía el ganado era tan grande que estaba afectando la salud de los animales. Así que el granjero roció el establo y el ganado con una solución de insecticida A. El insecticida mató a casi todas las moscas. Algún tiempo después, sin embargo, el número de moscas volvió a ser grande. El granjero roció de nuevo el establo y el ganado con el insecticida. El resultado fue similar a lo ocurrido la primera vez que lo roció. Murió la mayoría de las moscas, pero no todas. De nuevo, en un corto periodo de tiempo, la población de moscas aumentó y otra vez fue rociada con el insecticida. Esta secuencia de sucesos se repitió cinco veces: entonces fue evidente que el insecticida A era cada vez menos efectivo para matar las moscas.

El granjero observó que había preparado una gran cantidad de la solución de insecticida y se había utilizado en todas las rociadas. Por eso, pensó en la posibilidad de que la solución de insecticida se hubiera descompuesto con el tiempo. Explica brevemente cómo se podría comprobar esta suposición (OCDE-PISA, 2000-15 años).

Responder a este tipo de cuestiones exige que a los jóvenes (15 años) les guste leer y lo hagan entendiendo un texto, que sepan aplicar conocimientos sobre cambios físicos y químicos y para identificar evidencias en una investigación científica al analizar una situación nueva, no trabajada en clase, y que redacten una explicación de manera que se entienda. Por lo tanto, la competencia científica implica *interrelacionar* estos tipos de conocimientos para la resolución de una tarea. No es competente alguien que sabe de cambios químicos, pero no sabe leer ni escribir, y viceversa.

Esta visión de los contenidos de evaluación significa un cambio importante en las prácticas tradicionales acerca de qué es relevante aprender; por ejemplo, el tema de la función reproductora de las plantas se ha integrado a todos los currículos elaborados hasta hoy día, y en el caso de las plantas con flor, para comprobar este aprendizaje normalmente se pide a los alumnos que identifiquen y nombren las partes de una flor, además de otros elementos (lo que se valora como importante aprender).

En cambio, si se evalúa este conocimiento desde el punto de vista de la *competencia*, las preguntas serían del siguiente tipo:

La madre de Marta le ha dicho que cuando vaya al bosque no tiene que cortar las flores, pero ella no sabe por qué no lo tiene que hacer. Con todo lo que han aprendido alrededor del porqué le sirve a una planta tener flores, ¿cómo explicarían a Marta por qué no nos tenemos que llevar las flores de un bosque a nuestra casa? (9 años).

Es decir, serían preguntas que conllevan interrelacionar los conocimientos de distinto tipo (en este caso, lectura, de reproducción de las plantas y escritura con una actuación, a partir de argumentarla). Trabajar en el aula con base en el modelo de competencias conlleva que el alumnado reconozca para qué le sirve lo que está aprendiendo, tanto para las relaciones con actuaciones como por su poten-

cialidad para pensar y plantearse preguntas investigables. No hay que olvidar que es a través de la evaluación que las niñas y los niños (y sus familias) perciben lo que es importante aprender.

En general se tiende a pensar que es imposible que los alumnos sean capaces de leer un texto extenso, de relacionar aquello que han aprendido con la pregunta formulada o de escribir con sentido. Esta predicción conlleva que los enseñantes nos adaptemos a lo que creemos que los estudiantes pueden hacer, y planteemos preguntas de evaluación en las que se tiene que leer y escribir poco, además de que reproduzcan lo trabajado en clase o lo que dice el libro de texto. Por lo tanto, no se busca promover una evaluación que sea transformadora, que ayude a los que aprenden a reconocer lo importante que deben aprender y por qué, y qué han de mejorar.

La visión competencial del currículo implica no renunciar a conseguir que los jóvenes lean, argumenten y actúen en función de conocimientos básicos bien aprendidos.

En palabras de Beckers (2001):

El camino es largo y difícil porque su andadura es exigente tanto para quien enseña como para quien aprende. Las cuestiones abiertas son numerosas y no podemos esperar a tener todas las respuestas para comprometernos, colegiadamente, en una dirección que parece útil y éticamente deseable.

¿Hay coherencia entre la visión curricular competencial y los conocimientos en el campo de la didáctica de las ciencias?

Desde que Stenhouse (1984) propuso un planteamiento sobre el concepto de currículo, se acordó no reducir a un listado de enunciados lo que deberían aprender

los jóvenes, sino incluir actividades de enseñanza y de aprendizaje, la forma de gestionar el aula, la evaluación, etc. Lo deseable es que una propuesta curricular aliente el desarrollo profesional del profesorado, a partir de que comprendan mejor su actividad de enseñar; es decir, de para qué, qué y cómo.

Nos preguntamos si las propuestas de currículos orientados por o fundamentados en competencias aporta algo a este desarrollo profesional, y si lo que se busca con ellos es coherente con los conocimientos generados en el campo de la didáctica de las ciencias. Y se espera que así sea, ya que el equipo de expertos que ha trabajado en la definición de la competencia científica lo integran personas reconocidas en el campo siendo su presidente Rodger Bybee, experto en el área de la alfabetización científica.⁴⁶

En esta sección se analizan los aspectos clave para una formación de tipo competencial y su relación con saberes didácticos (muchos de los cuales se profundizan en otros apartados de este libro). Estos aspectos son:

- La contextualización y abstracción del conocimiento científico.
- El desarrollo de la capacidad de hacer ciencia (escolar) y de actuar.
- El desarrollo de la capacidad de comunicar ciencia.
- El desarrollo de la capacidad de funcionar en grupos sociales heterogéneos.
- El desarrollo de la autonomía para aprender ciencias.

Contextualización y abstracción del conocimiento científico

El ser competente requiere de la capacidad de actuar en situaciones concretas –de la vida cotidiana o profesional– teniendo en cuenta los conocimientos construi-

⁴⁶ Rodger Bybee fue director del proyecto BSCS, de programas sobre ciencias, y escribió libros como *Teaching Secondary School Science: Strategies for Developing Scientific Literacy* (2007), y *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices* (1997).

dos por la humanidad a lo largo de los siglos. Tal como insiste Perrenoud, (1997) sin conocimientos no se puede ser competente.

Pero los saberes se aprenden al realizar una actividad que tiene lugar en un contexto cultural en cuyo marco se desarrolla y utiliza ("teoría del conocimiento situado", de Brown, Collins y Duguid, 1989), ya que se dice que el conocimiento es esclavo de un contexto.

Desde hace algunos años, los currículos CTSA (sección 1.3) propugnan por una enseñanza en ciencias que parta del análisis de problemas que aporten experiencias al alumnado. Muchas propuestas curriculares se elaboraron con base en el análisis de una situación contextualizada, que en la mayoría de los casos se utiliza sólo como "motivación", que después se olvida o no se aplica para el aprendizaje de conceptos. Es decir, por un lado se "estudia" sobre el contexto (generalmente informaciones) y, por el otro, los conceptos científicos abstractos.

El contexto elegido se tendría que ubicar en algún aspecto de la vida de los estudiantes (deben percibir el sentido de lo que aprenden), posibilitar la construcción de un saber significativo (de modelos teóricos básicos y transferibles al análisis de más situaciones) y, en especial, ser socialmente relevante (se relacione con el planteamiento y argumentación de actuaciones responsables). El conocimiento no se puede separar de las situaciones en las cuales se aprende, pero no quiere decir que no se pueda abstraer ni transferir.

El conocimiento no debe confundirse con conocer y repetir muchas informaciones. Para que sea transferible, el saber almacenado en la memoria tiene que ser general, abstracto y complejo (distinto a ser complicado), aspecto que caracteriza a los modelos teóricos. Una suma de informaciones o datos no es conocimiento si no están integrados con objetos, experiencias y valores en un modelo teórico que les da sentido, y que posibilita explicar y predecir de acuerdo con situaciones o problemas distintos que se consideran para su construcción.

Un aspecto clave en la construcción del conocimiento (y de la competencia científica) es la capacidad de aprender a formular "buenas" preguntas, otro

campo de investigación didáctica emergente (Alsop, Gould y Watts, 2002; Márquez *et al.*, 2004; Roca, 2005). Si se analiza lo que habitualmente se plantea en el marco escolar, se comprueba que la mayoría responde a curiosidades que se satisfacen rápidamente y se olvidan cuestiones como: ¿qué es?, ¿cómo se llama?, ¿a qué distancia está? El alumnado imita las preguntas que hay en el libro de texto y que a menudo formula el enseñante. Son preguntas cerradas, fáciles de responder a partir de copiar información, y no requieren relacionar ideas ni reestructurar el pensamiento. En cambio, pocas veces se formulan algunas que necesiten generalizar: ¿en qué se asemeja y en qué se diferencia...?–comparar–, ¿es del mismo tipo...?–comparar– ¿cómo se puede saber...?–comprobar–, ¿se puede demostrar que...?–comprobar– ¿cómo podría comprobarse que...?–comprobar–, ¿qué podría pasar...?–predecir–, ¿qué pasará sí...?–predecir–, ¿qué se puede hacer por...?–gestionar–, ¿cómo resolver tal problema...?–gestionar–, o valorar: ¿qué será lo más importante...?–valorar–, ¿es esta la mejor manera de proceder...?–evaluar–, y mucho menos aquellas orientadas a pensar desde un modelo teórico (Roca, 2005).

Por ejemplo, para aprender cómo se relacionan los seres vivos (desde una bacteria hasta los seres humanos) con su entorno, y cómo controlan y autorregulan esta relación, se parte de un problema que dé sentido a este aprendizaje, considerando cómo asimilan el conocimiento nuestros alumnos. Así a partir de que una niña lleve una rana al aula, y luego de observarla y de la lectura de un cuento de Mark Twain sobre el adiestramiento de una rana, nos preguntemos cómo es que se puede conseguir y si es ético hacerlo. O viendo que nuestros alumnos adolescentes siempre van con el auricular del reproductor de música colgado en su oreja, les propongamos analizar un artículo que aparece en un periódico sobre la probabilidad de tener problemas de audición. Habrá mil situaciones útiles para contextualizar el aprendizaje, y alguna se elegirá dependiendo de muchos factores, pero lo importante es que movilice al alumnado –pensamiento, manipulaciones, habla, sentimientos– hacia el nuevo saber.

A partir del problema será importante plantear las preguntas que nos ayuden a construir el conocimiento necesario para darle respuesta. Muchas veces las primeras preguntas de los alumnos no son significativas o son muy concretas, así que una tarea del profesorado será la de ayudarles a reformularlas, reduciéndolas a unas cuantas, pero ajustándolas a generales y significativas en relación con el modelo teórico que les será de utilidad para comprender el problema objeto de estudio. En los ejemplos a los que nos referimos, las preguntas que pueden promover representarse un modelo coherente con el científico acerca de la función de relación se referirán a los estímulos que recibe el ser vivo protagonista del problema objeto de estudio, las respuestas que da, qué pasa entre recibir el estímulo y dar una respuesta y cómo pasa.

De acuerdo con la edad de los estudiantes y sus conocimientos previos, las respuestas que se darán a estas preguntas podrán ser de distinto nivel de complejidad y exigirá realizar actividades muy distintas: determinar cómo comprobar las ideas que van surgiendo, recopilar información en Internet u otras fuentes, conectar el problema de adiestrar una rana o de audición con otros que el grupo aporta por haberlos vivido o que conoce, discutir los distintos puntos de vista, formalizar y escribir el nuevo conocimiento y, sobre todo, preguntarnos en qué sentido este conocimiento (con los valores asociados) y lo que se ha vivido dentro del grupo, llevan a revisar o no la actuación.

Por lo tanto, en coherencia con el concepto de competencia, el contexto escogido tendrá sentido en tanto responda a problemas auténticos (secciones 3.2 y 4.2) y ayude a aprender un conocimiento abstracto que sea transferible y útil para reflexionar sobre las actuaciones –individuales y colectivas– y fundamentar posibles nuevas prácticas.

El desarrollo de la capacidad de hacer ciencia (escolar) y de actuar

Otro de los aspectos básicos del concepto de competencia científica es la capacidad de identificar pruebas a partir de la realización de investigaciones (sección 3.2). Su finalidad en la escuela no es tanto la de “conocer acerca del método

científico", sino de poner a prueba los modelos teóricos que se van generando para promover su evolución y disponer de argumentos basados en evidencias en los cuales fundamentar la actuación.

Las pruebas o evidencias son las ideas utilizadas para la toma de decisiones en una investigación (Gott y Roberts, 2006). La ciencia se basa en pruebas que se utilizan para confirmar o no los modelos teóricos propuestos, ya que éstos deben ajustarse a los hechos que explican. Que un dato sea una prueba depende de si es confiable y válido, y lo será en función de la calidad de cómo se haya recabado, en si se han tomado otros para comparar y captar variaciones que permitan confiar en su validez, si se ha sometido a prueba el diseño experimental que ha posibilitado obtenerlo, y si hay posibilidad de interpretarlo en relación con el marco teórico de referencia.

Reconocer una evidencia implica desarrollar el pensamiento crítico, que Ennis (1987) define como "pensamiento razonable y reflexivo que se centra en decidir qué creer o hacer". Considera que su aprendizaje tiene un componente cognitivo y uno actitudinal, ya que es necesario estar dispuesto a preguntarse, a deducir conclusiones teniendo en cuenta la globalidad del problema, a buscar o dar razones fundamentadas en las pruebas, a encontrar alternativas, o a juzgar si las pruebas son suficientes.

Desde la pedagogía crítica, el pensamiento crítico se relaciona con la capacidad de reconocer y superar injusticias sociales (McLaren, 1994). Recordemos que la finalidad de hacer ciencia en la escuela, de acuerdo con la definición de competencia, es la de "comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana produce"; es decir, de actuar. Profundizar en la escuela el conocimiento sobre cómo los seres vivos nos relacionamos con nuestro entorno tiene sentido si conlleva aprender a tomar decisiones fundamentadas en dicho conocimiento –y en otros contruidos en el marco de otras disciplinas–, que sean coherentes con las pruebas de que se dispone y que incorporen valores.

El desarrollo de la capacidad de comunicar ciencia

En la caracterización de la competencia siempre se hace referencia a la importancia de ser capaz de “utilizar los diferentes lenguajes y símbolos para comunicarnos, el conocimiento y la información, y las diferentes tecnologías para la información y la comunicación” (DeSeCo, 2002). Se relaciona con saber leer críticamente, encontrar y comprender la información, escribir ideas propias para que otros las entiendan, y exponerlas y argumentarlas en público (sección 3.3).

Las preguntas de evaluación propuestas en el programa PISA siempre exigen leer textos largos, que incluyen diagramas, esquemas, gráficos[...], y en muchas de ellas, escribir un texto o decidir cómo buscar una información. Por ejemplo, una situación en el contexto de un suceso astronómico ocurrido en el año 2004, plantea:

Los astrónomos predicen que, desde la perspectiva visual de Neptuno, podrá verse un tránsito de Saturno por delante de la superficie del Sol en algún momento del presente siglo. De las palabras subrayadas, ¿cuáles resultarían las tres más útiles para realizar una búsqueda en Internet o en una biblioteca con el objeto de averiguar el momento en que se producirá este tránsito? (OCDE-PISA, 2006).

Como se puede comprobar, responder a esta pregunta exige tener un gran conocimiento sobre el Sistema Solar, ya que sin él es difícil que un estudiante llegue a entender el texto y decidir cómo realizar la búsqueda. Desde hace algunos años en el campo de la didáctica de las ciencias se ha dedicado especial atención al papel del lenguaje en su aprendizaje (sección 3.3), no sólo por su importancia para compartir con otros las informaciones y el conocimiento, sino como instrumento mediador en su construcción.

Por ejemplo, la lectura posibilita acceder a toda información, además de continuar aprendiendo a lo largo de la vida. Ello requiere aprender a leer los diversos textos que se encuentran fácilmente (en periódicos, revistas de divulgación, Internet, etc.) y que son muy distintos a los de los libros de texto. Sobre un mismo tema se encuentran informaciones diversas y contradictorias, por lo que es necesario aprender a elegir un buen texto ejerciendo la crítica. Todo texto tiene implícita una ideología, incluso los libros de texto de ciencias, y en palabras de Daniel Cassany (2006), necesitamos saber leer “entre las líneas”. Es necesario preguntarse sobre quién ha escrito (emitido el mensaje), por qué y qué evidencias aporta las afirmaciones que incluye, entre otras cuestiones. Por lo tanto, aprender a leer de manera competente no se aprende sólo en la clase de lengua sino en la de ciencias.

A menudo se cree que a los alumnos no les gusta leer sobre temas científicos, pero se ha comprobado que depende de la lectura propuesta y de cómo se promueva el aprendizaje a partir de ésta (Márquez y Prat, 2005; Oliveras y Sanmartí, 2009).

Por otro lado, cualquier actuación exige hablar y escribir. La competencia científica pasa por el desarrollo de estas capacidades, en especial desde su componente argumentativo (Candela, 1999; Duschl y Osborne, 2002). Los procesos y géneros comunicativos que se utilizan son diversos, en función de si el objetivo es escribir una carta al director de un periódico para manifestar un punto de vista crítico sobre el contenido de un artículo; a la dirección de la escuela para propuestas de cambio; a una institución o asociación vecinal; participar en un foro por Internet; redactar un artículo para la revista de la escuela o incluirla en un *blog*; explicar propuestas a alumnos de otros cursos o a las familias.

En el contexto del aprendizaje científico, interesa poner el acento en la justificación de la actuación, fundamentándola en evidencias que tengan sentido en el marco de los modelos teóricos generados. Por ejemplo, no se trata de repetir consignas sobre la importancia de no contaminar el agua y de consumirla racionalmente, sino de fundamentarlas científicamente. En muchos casos, en especial cuando se afrontan problemas que forman parte de la ciencia “frontera” (Duschl, 1997) como

pueden ser los relacionados con el cambio climático o la biotecnología, se requerirá tener en cuenta puntos de vista diversos.

El desarrollo de la capacidad de funcionar en grupos sociales heterogéneos

Otro de los aspectos que caracterizan la competencia se refiere a “funcionar en grupos sociales heterogéneos” (DeSeCo, 2002). Las razones de la priorización de este campo competencial se relacionan con la necesidad de saber convivir y trabajar con los demás en diferentes campos de actuación, en un mundo diverso y al mismo tiempo globalizado, de manera democrática y eficaz, con empatía y valorando la riqueza que aportan las diferencias en la resolución de los problemas. Y no hay que olvidar que en el desarrollo del conocimiento científico son fundamentales las relaciones entre las personas que integran la comunidad que investiga.

Se aprende desde la diversidad, es decir, por el hecho de que nuestras ideas, valores y maneras de hacer son diferentes a las de otros, y al compararlas de manera dialógica se pueden revisar los propios puntos de vista y, por lo tanto, aprender (sección 3.4). Las grandes ideas no se aprenden porque un adulto (un compañero o el libro de texto) las proclame, sino porque al comparar las propias con las de los demás se toma conciencia de sus limitaciones y se decide revisarlas en el marco de modelos teóricos más acordes con los de la ciencia actual. De acuerdo con Duschl (1995), si en el aula no hubiera diversidad de ideas y puntos de vista deberíamos crearla.

Pero no todos los denominados trabajos en grupo que se realizan en la escuela son coherentes con esta visión competencial. Por ejemplo, pensar primero en las propias ideas es una condición básica para aprender a partir de interactuar con otros. Sólo si se ha pensado se puede comparar –dialogar– con lo que dicen los demás e identificar las diferencias. Así, en una conversación en el aula es básico que se dé tiempo para que todos piensen en su idea y, en cambio, no es necesario

que todos los alumnos intervengan. Lo importante es que todos puedan comparar lo que dicen otros con sus puntos de vista y así lograr “dialogar consigo mismo”.

Muchos de los aparentes trabajos en grupo como, por ejemplo, elaborar un mural, no son más que una división del trabajo y una suma de producciones individuales. En otros casos, son una copia de lo que hace un compañero. En cambio, actividades aparentemente de trabajo individual, como entrar en una plataforma virtual y participar en un foro, evaluar producciones de los compañeros, construir colectivamente una definición o resolver un problema, pueden ser muy útiles para interactuar con otros.

Aprender a funcionar en grupos sociales heterogéneos implica cambiar muchas reglas del juego que están institucionalizadas en la escuela y en la sociedad en general. Consecuentemente, será necesario cuestionar ideas y prácticas habituales que sugieren que con algunos compañeros no se puede aprender, como que en el trabajo en grupo se pierde tiempo, o que copiar es una buena estrategia para obtener buenos resultados académicos. En contraste, hemos de promover ideas y prácticas, así como constatar que podemos aprender de otros, o que aporta mucho más placer entender algo que copiarlo, a partir de experiencias que dan fe de ello.

Mientras un grupo escolar no institucionalice reglas de juego de funcionamiento cooperativas será difícil que todos puedan aprender. Por lo tanto, la aplicación de un currículo competencial necesita dedicar tiempo a construir reglas para colaborar en el trabajo en el aula y de aprender ciencias. Si se deja al azar, lo normal es que se reproduzcan e institucionalicen las maneras de funcionar habituales en el entorno social.

El desarrollo de la autonomía para aprender ciencias

Un tercer gran campo competencial que define el documento DeSeCo (2002) se relaciona con la capacidad de “actuar de manera autónoma”. La autonomía de-

pende de muchas variables pero, como hemos visto, una de ellas tiene que ver con la capacidad de autorregular la acción (secciones 2.3 y 3.4).

La finalidad fundamental de todo proceso de enseñanza es la de favorecer que el alumnado llegue a ser un aprendiz lo más autónomo posible, siendo capaz de reconocer sus errores y encontrando caminos por superarlos (Gabrielle Nunziatti, 1990).

Los enseñantes comúnmente dedicamos mucho tiempo a “corregir” trabajos del alumnado, pero es una tarea que tiene muy poca utilidad para el aprendizaje. Al devolver los trabajos “corregidos” con anotaciones a la mayoría de alumnos no les sirve para entender sus errores o con una simple calificación que no motiva a revisar los aspectos que es necesario mejorar. Es más, se forman personas dependientes de la valoración del adulto, sin ayudarles a ser más autónomas. Hay niños y jóvenes que continuamente van detrás de la maestra preguntándole si han hecho bien o no una tarea, que probablemente saquen muy buenos resultados en un examen tradicional, pero su nivel competencial sea muy bajo.

Sólo puede corregir el error la persona que lo ha cometido. El profesorado o los compañeros pueden ayudar a esta autocorrección si promueven que se comprendan las razones de las dificultades y, en especial, si le anima a superar las emociones negativas que se generan cuando alguien se autoevalúa negativamente.

En esta línea, la realización de actividades de coevaluación mientras se aprenden nuevos saberes (en las que los estudiantes se evalúan entre sí a partir de haber consensuado entre todos los criterios de evaluación) estimula mucho más la realización de los trabajos que la obtención de una buena nota, siempre que se incida en valorar los errores como algo normal. Si no se cometieran, no sería necesario ir a la escuela para aprender algo que ya se hace bien desde el inicio.

Como hemos visto, no es fácil aprender a autorregularse; se requiere de tiempo. Muchos alumnos tardan un curso o más para comprender cómo anticipar la

acción y su importancia. A menudo consideran que los errores se deben sobre todo a “distracciones”, y les cuesta reconocer que no han dedicado el tiempo necesario a planificar la acción (realizan la tarea sin anticipar las posibles formas de llevarla a cabo). También les es difícil cambiar las “reglas de juego” que están acostumbrados a aplicar para aprobar, como copiar de otros o memorizar del libro de texto, ocultar y disimular los errores y dificultades, o competir antes de cooperar. El reto de enseñar ciencias es conseguir que los que aprenden comprendan que si no se pone de manifiesto lo que no se sabe, nadie los ayudará a superar los obstáculos que encuentran al aprender. Como se ha escrito, el error es el punto de partida para aprender (Astolfi, 1999).

El cambio de perspectiva sobre el error necesita un clima de aula de respeto a todos y en el que una dificultad sea considerada algo a expresar y normal. El alumnado debe percibir que se crea en su capacidad de regularse y que aquello que se le propone saber (y corregirse) es significativo y relevante para pensar y actuar. Y también han de poder reconocer, a medio plazo, que sus resultados escolares mejoran. Sin estos cambios es difícil aprender y actuar de forma competente.

3. ¿Cómo enseñar



ciencias ?

Alma Adrianna Gómez Galindo

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL,
UNIDAD MONTERREY, MÉXICO

Agustín Adúriz-Bravo

CENTRO DE FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS,
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Enseguida se aborda el proceso de enseñanza de las ciencias naturales en las aulas de educación básica. Se analiza lo que llamamos “actividad científica escolar”, en términos de los diseños de escenarios y de interacciones profesorado-alumnado que promueven el aprendizaje; además, se desarrollan algunos fundamentos teóricos adicionales –filosóficos e históricos relacionados con la ciencia– de la intervención didáctica, y se presentan algunos ejemplos concretos del trabajo en el aula.

3.1 Naturaleza de la ciencia y ciencia escolar

En esta primera parte buscamos acercar a las maestras y maestros a los resultados de la investigación relacionados con:

- Las aportaciones de la filosofía y la historia de la ciencia para la formación científica del alumnado.
- La relación entre ideas previas e ideas generadas en distintos momentos de la historia de la ciencia.
- Las características de la actividad científica escolar y cómo se debe promover en el aula.

Aportaciones de la filosofía y la historia de la ciencia para la formación científica del alumnado

En los últimos treinta años, las maestras y maestros que enseñamos ciencias naturales en la educación básica hemos sido testigos de profundos cambios en las distintas maneras de enseñar esos contenidos. La educación en ciencias como disciplina académica ha producido y difundido ideas, propuestas y materiales que transforman la enseñanza de las ciencias al vincularla con otros contenidos provenientes de disciplinas, como la filosofía de la ciencia (que estudia cómo se construye y se valida el conocimiento científico) y la historia de la ciencia (que estudia cómo se ha venido desarrollando a lo largo del tiempo el conocimiento científico). Estas disciplinas (colectivamente llamadas "metaciencias" por su carácter de reflexión de segundo orden, es decir, reflexión sobre las propias ciencias) incorporan en el aula nuevas perspectivas que atienden, entre otros aspectos, cuáles son las características de la actividad científica, cómo se desarrollan y validan los conocimientos científicos, cómo cambia la ciencia en el tiempo, quiénes han sido las científicas y los científicos más relevantes de la historia; qué valores, intereses y formas de orga-



nización tiene la comunidad científica, cómo se relaciona la ciencia con las demás disciplinas (tecnologías, humanidades, artes) y con las formas no disciplinarias de entender el mundo (religión y mito).

Por otra parte, en la llamada *formación científica básica* se plantea hoy en día a nivel internacional (en las pruebas PISA, por ejemplo) que el alumnado debe comprender dos aspectos básicos de la ciencia. En primer lugar, debe ser capaz de utilizar el conocimiento científico para identificar preguntas y obtener respuestas basadas en evidencias, de manera que entienda y tome decisiones sobre el mundo natural y los cambios generados por la actividad humana. En segundo lugar, también se requiere que el alumnado conozca los procesos por medio de los cuales se desarrolla el conocimiento científico; es decir, que elabore respuestas a la pregunta: ¿cómo hemos llegado a saber lo que sabemos?

Nuestra intención en este apartado es resaltar las aportaciones de la filosofía y la historia de la ciencia a nuestra práctica, y revisar cómo estas metaciencias han contribuido a afrontar los retos que implica esa doble formación. Así, tenemos que las metaciencias (filosofía e historia de la ciencia) poseen los siguientes valores didácticos:

1. Proporcionan una reflexión teórica sobre qué es el conocimiento científico y cómo se elabora, que permite entender mejor la producción científica, sus alcances y sus límites, y consecuentemente diseñar actividades de aula que incorporen una visión contemporánea de la ciencia. Las metaciencias posibilitan, por ejemplo, trabajar en clase la idea de que las explicaciones generadas por la ciencia no son verdades absolutas y las observaciones están, en muchos casos, fuertemente mediadas por lo teórico y lo tecnológico (las ideas y los instrumentos). Recordemos, por ejemplo, que hasta hace muy poco Plutón se consideraba, por consenso de la comunidad astronómica internacional, un planeta de nuestro Sistema Solar, para luego pasar a ser un “planeta enano”. Este cambio de estatuto *teórico* de un objeto del mundo se apoya en la relectura argumentada de nuevos datos, y nos

muestra que las clasificaciones científicas no están cerradas y siempre quedan a la espera de más conocimiento.

2. Constituyen una producción intelectual valiosa, que debería formar parte de la cultura integral de la ciudadanía. En este sentido, se destaca el valor de que todas y todos tengamos acceso a la reflexión crítica sobre la ciencia, atendiendo a la necesidad de que se forme profesorado, alumnado y un público general interesado en la ciencia. En México, al igual que en otros países, se ha observado un descenso en la cantidad de personas que se inscriben en las carreras de ciencias. Consideramos que, como sociedad, debemos revalorizar el papel de la formación científica y transmitir este valor al alumnado en nuestras clases, y ahí mismo, incorporar las aportaciones de la filosofía y la historia de la ciencia nos permite hacer ver al alumnado que las ciencias son una producción humana, que las científicas y los científicos viven en momentos históricos determinados que los condicionan y que tienen intereses, valores e historias personales igual que los demás seres humanos.
3. Proveen herramientas de pensamiento y de discurso rigurosas, como la lógica o la argumentación, que nos permiten pensar con conceptos científicos y sobre ellos, de una forma organizada y coherente. En ciencias naturales se redactan informes, se escriben artículos, se acude a congresos, se hace divulgación. Las metaciencias estudian todas estas prácticas comunicativas y nos dan pistas para su enseñanza. En efecto, y como se desarrolla en el apartado siguiente, en el aula es necesario aprender a *hablar y escribir ciencia* y a *argumentar* a favor de los modelos usando evidencias pertinentes y fundamentadas.
4. Ayudan a reconocer la ciencia como actividad social contextualizada. En esta línea se ubica el uso de las narraciones provenientes de la historia de la ciencia, cuando se llevan al aula casos paradigmáticos de actividad científica para valorarlos críticamente; por ejemplo, cuando se recrea el mítico descubrimiento del fenómeno de empuje por Arquímedes en su bañera. La idea es incorporar a la enseñanza de las ciencias el *contexto* de invención y descubrimiento, que muestra los condicionantes sociales, las ideas e intereses predominantes y las metodolo-

gías y argumentos aceptados en la actividad científica de cada época, y permite analizar cómo tal actividad modificó la historia de la humanidad.

5. Generan ideas, materiales, recursos, enfoques y textos para diseñar una enseñanza de las ciencias más rica. Las metaciencias aportan elementos que incorporan, por ejemplo, nuevas perspectivas teóricas (como el enfoque CTS, Ciencia, Tecnología y Sociedad), recursos narrativos o de Internet, o experimentos adaptados a partir de los que se diseñaron en algún momento histórico y resultaron cruciales para la construcción de conocimiento.
6. Facilitan la estructuración de los currículos del área de ciencias naturales, al permitir identificar los modelos fundamentales de cada disciplina. Modelos científicos escolares potentes son: ser vivo, planeta Tierra, cambio químico, estructura de la materia, fuerzas en interacción. En el modelo de estructura de la materia; por ejemplo, en preescolar se exploran diferentes materiales y sus propiedades: dureza, elasticidad y porosidad, entre otras. En la escuela primaria se construye una idea de discontinuidad de la materia: todo está formado por partes, éstas son muchas y muy pequeñas y no tienen las características del todo. En la secundaria, se puede complejizar y complementar este modelo introduciendo ideas relacionadas con el modelo cinético-molecular.

Las reflexiones pedagógicas para incorporar las metaciencias a la enseñanza de las ciencias naturales han generado un área de trabajo por derecho propio dentro de la educación en ciencias, que lleva el nombre de su objeto de reflexión, la *naturaleza de la ciencia*. Para Adúriz-Bravo (2005), la naturaleza de la ciencia sería un “conjunto selecto de ideas provenientes de la filosofía y la historia de la ciencia, elegidas y adaptadas por su valor para la enseñanza de las ciencias naturales”.

El que los docentes nos acerquemos a los resultados de esta área de estudio nos permite, tal como se argumentó, enriquecer nuestra práctica y favorecer un aprendizaje de la ciencia más complejo. En efecto, el estudio riguroso de la naturaleza de la ciencia, apuntalado con las aportaciones de otras disciplinas como las ciencias

cognitivas, la pedagogía o la lingüística, nos brinda elementos para el *diseño* fundamentado de actividades para la enseñanza de las ciencias. Discutiremos ahora este tema en relación con la problemática de las llamadas *ideas previas* del alumnado.

Ideas previas del alumnado e historia de la ciencia

Es aceptado que la manera en que los niños, adolescentes y jóvenes explican los fenómenos del mundo natural dista mucho de la que se utiliza por las científicas y científicos. Hablamos de “conocimiento de sentido común” para los primeros y de “conocimiento científico” para los segundos (Duschl, 1997). Por ejemplo, se sabe que el alumnado utiliza la característica de “tener movimiento” como criterio para designar qué es un ser vivo, o afirma que al dejar caer dos objetos desde la misma altura, el más pesado tocará tierra primero. Sin embargo, la comunidad científica utiliza los términos nutrición, reproducción y relación con el medio para *definir* un ser vivo, y sostienen que dos objetos sometidos a la acción de la gravedad caerán con la misma aceleración con independencia de su peso.

Al inicio de las investigaciones sobre estas ideas del alumnado se aludía a un aparente fallo de la educación; actualmente se acepta que todos tenemos modelos explicativos contruidos al margen de la escuela que conviven con los que se enseñan en ésta, y se reconoce la dificultad para sustituir esos modelos implícitos y operativos por modelos científicos rigurosos, o para enseñar a los niños a usar estos últimos en contextos específicos.

Una de las autoras más reconocidas y citadas en el campo de la educación en ciencias es Rosalind Driver (Inglaterra, 1941), quien con su tesis de doctorado sobre enseñanza de la física en 1973, llama la atención sobre el hecho de que el alumnado llega al aula con conocimientos generados en y para dominios específicos (física, química, biología); es decir, con conocimientos “previos” a la instrucción, como los ejemplos mencionados. Los trabajos posteriores de esta investigadora, así como estudios publicados desde entonces por numerosos es-

pecialistas, han dado lugar a una línea de investigación que se ha llamado genéricamente “ideas previas” o “concepciones alternativas”. Esta línea no sólo es una de las más consolidadas en la investigación en educación en ciencias, sino que representa un amplio campo de indagación de la realidad del aula y de posibilidades para la planeación educativa. En México, se ha realizado amplia investigación sobre este tema, especialmente por el grupo de Fernando Flores Camacho en la UNAM.⁴⁷

Al desarrollarse la línea de investigación sobre ideas previas surgen otros estudios que reconocen las implicaciones de sus resultados en una escala mayor. Una de las reflexiones que aparece versa sobre la relación entre cómo aprende el alumnado y cómo enseñamos las maestras y maestros. Estudios posteriores han mostrado que la concepción que tenemos de cómo aprenden nuestros estudiantes, así como la relacionada con qué es la ciencia, nos llevan a concebir cómo debemos enseñarles, influyendo fuertemente en el diseño de actividades de aula. Cuando pensábamos que los estudiantes llegaban con la mente en blanco dispuesta a interiorizar nuestras enseñanzas, enseñábamos en consecuencia: con un modelo de transmisión donde aprender ciencias era asimilar o memorizar contenidos.

Si continuamos nuestro recorrido encontramos, en el *International Handbook of Science Education* de 2003 (editado por Fraser y Tobin), que el artículo introductorio a la primera parte, a cargo de Reinders Duit y David Treagust, titulado “Learning Science: From Behaviorism Towards Social Constructivism and Beyond” (“El aprendizaje de la ciencia: Desde el conductismo hacia el constructivismo social y más allá”), nos recuerda que a finales de los noventa la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias buscaba entender no sólo los productos, sino también los procesos que se generaban en las mentes de los estudiantes promovidos por las interacciones sociales que se producían en la clase. Uno de los retos de la educación

⁴⁷ Recopilación de ideas previas del alumnado disponible en: <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/> (consultada el 4 de junio de 2010).

científica actual es diseñar actividades que apoyen la evolución de los modelos explicativos del alumnado, propiciar interacciones más ricas en el aula para que ellos generen explicaciones más complejas, en las que incorporen más elementos para argumentar sus posturas.

Además de las contribuciones de Rosalind Driver, los cambios en los currículos de ciencias y las aportaciones de la filosofía y la historia de la ciencia, revisadas brevemente, junto con la contribución de las ciencias cognitivas y la pedagogía, jugaron un papel relevante en la generación de esta nueva búsqueda.

Actualmente, el diseño de actividades didácticas innovadoras pone el acento en la interacción entre maestros, estudiantes, contenido y el contexto en que la actividad se desarrolla.⁴⁸ Podemos ver en las revistas especializadas gran cantidad de trabajos que revisan la enseñanza de temas específicos y las interacciones docente-estudiantes. En México, los estudios realizados por Antonia Candela del Departamento de Investigaciones Educativas (DIE) del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), muestran la riqueza de la construcción conjunta del conocimiento (Candela, 1999). Así, el análisis de actividades de aula busca entender cómo se construye el conocimiento *compartido*. Este es un tema que en los últimos quince años ha experimentado un desarrollo acelerado.

Con este contexto de fondo, un aspecto que llamó la atención al inicio del desarrollo de la línea de investigación, que se viene comentando, fue la posibilidad de encontrar similitudes entre las ideas generadas por el alumnado y aquellas sostenidas en el pasado por la ciencia. Por ejemplo, el alumnado utiliza a menudo el "rayo de visión" desarrollado por los griegos y utilizado por Ptolomeo en su *Óptica*. Esta idea considera que para ver los objetos existe un rayo que se desplaza desde el ojo del observador al objeto observado, y ese rayo es el que posibilita la visión. El

⁴⁸ Algunas propuestas de innovaciones didácticas y otros recursos para la enseñanza de la ciencia están disponibles en: <http://manosalaobra.cinvestav.mx/> (consultado el 15 de noviembre de 2010).

rayo de visión aparece constantemente en los programas de tv infantiles, especialmente de dibujos animados, y se representa como una línea o flecha desde el ojo hacia el objeto.

Lo anterior podría llevar a establecer paralelismos en el desarrollo de las ideas a lo largo de la historia de la ciencia y de la instrucción del alumnado. Sin embargo, hoy en día numerosos estudios muestran que hay que ser prudentes al asumir dichos paralelismos. Si bien el estudio de la historia de la ciencia aporta elementos de reflexión, nos ayuda a comprender ciertas dificultades de los estudiantes, a identificar algunas de sus ideas previas, a caracterizar problemas que enfrentan al representar y explicar los fenómenos, a entender cómo las niñas y los niños conceptúan y conceptualizan, a adaptar observaciones y experimentos para apoyar sus procesos de representación, y también a mostrarles las coincidencias entre su pensamiento y los modelos históricos, no nos permite asumir que en todos los temas también se presentarán ideas sostenidas en la antigüedad con el mismo alcance y en el mismo orden cronológico, ni indica, en todos los casos, cómo avanzar en el desarrollo de las ideas del alumnado.

Características de la actividad científica escolar y cómo es posible promoverla en el aula

Reconocer que el alumnado llega al aula con ideas previas y modelos explicativos sobre los fenómenos naturales, y que resulta difícil modificarlos o sustituirlos durante la educación formal, nos brindó una nueva visión sobre cómo debería abordarse la enseñanza de las ciencias. Las maestras y los maestros vamos a clase con propuestas para explicar los fenómenos que nos rodean, las que se han generado laboriosamente desde la ciencia “erudita”; el alumnado, a su vez, llega con explicaciones de sentido común. ¿Cómo transitar entre ambos conjuntos de representaciones?

Una propuesta es entender que la actividad realizada por los científicos se inserta en un universo "cultural" específico, en el que las acciones que ellos realizan (por ejemplo, identificación de problemas, experimentación, asistencia a congresos, publicación en revistas, elaboración de proyectos y búsqueda de financiamiento) tienen sentido *dentro* de ese universo, tornando dicha actividad inteligible y valiosa para ellos. Por su parte, la actividad en las aulas donde se enseñan ciencias se encuentra inmersa en una cultura también específica, donde los significados difieren ampliamente de los de la cultura científica; por lo común, hay que tomar notas, aprender lo que dice el libro, resolver las actividades y pasar los exámenes.

Las propuestas de *transposición didáctica*, es decir, la búsqueda de formas justificadas de acercar el conocimiento científico y el escolar, habrían de tomar en cuenta también las distancias y los puntos de contacto entre estos dos sistemas culturales; uno, la "academia" (la universidad, el centro de investigación), y otro, las clases de ciencias. Hoy en día se propone considerar el aula como un espacio donde también se genera una actividad científica, con sus propias características distintivas, que llamamos actividad científica escolar (Izquierdo-Aymerich, 2000).

En la actividad científica escolar, el alumnado y los docentes deberían crear una cultura propia, donde las diversas acciones llevadas adelante tengan sentido para todos, incluyendo, por supuesto, tomar notas y hacer evaluaciones, así como realizar actividades experimentales e indagación en campo, resolver problemas, modelizar, argumentar, comunicar y debatir resultados. La escuela, entonces, al igual que los lugares de trabajo de la comunidad científica, debería ser un lugar donde se *cree*, se *aplique*, se *evalúe* y se *difunda* el conocimiento, siguiendo los cuatro grandes contextos de actividad científica planteados por el filósofo español Javier Echeverría (1995). La enseñanza de las ciencias debería permitir al alumnado generar conocimiento relevante sobre el mundo natural y operar con él para intervenir activamente y para tomar decisiones justificadas y responsables. Ese conocimiento sería genuinamente científico, aunque no idéntico al de la ciencia de los científicos.

El aprendizaje puede entenderse entonces ya no como la internalización de un cuerpo de conocimientos cerrado, “listo para usarse”, sino como la posibilidad de que los estudiantes den sentido a sus acciones. Siguiendo a Jean Lave (2001), concebimos el conocimiento y el aprendizaje como “la participación en cambiantes procesos de actividad humana”. Bajo esta concepción, y como lo enfatiza esta autora, el concepto problemático es el de *conocimiento*, y no el de aprendizaje, como en los acercamientos más tradicionales.

El conocimiento está directamente relacionado con la idea de participación. El alumnado, según Lave, aprende constantemente, adaptándose a las situaciones y moderando su participación en ellas. Aprende, por ejemplo, cómo ha de comportarse con los diferentes docentes, cómo responder sus preguntas o cuáles son los horarios y normas de la escuela. El reto de las clases de ciencias sería buscar que la actividad diseñada permita al alumnado aprender también otros aspectos relacionadas con el nuevo espacio cultural específico que se abre ante ellos: el *corpus* de las ciencias como producto y la actividad de investigación científica como proceso.

3.2 Indagación y experimentación

En esta segunda sección buscamos acercar a las maestras y maestros a los resultados de la investigación en relación con:

- Qué es la indagación en la enseñanza de las ciencias y cuáles son los problemas auténticos.
- Cuáles son las estrategias del alumnado en la resolución de problemas y cómo plantear problemas auténticos.
- Qué papel juegan la experimentación, el uso de instrumentos y la recolección de evidencias en la ciencia escolar.



Indagación y problemas auténticos

Con todo lo que hemos desarrollado en la sección anterior, podemos decir que en la actualidad, en el campo de la educación en ciencias, se propone involucrar al alumnado a una genuina actividad científica escolar. Al considerar a las y los estudiantes aprendices de una práctica, ésta (*hacer ciencia escolar*) debería motivar a que ellos generen pensamiento teórico sobre los fenómenos del mundo que construyan representaciones más complejas y modelos teóricos escolares apoyados en la observación y la experimentación, el análisis y la inferencia, la aportación argumentada de evidencias, la reformulación colectiva de las ideas, el planteamiento y la resolución de problemas, la evaluación de resultados; es decir, en lo que podríamos llamar *indagación*.

Los modelos teóricos escolares, como conjuntos de ideas bien organizadas, se construirían paulatinamente desde preescolar, primaria y hasta secundaria. Poco a poco se haría más compleja y profunda su comprensión, incluyendo más ideas, relaciones y causas, y más fenómenos interpretados mediante mejores argumentos, más evidencias, datos y preguntas, con lo cual se ampliarían las generalizaciones de partida y los procesos de abstracción para favorecer el aprendizaje. Por ejemplo, en el modelo de ser vivo se trata la "función de relación", es decir, la capacidad de los seres vivos para percibir lo que sucede a su alrededor. En preescolar se construye la idea de comunicación entre órganos de los sentidos y el cerebro, y lo que es captado por cada sentido; en primaria, las de cambios en el medio, sistema nervioso y tipos de respuestas, y en la secundaria, las ideas de receptores nerviosos especializados y transmisión eléctrica de impulsos (Gómez [2009a] para una propuesta).

Así, hoy día se señala la necesidad de planificar una enseñanza de las ciencias en la que las ideas se complejizan, pero también los procesos, capacidades y actitudes se desarrollan y fomentan, y se generan nuevas formas de participación en las diversas actividades; para ello se han de generar hipótesis de progresión o construir *progresiones de aprendizaje*.

El diseño de actividades para que el alumnado vaya incorporando nuevas ideas y haciéndolas más complejas se ha basado en diferentes marcos de referencia. Uno de ellos, vigente en las últimas dos décadas, fue el llamado cambio conceptual. En el que se pretendía generar actividades que permitieran al alumnado reconocer sus explicaciones iniciales sobre los fenómenos del mundo y después generar un conflicto conceptual, al confrontar dichas ideas con las aceptadas en la comunidad científica (Pozo, 1994). Para la generación del conflicto conceptual se utilizaba un experimento o se planteaba la resolución de un problema que requiriera el uso de explicaciones más cercanas a las dadas por la ciencia. El conflicto conceptual promovía que el estudiante cambiara sus ideas iniciales por las aceptadas en la comunidad científica. Versiones más contemporáneas de cambio conceptual reconocen una modificación gradual de las ideas del alumnado.

Actualmente se habla de cambio representacional, que incluye una gama más amplia de cambios que han de producirse en las ideas de las y los estudiantes. Las representaciones abarcan no sólo conceptos aislados, sino tramas de ideas generadas y usadas en contextos específicos.

Otra propuesta de gran vigencia que en la actualidad se considera tanto un objetivo de aprendizaje como una metodología de trabajo es la indagación. Hoy día se plantean dos competencias genéricas a desarrollar en la educación básica: la resolución de problemas y el manejo y evaluación de la información (véase competencias para la vida y el perfil de egreso de la educación básica).

Como se ha insistido, una línea de investigación que ha buscado, en los últimos años, analizar cómo promover estas dos competencias en el estudiante es la conocida como “aprendizaje por indagación”. Se trata de que el alumnado realice una serie de actividades organizadas, que incluyen un uso extenso y versátil del discurso oral, escrito y gráfico, a fin de solucionar preguntas relevantes o auténticas y que sea capaz de evaluar dichas actividades. Durante las actividades, el alumnado desarrolla saber conceptual, procedimental, actitudinal y valoral, así como comprensión de las ideas científicas y, al mismo tiempo, una mirada acerca de

cómo la comunidad científica estudia el mundo natural (Anderson, 2007). Dada la complejidad en el logro de este objetivo, esta propuesta se ha tratado como un “movimiento hacia”; es decir, hablamos de una tendencia a ir propiciando una enseñanza de las ciencias orientada por la indagación. Cabe señalar que en México este movimiento se ha reflejado últimamente en la propuesta de la SEP, de trabajo por proyectos estudiantiles.

El trabajo por proyectos resulta un espacio privilegiado para el desarrollo de competencias ya que los estudiantes han de combinar conocimientos, capacidades y actitudes de forma adecuada para plantear y resolver una determinada situación. Descripciones relacionadas con diversos tipos de proyectos, sus fases y la forma de organizarlos se pueden encontrar en el libro *Ciencia y Tecnología en la Escuela*, de Aurora Lacueva (2006). Así, podemos decir que todos los puntos que se desarrollan a continuación sobre indagación y problemas auténticos pueden considerarse en el planteamiento de proyectos en la educación básica en México.

El movimiento hacia la indagación busca incorporar dos aspectos relevantes. El primero, desarrollado en el apartado anterior, tiene que ver con entender cómo se construye el conocimiento científico. La ciencia es una actividad humana; los modelos científicos no son la realidad absoluta sino una explicación ajustada a la intervención experimental o de otros tipos (observación, simulación, analogía, formalización), están contextualizados históricamente y se construyen socialmente. Se trata de involucrar al alumnado en una reflexión sobre qué es y cómo se construye el conocimiento científico y sus relaciones con la sociedad y la cultura.

El segundo aspecto pretende que la escuela sea un lugar donde se cree, se aplique, se evalúe y se difunda el conocimiento. Se espera que el rol del alumnado autónomo y autorregulado incluya procesos como: manejar información, interpretar, explicar, generar hipótesis, diseñar sus propias actividades, compartir la responsabilidad de las respuestas, entre otras. Todo ello, centrado en la resolución de problemas genuinos o auténticos, análogos a los que “tiran” de la actividad científica.

Para que los problemas se consideren auténticos deben cumplir con algunas características (véase también algunas consideraciones en apartado 4): a) ser abiertos, sin una única respuesta que los maestros ya sabemos de antemano y que los estudiantes han de “descubrir”; b) permitir la planificación de procesos de obtención de datos y relación de éstos con las ideas científicas para construir evidencias y llegar a conclusiones; c) estar contextualizados, es decir, que los estudiantes los puedan imaginar y entender, que se relacionen con su vida y que pasen en un lugar, un momento y con personajes que les son familiares.

Tal como mencionamos, el trabajo por proyectos se puede plantear como una enseñanza por indagación siempre y cuando no deje de lado los aspectos mencionados. Tampoco hemos de confundir los problemas con actividades que permiten mecanizar procesos de resolución.

Podemos decir, entonces, que la indagación incorpora las visiones socioconstructivistas del aprendizaje en las que se sabe que cada estudiante llega al aula con ideas construidas al margen de la escuela, y que el aprendizaje es un proceso activo en el que los estudiantes construyen significados por ellos mismos. Se busca en esta propuesta una mayor implicación del alumnado en las actividades planteadas en la clase de ciencias. También se considera que los significados se construyen socialmente y la comprensión se enriquece con la comunicación, por lo que en la indagación se incorpora el trabajo colaborativo, la argumentación de las ideas y el logro de consensos.

Estrategias de resolución de problemas y planteamiento de problemas auténticos

Las ideas sobre lo que se considera un problema en clase y cómo se resuelve han ido cambiando a lo largo del tiempo. En la década de los setenta, los problemas eran de tipo lógico-matemático y de mecanización. Para hacer eficiente su resolución se estudiaron la comprensión de enunciados y los tiempos de respuesta, entre otros

aspectos. En la década de los ochenta, influidos por el desarrollo de estudios sobre procesamiento de la información, se puso énfasis en la recuperación de datos de la memoria y su aplicación para generar una solución. No fue sino hasta los noventa que se centró el interés en estudiar a las personas que solucionaban el problema: sus conocimientos, habilidades y motivaciones.

En ese marco, se realizaron estudios enfocados en las diferencias entre *novatos* y *expertos* en la resolución de problemas. Los resultados mostraron que los expertos utilizan mucho tiempo en la planeación de la resolución y van definiendo resultados posibles en diversas etapas, de manera que cuando llegan al final de cada etapa reflexionan sobre si sus resultados son adecuados y, de no ser así, revisan qué errores pudieron haber cometido. Esta revisión se hace sobre la etapa en que se trabaja, sin implicar necesariamente una revisión desde el inicio del problema. Por otra parte, los novatos utilizan poco tiempo en la planeación y pasan directamente a la resolución. Generalmente no dividen el problema en etapas y no definen resultados esperados, de manera que cuando llegan al final pueden tener pocos elementos para saber si su resultado es adecuado; si ven que no lo es, a menudo vuelven al inicio del problema.

Los expertos analizan el problema desde marcos conceptuales amplios, pero consideran la estructura de la disciplina para representárselos, mientras que los novatos utilizan fragmentos de información y no consideran, o no definen, la disciplina en la cual se inscribe el problema.

Lo comentado anteriormente nos podría llevar a suponer que el fracaso escolar en la resolución de problemas se debe exclusivamente a los conocimientos y habilidades del alumnado. Sin embargo, los enfoques más contemporáneos sobre qué es un problema y cómo se resuelve consideran otros aspectos, como los contextos de resolución, la afectividad, las relaciones sociales y la cultura imperante, entre otros.

Los problemas reales representan verdaderos retos para los estudiantes, donde se espera que pongan en juego sus habilidades y conocimientos en la resolución pero, además, adquieran nuevos. Si bien se apunta a la resolución cada vez más in-

dependiente por parte del alumnado, los apoyos brindados por el profesor son básicos. Además, se solapan los aspectos culturales, sociales y afectivos: el contexto de resolución (individual, colaborativo), la motivación que se genera por resolverlo (sólo para sacar una nota o es un reto interesante), la familiaridad (es algo que me atañe a mí o a mi comunidad, o está muy alejado de lo que vivo y me interesa) y otros. Por lo tanto, las dificultades del alumnado en la resolución de problemas pueden estar insertas en el área cognitiva (sus conocimientos y habilidades), emotiva (su interés en solucionarlo), social (su colaboración con otros) y cultural (su cercanía al problema y su capacidad de comprenderlo como tal).

En la enseñanza hemos pasado de tratar de “enseñar a resolver problemas” a “resolver problemas para aprender”; ello implica que los docentes debemos preocuparnos menos en el planteamiento del problema y más en las formas de resolución. Algunas preguntas que pueden servir de guía para definir cuál es un “buen problema auténtico” son: ¿qué aprenderán los estudiantes resolviendo el problema?, ¿los va a motivar?, ¿tendrán que sumar esfuerzos y trabajar en equipo?, ¿pasará algo más que sólo llegar a una solución?, ¿podrán plantear alternativas de acción?, ¿no tienen sólo una vía de resolución?, ¿implican estos problemas la generación de argumentos?, ¿la elaboración de experimentos?, y otras.

Papel de la experimentación científica escolar

Otro de los cambios que se espera en nuestras prácticas al enseñar ciencias naturales proviene de la reconceptualización del papel de la actividad experimental. Hoy en día se cuestiona el mito de la ciencia como una actividad inductiva de generalización a partir de datos empíricos; es decir, la idea ingenua de que generamos conclusiones después de haber tomado datos del experimento. Actualmente, vemos a la ciencia como una empresa compleja en la cual el nuevo conocimiento teórico posibilita intervenciones experimentales que a su vez generan nuevos fenó-

menos a ser estudiados. En este sentido, tras la experimentación no sólo se llega a una conclusión, sino que también pueden obtenerse nuevas preguntas.

Por otra parte, cuando hablamos de procedimientos “típicamente” científicos, a menudo pensamos en habilidades manipulativas, como medir, pesar, preparar una muestra, observar con instrumentos de distinto grado de sofisticación (lupas, microscopios y termómetros). Otro tipo de acciones que a veces se asocian a la palabra “procedimiento” en ciencias son habilidades como: comparar, analizar, comprobar, diseñar un experimento, entre otros. Es menos frecuente que entendamos por procedimientos aquellos procesos cognitivos de alta complejidad que demanda la actividad científica, como inferir, deducir, explicar, presentar evidencias, extrapolar, elaborar analogías o hipótesis, procesos que deberían incorporarse a la experimentación.

Algunos aspectos básicos a introducir en la experimentación son: realizar experimentos o experiencias en los que las y los estudiantes han de convertir las observaciones en evidencias; es decir, vincular los datos con las conclusiones a través de los fundamentos (Osborne *et al.*, 2001); plantearse preguntas significativas; diseñar formas de evaluar los resultados obtenidos; identificar datos anómalos; comunicar las ideas produciendo argumentos coherentes; planificar acciones atendiendo a la teoría; trabajar en equipo aportando elementos a la resolución del problema; incorporar lenguajes simbólicos especializados dando nuevo sentido a las observaciones e intervenciones; generar nuevos instrumentos y procedimientos para resolver y dar sentido; evaluar desde una matriz de valores lo actuado; regular y autorregular los procesos y juzgar la pertinencia de los mismos.

Los experimentos se entienden, entonces, como la capacidad de intervenir en el acontecer de manera controlada para obtener y evaluar información que permite plantear soluciones posibles a una pregunta o problema, o para plantear adecuadamente nuevas preguntas. Un aspecto a considerar es que los experimentos deben tener sentido para el alumnado, y no solamente una serie de pasos a seguir, en los cuales ellos no tienen idea de lo que está pasando o de lo que podría

resultar. Los experimentos, experiencias o actividades de exploración del medio natural nos permiten ir construyendo explicaciones en las cuales incorporamos ideas, las comunicamos y actuamos con ellas.

Algunos estudios muestran que las ideas surgen de imaginar *por qué* un fenómeno se comporta así y describir la estructura interna, composición o funcionamiento de los sistemas, explicar algunas de sus propiedades y finalmente poder intervenir en ellos. Por ejemplo, tras una experiencia de calentamiento del agua nos podemos preguntar: ¿por qué el agua se evapora?, y para contestarla, aun los estudiantes de preescolar pueden imaginar cómo está formada el agua por dentro y qué pasa cuando la calentamos. El modelo de partes (todo está formado por partes) nos puede ayudar a encontrar respuestas para los más pequeños, o el modelo cinético-molecular servirá a los estudiantes de secundaria. Esas partes vendrían a ser las *entidades* para explicar.

Las entidades científicas escolares funcionan a modo de los “personajes”⁴⁹ en un cuento: tienen características, permiten que sucedan cosas y van dando sentido a la historia (Ogborn *et al.*, 1998); ejemplos de entidades serían: célula, átomo, gravedad, entre otras. Los docentes deberíamos apoyar al alumnado al generar estas historias narrativas para la construcción de explicaciones.

Lo que normalmente sucede en la clase de ciencias es que el alumnado interpreta los experimentos desde sus ideas previas, por ello empezar con un experimento inicial para que el alumnado explicita sus ideas de partida puede ayudar a confrontarlas. Luego, introducir nuevos puntos de vista, plantearnos nuevas preguntas y manipular los fenómenos les permitiría observar “otras cosas” y explicar de diferentes maneras el fenómeno estudiado.

Es decir, se requiere una reconceptualización del papel de la experimentación. Los experimentos pueden servir al alumnado para diversas cosas, al igual que sucede con la comunidad científica: para observar un aspecto específico de un fenómeno, para

⁴⁹ Estos “personajes” de la narrativa científica son una analogía para conocer cómo se construyen las explicaciones científicas escolares, pero debemos evitar que el alumnado los confunda con personajes reales o de cuentos.

plantearse preguntas, para aprender a usar instrumentos, para medir y hacer registros, para obtener evidencias a favor o en contra de una explicación, para robustecer un modelo explicativo, o para manipular un fenómeno. Este último aspecto, de suma importancia, suele ser olvidado; sin embargo, un estudiante competente tendría que ser capaz de intervenir en el mundo con un objetivo definido, en el caso de la ciencia escolar, de manipular fenómenos para obtener respuestas a preguntas relevantes y significativas. La experimentación, al igual que todas las otras prácticas escolares, ha de presentarse bien contextualizada, ser accesible a los estudiantes, permitir la colaboración y el intercambio de ideas y generar motivación.

3.3 Comunicación en el aula y construcción de argumentaciones científicas escolares fundamentadas

En esta tercera sección buscamos acercar a las maestras y maestros a los resultados de la investigación en relación con:

- Cómo la comunicación multimodal y la diversidad semiótica de representaciones apoyan el aprendizaje de las ciencias naturales.
- Qué es la argumentación, cuáles son sus elementos y cómo se promueve en el aula.
- La relación entre la argumentación y los problemas complejos (calentamiento global, clonación, drogadicción, entre otros).

Comunicación multimodal en el aula

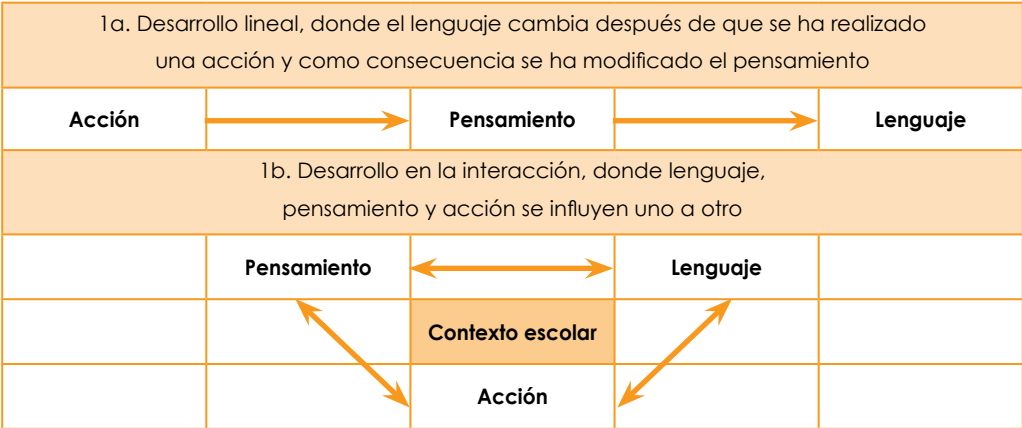
Una línea de investigación consolidada en la actual educación en ciencias se refiere a la comunicación en el aula. Las ideas se comunican, y en esa comunicación se comparten y se mejoran. En principio, y dado que nuestra concepción de la enseñanza de las ciencias es de tipo socioconstructivista (Coll, 1991), estos lenguajes (que no sólo incluyen palabras sino textos, dibujos, gestos, gráficas o maquetas) serán el medio de construcción de signifi-



cados (Lemke, 1997). En este sentido, cobran importancia la comunicación y la construcción del conocimiento en la escuela, ya que comunicar las ideas nos permite contrastarlas y regularlas. Partimos de la idea de que lenguaje, pensamiento y acción son interdependientes, en tanto se adquiere una nueva estructura semántica al mismo tiempo que una nueva forma de pensar la realidad y de actuar sobre ella (Izquierdo-Aymerich, 2001).

Existen diversas interpretaciones del papel del lenguaje en la construcción del conocimiento. Una de ellas, bastante superada, considera que hay una relación lineal y causal simple entre acción, pensamiento y lenguaje, y que podríamos intervenir en la enseñanza directamente a través de una acción por parte del alumnado, y como consecuencia se modificarían el pensamiento y el lenguaje (figura 1a). Versiones más contemporáneas consideran que la relación entre pensamiento, lenguaje y acción no es lineal ni causal, sino que hay una compleja interdependencia (figura 1b) (Izquierdo-Aymerich, 2001, siguiendo a Guidoni, 1985), la cual desde hace tiempo es motivo de numerosas investigaciones (Prat, 2000). Esta segunda manera de concebir el lenguaje nos lleva a implementar actividades en el aula donde poner en juego: lenguaje, pensamiento y acción; por ejemplo, hablar sobre lo que se piensa hacer, comprobar el resultado de la acción; justificar lo que hacemos.

Figura 1. Dos formas de relacionar el lenguaje con el pensamiento y la acción



Para Lemke (1997), elaborar significados es el proceso de vincular las palabras con los contextos; en una oración relacionamos las palabras, mientras que en una situación hemos de asociar quién lo dijo, en qué momento, con qué intención. En este enfoque *semántico*, las representaciones o ideas del modelo generadas por el alumnado han de verse desde ambos lugares; es decir, hay que observar lo que se dice, escribe o dibuja, en tanto su contenido conceptual, pero también en qué contexto lo dicho o dibujado se ha generado y con qué fenómeno se relaciona. De esta manera el lenguaje se ve en su aspecto funcional y no sólo desde el punto de vista lingüístico autónomo, como lenguaje de la mente, sin tener en cuenta la actividad escolar en que se desarrolla. También podemos resaltar la funcionalidad del lenguaje, en tanto nuestra intención en educación en ciencias no es profundizar en la gramática del discurso, sino favorecer las situaciones comunicativas en el grupo (Prat, 2000), y las negociaciones que llevan a compartir no sólo significados, sino tareas al interior del aula.

Si seguimos los trabajos de Jorba y colaboradores (2000), hablamos de competencias cognitivo-lingüísticas para referirnos a los procesos o acciones de describir, explicar, argumentar y justificar, entre otros muchos utilizados en las ciencias naturales (por ejemplo: definir, comparar, refutar, reportar, concluir). Por un lado, entendemos que son procesos cognitivos de bastante complejidad y elaboración, pero también reconocemos que sólo tenemos acceso a ellos a través del lenguaje. Es decir, todos son procedimientos que se *efectúan* en la producción de textos con diferentes géneros o formatos (descriptivos, explicativos, argumentativos, entre los principales).

En esta línea, conviene recordar que cuando hablamos de *textos* nos referimos a unidades de sentido, sean formuladas en lenguaje escrito, oral, gráfico. Es decir, lo que dice un estudiante en clase frente a la pregunta "¿qué ves a través del microscopio?", es también un texto predeciblemente descriptivo.

Las competencias cognitivo-lingüísticas están presentes en todos los procesos de formulación, aceptación, sistematización y comunicación de las ciencias na-

turales; por lo tanto, deberían ser objeto de enseñanza en las clases de ciencias aunque no figuren explícitamente en el currículo, puesto que son verdaderos *instrumentos* para la consecución de los demás objetivos. Como objetos de enseñanza, estas competencias requieren de la presentación de *ejemplos paradigmáticos*; es decir, deberíamos mostrar a nuestros estudiantes qué es una descripción o una buena explicación científicas y enseñarles a hacerlas, revisarlas y mejorarlas.

Además, hoy día se reconoce que la comunicación en el aula es multimodal. Tradicionalmente, en las clases hemos privilegiado la construcción de textos orales y escritos; sin embargo, en ciencias es muy importante incorporar otros modos comunicativos, como ademanes –lenguaje no verbal–, dibujos, maquetas, gráficas, ecuaciones, tablas y figuras tridimensionales (Kress y colaboradores, 2001). Existen varias razones para propiciar la comunicación multimodal en clase:

1. Todos sabemos la importancia que las científicas y los científicos han dado a los dibujos y las maquetas para comunicar las ideas. Además, tenemos los símbolos, las fórmulas y los diagramas. En la ciencia escolar también es necesario que los alumnos comuniquen sus ideas haciendo uso de diversos modos comunicativos y que establezcan relaciones entre ellos (entre texto y diagrama, por ejemplo). Ello se debe a que cada modo comunicativo enfatiza algunos aspectos del modelo: un diagrama, flujos y direcciones a través de flechas; una fórmula, proporciones; una maqueta, relaciones espaciales y otros.
2. Varios estudios muestran que la comprensión del alumnado aumenta al utilizar diversos modos comunicativos de forma relacionada (Mayer, 2007; Gómez, 2009b); por ejemplo, explicar oralmente los dibujos, escribir un texto al lado de una maqueta, hacer un diagrama o una gráfica, además una ecuación y explicarla oralmente, etcétera.
3. En la ciencia, un elemento importante es el uso de convencionalismos; por ejemplo, el símbolo H en química se refiere al hidrógeno, o el símbolo + se usa para la adición. El alumnado ha de ir aprendiendo a usar estos convencionalismos, pero

también aprender a negociar e instituir los propios. Los convencionalismos permiten expresar ideas mediante símbolos, signos o incluso materiales (por ejemplo, unas pelotas de polietileno pueden representar átomos). Así los alumnos generan inferencias, analogías y metáforas y a la vez materializan sus ideas para comunicarlas, lo que les ayuda a generar conocimiento (Thagard, 1992) y a desarrollar la creatividad.

4. Al utilizar diferentes modos comunicativos se favorecen los procesos de regulación, ya que se amplía la posibilidad de discutir el uso de elementos (líneas, símbolos, materiales) y no se discute solamente sobre las palabras dichas o escritas.
5. Hablar sobre cómo se produce el conocimiento científico. La comunidad científica también inventa formas de comunicación y a veces retoma materiales o ideas conocidas para explicar algo nuevo; después, llega a acuerdos tras un proceso de negociación. También en clase acordar el uso de ciertas palabras o símbolos. La recomendación de la literatura es primero usar las palabras y símbolos propuestos por el alumnado y, después de que ellos están familiarizados con su significado, introducir la palabra o símbolo científico y ejercitarse en su uso.

Hoy día se habla de una “competencia representacional”, es decir, la competencia que muestran los estudiantes para entender y generar explicaciones usando un modo comunicativo o varios de forma integrada. Por ejemplo, para entender la representación tridimensional de una célula, para generar una maqueta sobre qué sucede con los alimentos cuando entran en nuestro cuerpo. Esta competencia representacional incluye la perspectiva, la rotación mental de los objetos, la generación de imágenes tridimensionales a partir de una imagen bidimensional, entre otras. Lo anterior señala el valor actual del uso y apropiación por parte del alumnado de la comunicación multimodal. La investigación sobre la competencia representacional se ha desarrollado ampliamente con el uso de las nuevas tecnologías.

La competencia representacional, al igual que las otras competencias, se desarrolla y manifiesta en forma contextualizada. Es decir, no se trata de que el alum-

nado sea competente para realizar dibujos que representen procesos biológicos, físicos o químicos, en general; se trata de desarrollar habilidades, actitudes, conocimiento y capacidades para generar explicaciones usando diversos modos comunicativos y, además, diversificar los contextos de representación. Hablamos de generar muchas oportunidades para que los estudiantes representen e interpreten situaciones de diverso tipo, en temas específicos.

Argumentación

Una dimensión relevante en cuanto a la comunicación, la construcción y la evaluación del conocimiento en el aula es la relacionada con la argumentación. Existen trabajos que analizan sus aspectos teóricos y metodológicos (Jiménez-Aleixandre y Díaz, 2003), o el tipo de argumentos usados por los estudiantes al debatir temas científicos y sociales (Simon *et al.*, 2007), así como la manera en que los estudiantes argumentan para validar sus ideas (Jiménez-Aleixandre, 2010).

La argumentación tiene un lugar central en la clase de ciencias, ya que se trata de una actividad que permite la evaluación del conocimiento a través de pruebas disponibles, para crear explicaciones y tomar decisiones justificadas; es decir, se requiere que el estudiante exponga las razones de sus conclusiones y justifique sus ideas (Jiménez-Aleixandre; Puig-Mauriz, 2010). Al argumentar, el conocimiento es sometido a evaluación, la cual se relaciona directamente con la experiencia o experimentación (datos) y con el conocimiento disciplinario (respaldo).

De acuerdo con el autor que se consulte, los elementos de la argumentación pueden variar; aquí retomamos la propuesta de Stephen Toulmin (2007) (su libro original fue publicado en 1958), por ser la más usada en la investigación actual para el estudio de los argumentos del alumnado (tabla 2).

Tabla 2. Elementos de un argumento, según Toulmin (2007)

Tesis o conclusión	Es la opinión que se sostiene.
Datos	La información sobre la cual se basa la conclusión.
Justificaciones	La justificación o licencia para inferir. Son las garantías que justifican la relevancia de la evidencia (datos sobre la conclusión, bajo la forma de reglas, principios, patrones, entre otras).
Respaldo	El respaldo asegura que las garantías sean fidedignas y aplicables al contexto presente.
Reserva o refutadores	La reserva es una objeción, refutación o excepción a la tesis propuesta.
Cualificador modal	El cualificador modal especifica el grado de certeza de una aserción (tesis).

Por ejemplo:

Tesis: Este verano es muy probable que las aves no aniden en esta laguna.

Datos: No hemos observado aves en los últimos tres años y la temperatura de este verano es igual de baja (no llega a los 23 grados) que en esos años.

Garantía: Si en años anteriores no han venido, probablemente este tampoco.

Respaldo: Varios estudios (...) muestran que estas aves necesitan temperaturas para anidar mayores a 25 grados.

Cualificador modal: Muy probable.

Reserva: A menos que suba la temperatura a más de 25 grados.

Construcción de argumentos justificados

Para analizar cómo argumentan los estudiantes y para enseñarles a argumentar se ha utilizado de forma reiterada la propuesta de Toulmin (2007), desarrollada en el apartado anterior. Especialmente, la relación entre los datos, la conclusión y las justificaciones (Osborne *et al.* 2001). Según Osborne, la evidencia en que se basa cualquier conclusión consiste al menos de dos componentes: datos y justificación. Así, la evidencia es un aspecto central en la argumentación, ya que vincula las observaciones (datos) con la teoría (justificación), dando sustento a las conclusiones.

Específicamente, al usar evidencias en ciencia se ha de reflexionar en torno a tres aspectos (Guillaumin, 2005): a) ¿Qué cuenta como una observación correcta?, por ejemplo, un círculo observado al microscopio; b) ¿Con qué grado de seguridad una cosa indica otra cosa, y cómo medimos ese grado?, inferimos que el círculo observado es una célula, y c) ¿Cómo establecemos la existencia genuina de la cosa inferida?, cómo sabemos qué eso que inferimos observar, la célula, es realmente una célula. Llama la atención, entonces, que la argumentación y el uso de evidencias se relacionan estrechamente con el desarrollo de habilidades cognitivas superiores, como lo es la *inferencia*. Al usar las evidencias y reflexionar sobre cómo utilizarlas, el alumnado ha de elaborar inferencias y comunicarlas de forma articulada con los datos y la conclusión.

La inferencia consiste en extraer ("inferir") de alguna forma consecuencias a partir de los datos disponibles. Por ejemplo, si salgo de casa por la mañana y veo la calle mojada, el cielo cubierto y a la gente con impermeable, infiero que ha llovido.

Además de la argumentación, la analogía es otra competencia cognitivo-lingüística típica de las ciencias naturales que apoya la construcción de un pensamiento inferencial. Se trata de un recurso común del lenguaje y del pensamiento que consiste en buscar *semejanzas* entre dos situaciones, una conocida y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera. Las situaciones (o "escenarios") que se comparan tienen una serie de significados asociados, por

lo cual son llamadas *campos semánticos*. Llamamos *campo fuente* a la situación conocida –en el conocimiento de sentido común o la vida cotidiana– que sirve de punto de partida para la analogía y *campo blanco* a la situación de llegada, desconocida, que se quiere iluminar. El campo blanco está constituido por la ciencia escolar, que es el saber “deseable” tras la enseñanza.

La analogía como mecanismo de creación de significados ha sido muy utilizada a lo largo de la historia de las ciencias naturales, tanto en el contexto de producción de nuevo conocimiento científico como en el de comunicación del conocimiento ya establecido (esto incluye, principalmente, la enseñanza de las ciencias en la escuela).

Relación entre argumentación y problemas complejos

Aprender a argumentar puede tener tres objetivos complementarios: el desarrollo de conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia, el desarrollo de habilidades superiores de pensamiento, y el desarrollo de la ciudadanía. Como se advierte, estos tres objetivos se han venido desarrollando a lo largo de todo este libro como primordiales para la enseñanza de la ciencia.

Respecto al último punto, el desarrollo de una ciudadanía, ver la ciencia como una *actividad* compleja llevada adelante por muchas personas con diferente formación, injerencia y responsabilidad tiene hondas implicaciones en la forma de enseñar las ciencias naturales en la escuela. Por un lado, podemos reconocer la dificultad para, a través de la enseñanza escolarizada, hacer cambiar las ideas de los estudiantes sobre el mundo natural, ideas que para ellos poseen un alto valor cognitivo y afectivo al haber sido construidas en la experiencia individual y en las relaciones interpersonales.

Por otro lado, una ciencia escolar verdaderamente rica debería tener en cuenta la *interacción social* del estudiante en la clase de ciencias naturales con sus compañeros, el profesorado, los materiales y su entorno, tomando en consideración que

las relaciones entre las personas que hacen ciencia en comunidades son fundamentales para su avance. Y por último, deberíamos poner en marcha en nuestras clases una imagen de ciencia dinámica, “de todas y todos”, en la cual los ciudadanos podríamos tomar decisiones responsables en materia sociocientífica.

Los llamados *asuntos sociocientíficos* son problemas complejos cuyo tratamiento involucra no sólo conocimientos científicos y tecnológicos, sino también decisiones que trascienden con mucho el ámbito de la ciencia y requieren de competencias científicas muy elaboradas, como la argumentación. Por ejemplo, el conocimiento biológico sobre qué es un clon y cómo se “fabrica” no proporciona suficiente justificación ni para fomentar ni para prohibir la clonación humana con fines reproductivos. Para tomar decisiones en uno u otro sentido, la sociedad en su conjunto –a través de sus representantes– debe sopesar, además de los aspectos estrictamente tecnocientíficos naturales, cuestiones relacionadas con la ética, la política, la economía, la jurisprudencia y los derechos humanos. Elementos culturales locales, como las tradiciones, la cosmovisión o la religión de un determinado pueblo, y universales, como los tratados internacionales o el respeto por los derechos humanos, sin duda tendrán gran influencia en las decisiones que se tomen. El debate de estos temas en el aula, propuesto en los acercamientos CTS, puede resultar muy fructífero para el alumnado.

3.4 Metacognición y diversidad

En esta última sección se busca acercar a las maestras y los maestros a los resultados de la investigación en relación con:

- El desarrollo de habilidades y actitudes metacognitivas para “aprender a aprender”, como alternativa para atender la diversidad.
- El papel de la mujer en la ciencia y el enfoque de género en la enseñanza de las ciencias naturales.



Habilidades y actitudes metacognitivas y “aprender a aprender”

Si bien los temas anteriores no agotan las aportaciones para la enseñanza desde la educación en ciencias como disciplina, sí abordan algunos de sus elementos fundamentales. Sin embargo, cada uno de éstos se ha de incorporar a una dinámica de aula donde hay diversidad de estudiantes. Para la gestión de dicha diversidad se han postulado varios enfoques. Inicialmente, se centró la atención en la posibilidad de elaborar materiales diferenciados según las habilidades y conocimientos del alumnado; pero, esta propuesta se ha modificado por una vertiente en la que la elaboración de materiales diferenciados va dirigida, más bien, a incluir la diversidad cultural y a contextualizar los materiales para los diversos grupos, especialmente los que hablan otras lenguas.

También la diversidad se ha atendido por medio de las propuestas de trabajo colaborativo. La expresión “aprendizaje colaborativo” se refiere a un término genérico usado para aludir a un conjunto de procedimientos de enseñanza que parten de la organización de la clase en pequeños grupos mixtos heterogéneos, donde las y los estudiantes trabajan conjuntamente de forma cooperativa para resolver tareas académicas (Mir, 1998). Para asegurar una buena colaboración se ha venido recomendando el desarrollo de contratos didácticos, la alternancia entre trabajo individual y grupal, la rotación de funciones en los miembros del equipo, entre otros.

Las tareas académicas de los grupos colaborativos tienen el objetivo de permitir construir significados comunes y apoyar al aprendizaje de habilidades y actitudes metacognitivas; por ejemplo, la regulación del propio aprendizaje, la autoevaluación, la coevaluación y, finalmente, el aprender a aprender. Por lo tanto, esta estrategia de organización va más allá del trabajo en equipo, ya que la finalidad última es también mucho más ambiciosa que la mera organización de las tareas académicas.

Actualmente, se considera que una de las piezas clave del aprendizaje escolar debe ser lograr desarrollar las capacidades de autorregulación del aprendizaje o

regulación interna, más allá del trabajo colaborativo. Zimmerman y Schunk (1989, en Boekaerts, 1999) definen el aprendizaje autorregulado en función de la autogeneración de pensamientos, sentimientos y acciones que están sistemáticamente orientadas al logro de objetivos del propio estudiante. Se pone el acento en la motivación interna o propia de las y los estudiantes para aprender, y en la posibilidad de autorregularse y desarrollar habilidades y actitudes metacognitivas (conocimiento del propio conocimiento). En términos generales, las y los estudiantes exitosos han desarrollado, al margen de la escuela, dichas habilidades; sin embargo, el objetivo es democratizar el aprendizaje; es decir, que todo el alumnado desarrolle habilidades y actitudes metacognitivas que les permitan obtener éxito en sus estudios. Hoy en día sabemos que estas habilidades y actitudes pueden ser aprendidas en la escuela.

Ejemplos de actitudes metacognitivas son: tomar conciencia sobre lo que se sabe y lo que no; planificar la propia actividad; usar el tiempo de manera efectiva; utilizar distintas estrategias de aprendizaje; predecir el éxito del propio esfuerzo; controlar la eficacia de la acción; comprobar el resultado de una tentativa de resolución de problema, entre otras.

Algunos aspectos básicos para favorecer el desarrollo de habilidades metacognitivas y el aprender a aprender son:

- *La evaluación como regulación.* Al introducir como propósito el desarrollo de habilidades para aprender a aprender, un aspecto clave que se ha reformulado es el papel de la evaluación y del error (Astolfi, 1999). La evaluación cambia de papel, del de poner notas, acreditar y sancionar los errores, al de ser un medio para aprender y para regular el propio aprendizaje (Sanmartí, 2007).
- *El conocimiento del propósito de aprendizaje.* Si consideramos que el planteamiento de una ciencia escolar invita a poner el énfasis sobre el proceso de resolución de problemas y sobre la actividad con sentido cultural y de valores implicada en tal proceso, son entonces esenciales la identificación, la explicitación, la ne-

gociación y el acuerdo de los propósitos para la realización de la tarea. En este sentido, Sanmartí (2002), desde el marco de la teoría de la actividad, de perspectiva neovygotkiana, habla también de la importancia de que las y los estudiantes conozcan esos propósitos para permitir generar actitudes metacognitivas y autorregulatorias. El desconocimiento de un propósito común impediría la colaboración; si muchos de los participantes implicados no son capaces de representarse de manera específica a dónde se quiere llegar, no pueden poner sus procesos cognitivos, discursivos y materiales a disposición propia y del grupo para lograr el aprendizaje esperado. Podríamos decir que no habría necesidad de una organización de los estudiantes que trascienda lo meramente formal y conductual, puesto que tampoco hay necesidad de afrontar de manera conjunta, organizada y estructurada la resolución de la tarea compartida.

- *La identificación de logros y retos durante el proceso de aprendizaje.* Se trata aquí de que el alumnado pueda ir identificando los momentos y formas en que va logrando los propósitos de aprendizaje, así como aquello que le falta por lograr durante el transcurso de las lecciones, y no sólo en el examen final. Para ello, se pueden integrar guías de logro de propósitos, auto y coevaluación de explicaciones y otros.
- *La síntesis de lo aprendido.* Otra de las recomendaciones es que el alumnado reconozca sus logros de aprendizaje y sea capaz de “hablarse a sí mismo”, generando síntesis de lo aprendido, así como resúmenes, “acordeones” o bases de orientación. Este último instrumento se refiere a una guía en la que se identifican los pasos a seguir en la resolución de un problema, elaboración de un procedimiento o experimento de laboratorio. Así, el estudiante, con sus propias palabras, describirá de forma sintética, incluso gráfica, qué pasos ha de seguir, introduciendo también las formas de evaluar si sus resultados son correctos.

Existen muchas otras estrategias que pueden utilizarse para favorecer que los estudiantes tomen control del propio aprendizaje, aprendan a reconocer sus

errores y ayudar a sus compañeros a identificarlos, que implementen estrategias exitosas de estudio o que se automotiven para aprender. Lo importante es que, como profesores, debemos tener en cuenta que son las y los estudiantes quienes aprenden y quienes, entonces, pueden realizar una real regulación de sus procesos cognitivos, afectivos y sociales para lograr los propósitos que ellos mismos se fijan. Aquí, el reto es lograr que reconozcan y se apropien de los propósitos que les planteamos en la ciencia escolar y se responsabilicen de sus propios procesos de aprendizaje.

El papel de la mujer en la ciencia

Un aspecto que no podemos dejar de lado es el llamado *enfoque de género* en la enseñanza de las ciencias. Hablar de género es distinto a hablar de sexo; los géneros femenino y masculino se entienden como una construcción histórica, social, cultural y subjetiva que asigna ciertos roles y características a cada grupo. Es común asociar esos roles asignados a hombres y mujeres, por ello se dice que las mujeres son (es decir, tienen de manera natural esas características) emotivas, sensibles, atentas, volubles, etcétera, mientras se asigna otras características, generalmente opuestas, a los hombres. Esta construcción social ha generado múltiples desigualdades que se ven reflejadas, inclusive, en el acceso de mujeres y hombres a carreras científicas y en el trato que los niños reciben en la escuela.

Si bien hoy día muchas mujeres acceden a carreras científicas, se sabe que en términos generales, al terminirlas y durante el desarrollo profesional, son los hombres quienes destacan social y académicamente en las evaluaciones nacionales. Todavía la ciencia es vista como una actividad de hombres, especialmente las llamadas “ciencias duras”, como la física y la matemática, son áreas donde abundan más los hombres que las mujeres.

Los estudios de género llaman la atención sobre la importancia de que las niñas y mujeres sean incluidas en la actividad científica escolar. Diversos estudios han

mostrado el trato diferencial que tienen niñas y niños en las clases en general y en las clases de ciencias en particular (Mingo, 2006). Por ejemplo, se ha evidenciado que los docentes atienden mayoritariamente las preguntas realizadas por los hombres, ignorando a las mujeres; asimismo, suelen castigar más frecuentemente a los niños que a las niñas. El resultado, aunque parezca paradójico, es una actitud más activa y propositiva de parte de los niños y una actitud más desinteresada y apática en las niñas. Los estudios sobre *género y educación científica* señalan algunos otros puntos preocupantes (Kelly, 1987):

- Las niñas reciben mensajes negativos de parte de profesoras/es y compañeras/os acerca de su "competencia" para hacer ciencias.
- Las expectativas familiares y sociales hacia las niñas no incluyen que ellas "se involucren" con las ciencias de ninguna manera.
- En la enseñanza de las ciencias circulan gran cantidad de estereotipos de género: las ilustraciones, los textos y su lenguaje, los ejemplos y las biografías destacadas construyen una imagen masculina de ciencia.

Además, otros estudios indican que muchas mujeres se desaniman en estudiar ciencias naturales por considerarla una actividad masculina. Esto se debe a que tanto en la sociedad como en la escuela el papel de las mujeres científicas se ha invisibilizado (Solsona, 2003). En los libros de texto, los hallazgos que han realizado algunas científicas son casi inexistentes, y en nuestras clases pocas veces hablamos de las aportaciones de este grupo en el desarrollo de las ideas.

Por ejemplo, un estudio realizado por Medrano-Castañeda y Tinoco-Ojanguren (2005), sobre las imágenes que se introdujeron en el libro integrado de primer año de la SEP (reimpresión 1999), mostró que las niñas ahí ilustradas desarrollaban actividades relacionadas a responsabilidades domésticas (limpieza, servir alimentos), cuidado de enfermos y cercanía a la naturaleza (oler flores, regar plantas). Por

otro lado, los niños se mostraban en trabajo no doméstico (música, venta, oficios), estudiando o realizando experimentos y jugar o correr.

Para empezar a romper estereotipos un buen sitio es la *formación inicial y continuada de los maestros y maestras de ciencias*. La cuestión de acercar a las niñas a las ciencias naturales constituye –a nuestro juicio– un punto focal en el cual se ha de trabajar intensamente.

Por una parte, parece importante trabajar sobre las *actitudes* del profesorado, que reflejan valores socialmente instalados. En este sentido, no sólo los profesores sino también las profesoras contribuimos a perpetuar el estereotipo con acciones y omisiones. En segundo lugar, resulta crucial encontrar el equilibrio entre la presentación de “casos” de mujeres en la historia de la ciencia y la reflexión acerca de la sostenida ausencia de ellas hasta mediados del siglo XX. Creemos que la perspectiva de género se puede trabajar en clase de ciencias con actividades que movilicen y en las que se vivencie toda la magnitud de la problemática: de allí la posible elección de formatos para el desarrollo y fortalecimiento de valores, como la discusión crítica de fuentes, el debate y los juegos de rol.

En clase, resulta de suma importancia que se muestren mujeres científicas, pero también que las niñas sean incluidas en las ilustraciones de los libros realizando las mismas actividades que los niños, que se les permita manejar los aparatos experimentales (utilizados mayoritariamente por los niños), que se atienda a sus preguntas con igual interés y respeto que a las de los niños, entre otras acciones. Todo lo anterior implica introducir un enfoque de género en la enseñanza de las ciencias, demanda de la mayor actualidad en nuestra sociedad contemporánea (Solsona, 2003).

Finalmente, reconocemos que es igual de importante enseñar los contenidos de ciencias que hacer que las y los estudiantes comprendan cuestiones acerca de la naturaleza de la ciencia y que en el transcurso aprendan a autorregular su propio aprendizaje. Se busca que los estudiantes (sin distinción de género) sean capaces y estén motivados para participar en la sociedad, para utilizar habilidades cognitivas

y comunicativas de orden superior, sepan argumentar y tomar decisiones en asuntos sociocientíficos de importancia para su vida cotidiana, juzguen la validez del conocimiento y de la información a la que acceden, y den sentido al mundo por medio de ideas teóricas abstractas que son parte del patrimonio colectivo.

4. ¿Qué se necesita para enseñar ciencias?



María Teresa Guerra Ramos

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL,
UNIDAD MONTERREY, MÉXICO

María del Pilar Jiménez Aleixandre

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES,
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPAÑA

En este apartado se identifican algunos aspectos sobresalientes para la enseñanza efectiva de las ciencias en la educación básica con la intención de favorecer la reflexión de las maestras y los maestros acerca de su quehacer educativo. Se discuten algunos resultados y sugerencias derivadas de la investigación educativa contemporánea sobre las prácticas docentes exitosas y el desarrollo profesional en el área de ciencias naturales.

4.1 Áreas de competencia profesional de los docentes

Con base en algunos trabajos de investigación recientes, en este apartado se esbozan las grandes áreas de competencia que se han identificado en la práctica docente y que la hacen una profesión multifacética, intelectual y emocionalmente demandante. Se mencionan algunos rasgos que perfilan las competencias docentes implicadas en la enseñanza de las ciencias, necesarias para el desarrollo del perfil del educando.

Asimismo, se analizan algunos resultados de la investigación en relación con:

- Las características de la docencia efectiva de las ciencias, de acuerdo con estudios empíricos.
- El debate sobre la importancia de los conocimientos disciplinarios *vs* las competencias didácticas.

La docencia es una profesión de gran relevancia social que exige actuar para responder a una realidad siempre cambiante. Al igual que otras actividades, enseñar ciencias requiere de una formación idónea y una continua actualización porque las ciencias mismas evolucionan constantemente, se generan innovaciones didácticas, nuevas propuestas curriculares y materiales educativos. También cambian, por supuesto, los contextos educativos y sus actores. Desde hace tiempo, la actividad docente se ha reconocido como un aspecto crítico en la formación integral de la población infantil y adolescente, y representa uno de los elementos más determinantes del éxito o fracaso de las reformas educativas (Guerra, 2009). Como sugieren Hargreaves y Fullan (1992:IX), lo que el profesorado piensa, sabe y hace en el salón de clases es el factor más determinante en el tipo de aprendizaje que construyen los estudiantes.



Enseñar ciencias es una tarea profesional creativa, intelectual y emocionalmente demandante. Es también una forma de interacción humana que por definición involucra la intención de ayudar a que otros aprendan, es decir, a apropiarse de nuevas ideas, procedimientos, actitudes y valores relacionados con el mundo de las ciencias (OCDE, 2006; Unesco, 1994). ¿Qué necesitan saber y saber hacer los profesores para enseñar ciencias de manera efectiva en educación básica? Es difícil dar una respuesta única a esta pregunta, pues se podrían formular varias a partir de diversas posiciones teóricas y pedagógicas. Desde hace décadas, ha existido una preocupación por explorar y describir la base de conocimientos profesionales de quienes enseñamos, tanto para sustentar la formación de maestros como para apoyar su reconocimiento social como una actividad profesional (Veerloop *et al.*, 2001). Desde la perspectiva constructivista y sociocultural que adoptamos en este texto —es decir que el conocimiento se construye en las interacciones sociales—, coincidimos con Shulman (1986) en la identificación de algunas áreas de conocimientos profesionales de los docentes:

- Conocimiento del contenido a enseñar: se refiere al conocimiento disciplinario que posee el profesor.
- Conocimiento pedagógico del contenido: o lo que hoy día llamamos didáctica de ciencias, que integra el conocimiento disciplinario y pedagógico, es decir tanto el dominio de los temas a enseñar como de las estrategias efectivas para enseñarlos.
- Conocimiento del currículo: la comprensión y manejo de los materiales y programas que sirven como herramientas para la enseñanza.
- Conocimiento pedagógico general: los principios y estrategias generales para el manejo del grupo y la organización de actividades en el espacio de enseñanza.
- Conocimiento sobre los aprendices: un conocimiento elemental de las características físicas, intelectuales, sociales y afectivas de los estudiantes.

- Conocimiento del contexto escolar, es decir, del funcionamiento del grupo atendido, la comunidad escolar, la administración y la organización de la escuela.
- Conocimiento de las finalidades educativas: o de los propósitos y valores de la actividad educativa en cuestión, y de sus fundamentos.

Perrenoud (2004) también ha propuesto un esquema referencial de dominios de competencias que considera prioritarias en la formación continua del profesorado. Podemos sintetizar y subrayarlos de la siguiente manera:

- Organizar y animar situaciones de aprendizaje.
- Gestionar el avance gradual en los aprendizajes.
- Atender a la diversidad en el aula y en la escuela.
- Involucrar a los estudiantes para que adquieran responsabilidad por su propio aprendizaje.
- Trabajar con otros profesores y afrontar dificultades de manera colectiva.
- Participar en la gestión de la escuela.
- Informar e involucrar a los padres.
- Utilizar las nuevas tecnologías y recursos disponibles.
- Afrontar los deberes y dilemas éticos de la docencia.
- Organizar la propia formación continua.

La identificación de áreas de competencia ha orientado tanto la investigación como las iniciativas para mejorar la formación y el desarrollo profesional de los docentes de ciencias. Lo más destacable de contribuciones como las de Shulman y Perrenoud es el interés por centrar la atención en el saber profesional (*expertise*) derivada de la experiencia y la práctica; más que en una interminable lista de conocimientos y habilidades descontextualizadas. Un docente puede dominar una diversidad de conocimientos teóricos o prácticos, estrategias y técnicas de enseñanza, pero si no logra comunicarse con los estudiantes de

manera efectiva y estos no aprenden ciencias, todo ese bagaje profesional se vuelve irrelevante. Por ejemplo, entender perfectamente las leyes de Newton o el desarrollo cognitivo de los adolescentes sirven de poco, si como docentes somos incapaces de establecer una relación positiva, respetuosa y de entendimiento mutuo con los estudiantes.⁵⁰

Varias contribuciones recientes que pretenden identificar las cualidades de un profesor experto o competente (Unesco, 1996; Feito, 2002; Kortaghen, 2004) han coincidido en señalar que las relaciones interpersonales y las estrategias de comunicación son dos ejes centrales del saber docente. Por ejemplo, Castellà y colaboradores (2007:14) proponen que, junto a los aspectos cognitivos del aprendizaje, debemos poner énfasis en la relación social que posibilita todo el proceso educativo. Con base en estudios empíricos, nos proponen una perspectiva del docente como un comunicador eficaz (tabla 3).

Tabla 3. El docente como comunicador en el aula (Castellà <i>et al.</i>)	
Relación interpersonal positiva	Estrategias de gestión del conocimiento
• Capacidad negociadora. • Identificación con el mundo de los estudiantes. • Alto grado de energía, entusiasmo y sentido del humor. • Madurez emocional.	• Sólida formación disciplinaria. • Autonomía en la selección de contenidos. • Variación en las formas de presentación de los conocimientos. • Atención a los intereses e ideas previas de los estudiantes.

⁵⁰ Los procesos comunicativos en el aula aún requieren ser investigados y mejor comprendidos. A este respecto, Lira y Guerra (2009) reportan un estudio en el que se analizan dos aproximaciones comunicativas en el contexto de la enseñanza de la biología en una secundaria mexicana. En él quedan ejemplificados el discurso dialógico y el discurso autoritativo, que los docentes pueden llegar a reconocer y a usar de manera propositiva en su interacción con los estudiantes.

En cuanto a la capacidad de establecer relaciones interpersonales positivas y las estrategias de gestión del conocimiento, podemos añadir algo al debate sobre la importancia de los conocimientos disciplinarios versus las competencias didácticas. La investigación educativa señala que es la combinación de estos dos elementos la que suele caracterizar a los docentes competentes (Barnett y Hodson, 2001), de tal manera que no se ha probado que los profesores con formación científica especializada sean más competentes que los profesores con formación que incide preferentemente en aspectos pedagógicos (Zuzovsky *et al.*, 1989). Otro argumento a favor de la necesaria combinación de conocimiento y competencias para comunicarlo, proviene de las dificultades que tienen los especialistas en áreas científicas para comunicar sus ideas en textos o presentaciones orales para no especialistas.

Los programas de formación inicial y las actividades orientadas al desarrollo profesional de docentes para la enseñanza de las ciencias, intentan equiparlos con los conocimientos básicos de las disciplinas científicas, las estrategias de enseñanza, las nociones acerca del currículo y sobre los estudiantes que requieren en su práctica profesional. Sin embargo, un problema al que se enfrentan es cómo proporcionar todos estos elementos de manera suficiente, equilibrada y oportuna; ya que no se pueden proveer en una sola vez y para siempre. Los docentes de ciencias podemos empezar por vernos como profesionistas que asumimos responsabilidad por nuestro desarrollo profesional. Aun cuando resulta muy difícil definir la base de conocimientos de cualquier actividad profesional y no existe un modelo único de "profesor competente", se pueden mencionar varios rasgos para valorar personalmente nuestro grado de competencia:

- Estilo personal de comunicación y relación positiva con los estudiantes.
- Dominio satisfactorio de conocimientos científicos.
- Perspectiva moderna y actualizada sobre el mundo de la ciencia.
- Disposición a actuar como facilitador del aprendizaje (preparando actividades, diseñando experimentos, creando un clima apropiado para aprender).

- Actitud abierta para orientar y motivar el aprendizaje y gusto por las ciencias.
- Atención a los intereses e ideas previas de los estudiantes.
- Disposición para recoger información relevante que señale el grado de aprendizaje logrado por los estudiantes y cómo mejorar la enseñanza (evaluar tanto el aprendizaje como la enseñanza).
- Capacidad de incorporar recursos pedagógicos y tecnológicos innovadores.
- Disposición a cooperar con otros profesores para mejorar el currículo, los materiales de apoyo y las prácticas docentes.
- Capacidad de reflexionar sobre nuestra práctica y de estar abiertos a la mejora continua, en la perspectiva del profesorado reflexivo.

Barnett y Hodson (2001) sugieren no perder de vista el contexto de enseñar ciencias, pues como docentes necesitamos reconocernos como profesionistas que laboramos en un ambiente educativo con características y demandas particulares. Las demandas que enfrentamos en los niveles de educación preescolar, primaria y secundaria son distintas y exigen grados de involucramiento y responsabilidad mayores a medida que los estudiantes tienen menor edad. En este sentido, resulta crucial identificar nuestras áreas de competencia mejor desarrolladas y aquellas por desarrollar. Esto nos facilitará tanto compartir con otros profesores lo que ya dominamos como buscar las oportunidades de formación más apropiadas a nuestras necesidades.

4.2 Planeación didáctica y diseño de actividades auténticas

Este apartado aborda la planeación didáctica como un proceso inherente a la práctica docente. Se discute lo que han revelado los trabajos de investigación sobre las prácticas habituales de planeación y algunos modelos de planeación derivados de los mismos. También se estudia el diseño de actividades a partir de algunas experiencias exitosas de innovación en el aula de ciencias reportadas en la literatura.



Se recuperan resultados de investigación respecto a:

- La planeación didáctica para la enseñanza de las ciencias.
- Modelos de planeación derivados de la práctica docente.
- Innovación en el aula de ciencias: diseño de actividades auténticas.

Planeación de la enseñanza de las ciencias

En nuestra vida profesional, quienes enseñamos ciencias afrontamos el reto de planear nuestros cursos y clases. Con frecuencia, y ante las presiones cotidianas, tomamos algunas decisiones simplemente para usar los periodos disponibles y cubrir los programas de estudio. Wittrock (1997) ha revisado la investigación relacionada con las finalidades y las formas en que los profesores planifican, encontrando que siempre realizan algún tipo de planeación, en grado variable. Durante este proceso de planeación, los profesores transformamos el currículo oficial, cambiando el orden y el énfasis de los temas, agregamos y quitamos elementos, interpretamos los contenidos a partir de nuestros conocimientos y experiencias. Una pregunta central que vale la pena hacernos es si existen formas de planeación didáctica más efectivas que otras para promover el aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes. Revisemos brevemente en qué consiste la planeación didáctica y algunas propuestas que se han derivado de la investigación educativa.

Anticipar lo que vamos a hacer y tomar previsiones para ello es una competencia compleja de la que se puede sacar mucho partido en distintas áreas de actividad humana. Cuando se trata de enseñar ciencias en el jardín de niños, la escuela primaria o la secundaria; la planeación pedagógica hace posible:

- Tener metas pedagógicas claras.
- Organizar el tiempo eficientemente.
- Aprovechar los recursos disponibles.

- Reunir oportunamente materiales.
- Definir las actividades a realizar y su orden.
- Anticipar dificultades y contratiempos.
- Disponer de estrategias adecuadas para la evaluación.

Hacer planeación didáctica implica reconocer que las mejores situaciones de aprendizaje difícilmente se producen de la improvisación o el juicio espontáneo; por lo tanto, han de generarse propositiva y anticipadamente para situar a los estudiantes ante algo relevante que comprender, una meta que cumplir, un proyecto que llevar a cabo o un problema por solucionar. La planificación en el aula consiste entonces en diseñar secuencias o unidades didácticas en las que cada actividad o situación de aprendizaje corresponda a una etapa en un proceso gradual de enseñanza.

Casanova (1998:202) señala que hemos de partir del diseño curricular oficial, tener en cuenta el programa para el nivel educativo y grado específico que se atiende hasta llegar a planificar unidades didácticas debidamente secuenciadas y temporalizadas para favorecer la igualdad de oportunidades y la enseñanza de calidad. Casanova señala que hay algunos elementos básicos de cualquier unidad didáctica (tabla 4).

A continuación nos centramos en estudios que han documentado la práctica de la planeación por docentes, en los que se proponen modelos que hacen énfasis en ciertas fases o momentos críticos en la enseñanza. Tales fases delimitan su finalidad y el tipo de actividades a considerar. Todos los estudios elegidos se basan en una perspectiva constructivista que considera al alumnado como protagonista de su aprendizaje y le asigna un papel activo. Needham y Hill (1987) reportan una experiencia colaborativa entre docentes e investigadores, de planear e implementar lecciones sobre temas como energía y nutrición de plantas. Después de un proceso de pruebas y retroalimentación, proponen un esquema de planeación que probó su efectividad en el aula y que se basa en una interacción entre los es-

Tabla 4. Elementos de una unidad didáctica (Casanova, 1998)	
Objetivos	¿Para qué enseñar?
Contenidos	¿Qué enseñar?
Actividades	¿Cómo aprenderán las alumnas y alumnos?
Metodología	¿Cómo enseñar?
Recursos didácticos	¿Con qué enseñar?
Evaluación	¿Cómo mejorar la enseñanza y el aprendizaje?

tudiantes, y entre éstos y el profesor. Por su parte, Mortimer y Scott (2003) al observar a profesores experimentados de ciencias en escuelas públicas de Inglaterra y Brasil, identificaron los objetivos de enseñanza que los docentes seguían en sus lecciones. De esos objetivos se deriva un esquema de planeación que promueve un espacio social donde los intercambios verbales entre el docente y los estudiantes facilitan la elaboración de significados durante la enseñanza. Como resultado de varios estudios y experiencias de formación docente, Sanmartí (2005) también ha desarrollado un esquema relativamente sencillo para la planeación de unidades didácticas con orientación constructivista. Los tres esquemas mencionados se sintetizan en la tabla 5.

Estos esquemas de planeación coinciden en varios aspectos:

- La importancia de iniciar una experiencia de aprendizaje tomando en cuenta las ideas de partida de los estudiantes, para lo cual hay que dar oportunidad de que las expresen libremente y en un ambiente de respeto.

Tabla 5. Comparación de esquemas de planeación

Needham y Hill (1987)	Mortimer y Scott (2003)	Sanmartí (2005)
Orientación	- Plantear un problema. - Explorar y trabajar con las ideas de partida de los estudiantes.	Exploración inicial
Ubicación y contextualización del tema.		Planteamiento del problema/tema objeto de aprendizaje.
Externalización de ideas iniciales		Explicitación de ideas y conocimientos iniciales.
Reestructuración de ideas	Introducir y desarrollar la "narración científica"	Introducción de nuevos puntos de vista
- Construcción de ideas nuevas. - Conflicto entre las ideas iniciales y las ideas nuevas. - Evaluación de las ideas nuevas.		- Apoyo a la construcción de ideas coherentes con las científicas. - Comunicación y argumentación de lo aprendido.
Aplicación de ideas		Síntesis
Oportunidades de usar lo aprendido.	Guiar el trabajo con las ideas científicas y apoyar la internalización	Sistematización y estructuración de los nuevos aprendizajes.
Revisión	- Guiar la aplicación de las ideas científicas y pasar la responsabilidad al estudiante. - Mantener el desarrollo de la "narración científica".	Aplicación
Repaso y toma de conciencia de lo aprendido.		- Utilización de los nuevos aprendizajes en otras situaciones. - Planteamiento de nuevas preguntas.

- La introducción gradual de información nueva (ideas, relaciones, explicaciones), que puede coincidir o no con lo que los estudiantes ya sabían, y que se introduce como el punto de vista de la ciencia, una perspectiva alternativa a los conocimientos que elaboramos en la vida cotidiana.

- La necesidad de ofrecer oportunidades para recapitular y articular los nuevos conocimientos de manera organizada y clara.
- La importancia de "cerrar" la experiencia de aprendizaje con oportunidades para aplicar lo aprendido en otros casos, situaciones, ejemplos; lo cual además sirve como parte de la evaluación.

Asimismo, los esquemas de planeación serían de utilidad si se adoptan de manera sistemática y su efectividad reportada en la literatura puede ser puesta a prueba nuevamente en nuestras aulas. Guerra y Sánchez (2007) documentan la aplicación de un esquema de planeación y su implementación en el contexto de la formación de profesores de secundaria.

Innovación en el aula de ciencias: diseño de actividades auténticas

Los estudios realizados desde la psicología han sugerido que contemplemos las dificultades en el aprendizaje de las ciencias comparándolo con otros aprendizajes que tienen mejores resultados, como el de un oficio. Según Brown, Collins y Duguid (1989), el conocimiento no puede abstraerse de las situaciones en las que se aprende y utiliza, como ocurre en un taller de mecánica donde se aprende a reparar coches. Sin embargo, en la clase de ciencias se pide al alumnado que utilice las herramientas de una disciplina, sin practicar su uso en contextos reales. El conocimiento conceptual como ocurre con una herramienta nueva (pensemos en un teléfono móvil) no es comprendido por completo hasta que no es usado. Es difícil explicarle a alguien cómo funciona si no lo ponemos en práctica.

Por esta razón se propone, en informes recientes sobre el aprendizaje de las ciencias (Duschl *et al.*, 2007; OCDE, 2006; Osborne y Dillon, 2008) que el alumnado tenga la oportunidad de participar en indagaciones (*inquiry*) o pequeñas investigaciones que duren algún tiempo, que tome parte en prácticas científicas, como

modelizar o argumentar. Para ello es necesario que las tareas a realizar en clase sean actividades *auténticas* (véase apartado 3.2 Indagación y experimentación), llamadas así en contraposición a las actividades escolares estereotipadas. ¿Qué entendemos por actividades o problemas auténticos? ¿Cómo podemos diseñarlos? En Jiménez Aleixandre (2010) se discuten las características que debemos tener en cuenta al planificarlas:

- *Naturaleza problemática*. En primer lugar, la tarea ha de ser un verdadero problema, que no tenga una solución obvia, ni pueda ser resuelta por el alumnado al buscar la pregunta unas páginas más atrás del libro de texto. Por ejemplo, podemos sustituir una pregunta sobre la presión que experimenta un cuerpo sumergido en agua a determinada profundidad por esta tarea que Miguel Bernal, del proyecto RODA (Razonamiento, Discusión, Argumentación, llevado a cabo en la Universidad de Santiago de Compostela), diseñó para sus alumnados de secundaria: ¿Cómo podemos sacar a flote el submarino U201 Wolf de la Segunda Guerra Mundial, que está hundido en la ría de Vigo?
- *Contexto relevante para el alumnado*. Deben ser cuestiones que tengan el potencial de interesar al alumnado, en las que sea fácil reconocer su utilidad, su relevancia para la vida real, mejor que cuestiones abstractas. Las situaciones en las que se requiere la aplicación de conocimientos deben resultar familiares para los estudiantes, así podrá identificarlas y relacionarlas con su vida. Por ejemplo, la elección de un sistema de calefacción para un edificio, que sea más barato y de menor impacto ambiental (Jiménez, Gallástegui, Eirexas y Puig, 2009).
- *Apertura*. La mayoría de los problemas de la vida real tienen un cierto grado de apertura, en el sentido de que admiten varias soluciones posibles, y a veces ninguna de ellas es la mejor en todos los aspectos (en contraposición a los problemas escolares, que son cerrados, teniendo una única solución). Es deseable que las tareas auténticas den lugar a varias respuestas posibles; por ejemplo, en la elección de calefacción, algunos pequeños grupos optaron por el gas natural (por resultar

más barato en España, y producir menor impacto ambiental), y otros por energía solar, combinada con electricidad o con gas natural. Ninguna de estas soluciones es óptima, pues todas implican utilizar recursos no renovables, aunque tienen en cuenta que, de momento, no es posible generar energía de origen solar suficiente para la calefacción de un edificio. Esta variedad genera debate y lleva al alumnado a justificar sus opciones. En las cuestiones puramente disciplinarias quizás haya sólo una respuesta adecuada, y la apertura puede entenderse como distintos caminos para llegar a resolver el problema.

- *Procesos de resolución que implican indagación.* El alumnado debe diseñar un experimento para generar datos, seleccionar los datos relevantes entre los disponibles, poner los datos en relación con las hipótesis o explicaciones, identificar pautas en los datos, construir explicaciones o elegir una opción entre varias decisiones posibles. Todo ello requiere de tiempo y es deseable que se le dediquen varias sesiones de clase. Fernández (2009) discute ejemplos de experimentos diseñados por el alumnado para dar respuesta a sus propias preguntas, por ejemplo, ¿influye la Luna en el crecimiento de las plantas?

En la tabla 6 se resume un problema auténtico para aplicar las nociones de transferencia de energía y pirámides tróficas en el contexto de la gestión de recursos pesqueros y el agotamiento de los recursos marinos. No resulta fácil para el alumnado comprender que es distinto comer organismos situados en un nivel más o menos elevado de las cadenas tróficas y que, debido a la pérdida de 90% de energía al pasar de un nivel a otro, es más eficiente comer en los niveles más bajos (plantas o herbívoros) que en los más altos (carnívoros primarios o secundarios).

Como puede notarse, el problema anterior reúne las características de los problemas auténticos: naturaleza problemática, contexto relevante, apertura y procesos de resolución que implican indagación. Los problemas auténticos, dependiendo de su complejidad y el tiempo necesario para resolverlos, se consideran en distintos momentos durante la planeación didáctica.

**Tabla 6. Resumen de un problema auténtico y datos para resolverlo
(Bravo y Jiménez, 2010)**

Problema	
La población de un pequeño pueblo ha sufrido el paso de un huracán, que ha echado a perder su cosecha y ha matado al ganado. Durante una temporada el único recurso que tiene para alimentarse serán los peces de una pequeña bahía próxima al lugar. Para poder alimentar a la máxima población durante el mayor tiempo posible, ¿sería mejor alimentarse de arenques y sardinas –que se alimentan de pequeños crustáceos– o de salmón? Justifica tu respuesta.	
Datos empíricos	Nociones teóricas
• Para producir 1 kg de salmón son necesarios de 3 a 5 kg de sardinas y arenques (Powell, 2003). • Dieta del salmón. • Dieta de las sardinas. • Pirámide de producción.	• Transferencia de energía. • "Regla del 10%". • Procesos biológicos de los organismos (respiración, fotosíntesis, excreción).

Pueden plantearse: a) como una actividad desencadenante que capture la atención e interese a los estudiantes en el tema; b) como una actividad para explorar las ideas de partida de los estudiantes; c) para identificar la información crítica que no está disponible de momento y que requiere ser buscada; d) como un contexto de aplicación de lo aprendido, y e) como una actividad de evaluación que permita a los estudiantes desplegar habilidades, conocimientos y actitudes. Estos son problemas con potencial para involucrar a los estudiantes en procesos de razonamiento e indagación que contribuyan a su formación integral y se acerquen a aquellos practicados por las comunidades científicas.

4.3 Uso de libros de texto y otros materiales educativos

Enseguida se resumen resultados de investigaciones que indican cómo los docentes de ciencias utilizan los materiales educativos a su alcance. Se aborda,



en particular, la importancia de los libros de texto en el contexto nacional y la incorporación de otros materiales educativos para enriquecer la enseñanza.

Las principales ideas de la investigación educativa que se pretenden introducir en este apartado son:

- El uso que hacen los docentes de los materiales educativos.
- El papel del libro de texto en el aula de ciencias.
- Creatividad e iniciativa en el uso de materiales educativos.

La investigación realizada tanto en nuestro país como en otros contextos coincide en señalar que los profesores solemos usar los materiales educativos a nuestro alcance con distintos énfasis y grados de apropiación. Durante mucho tiempo, el libro de texto ha sido el material empleado más intensamente, en ocasiones el único disponible. Recientemente, en las escuelas se han ido incorporando poco a poco otros recursos destinados también a apoyar la enseñanza de las ciencias, como modelos tridimensionales, computadoras con acceso a Internet, software educativo, unidades didácticas y paquetes para la realización de actividades experimentales, entre otros; sin embargo, su disponibilidad y acceso siguen siendo muy variables en las escuelas públicas mexicanas.

En la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en educación básica, los libros de texto han jugado un papel central como fuentes de información para docentes y estudiantes, y son estructuradores de la dinámica de la clase (García Herrera, 2001; Quiroz, 2001). Algunos autores incluso han sugerido que los libros de texto constituyen el *currículo de facto* (Altbach y Kelly, 1988); o *currículo real*; es decir, la interpretación del oficial más cercana a la práctica docente.

Varios trabajos dan cuenta de cómo los profesores utilizamos los libros en las clases de ciencias. Si bien la mayoría de libros presenta los contenidos combinando información, imágenes, actividades prácticas y otros elementos; se reporta que

con frecuencia el uso más común es leer su contenido escrito ya sea de manera individual, colectiva o expositiva. Jara (1989), por ejemplo, documentó el uso de los libros de texto gratuitos vigentes en su momento. Encontró que 65% de profesores participantes en el estudio realizaban actividades basadas en el libro de texto, como dictado, copiado de textos, cuestionarios y dibujos, y que sólo 30% realizaba las actividades prácticas sugeridas en los libros. Sin embargo, también se han documentado situaciones en las que los docentes retomamos actividades de libros de textos comerciales, o incorporamos otras que modifican las propuestas didácticas de los libros oficiales y las adaptamos a necesidades particulares (García Herrera, 2001; Naranjo y Candela, 2006).

A pesar de la centralidad de los libros de texto en la práctica docente, aún hace falta motivar un uso crítico, flexible y creativo, y de otros materiales educativos. Los profesores como usuarios de estas herramientas tendríamos mucho qué decir en cuanto a su calidad, utilidad y pertinencia, a fin de participar en una mejora constante de los mismos. La tendencia a ver los materiales educativos como fuentes incuestionables de conocimientos científicos y de propuestas didácticas, debe ser contrarrestada con un uso reflexivo que permita incorporar diversos recursos e identificar qué utilidad tiene cada uno para lograr determinadas finalidades pedagógicas. Consideremos una planeación didáctica relacionada con los seres vivos, cuya finalidad sea familiarizar a los niños pequeños con los insectos y arácnidos de la región, identificar los que son ponzoñosos y prevenir picaduras. En este caso, podemos pensar en una secuencia de actividades congruente con estas finalidades, que nos permita explorar lo que los pequeños ya saben y las experiencias relevantes que han tenido, introducir información nueva y llamar la atención de los niños hacia aspectos críticos que no habían notado, desarrollar habilidades de observación y el uso de lupas, ejemplificar medidas preventivas para evitar picaduras, y aplicar los conocimientos nuevos ante especímenes menos comunes en la región. Una vez definida la secuencia y su lógica, es más fácil seleccionar e incorporar diversos recursos y materiales disponibles, como un ser

vivo, láminas, imágenes bajadas de Internet, un libro sobre insectos, un video u otros recursos a nuestro alcance. Nuevamente recurrimos a Casanova (1994:206) para recordar que los materiales educativos que elegimos han de tener ciertas características, como:

- Adecuados a la edad del alumnado.
- Adecuados a las características psicológicas del alumnado.
- Científicamente apropiados para el área/materia en que se utilizan.
- Didácticamente útiles para la comprensión y aclaración de contenidos.
- Coherentes con el currículo y los proyectos institucionales.
- Favorecedores de actividades relevantes de aprendizaje.
- Recursos al servicio de la planeación didáctica en oposición a que la planeación didáctica esté dirigida y condicionada por el material seleccionado.

La SEP ha generado en los últimos años diversos materiales complementarios a los libros de texto, como cuadernos de trabajo, videos, audiocintas, programas como Habilidades digitales para todos, entre otros. La diversificación de los materiales con los que trabajamos nos ayuda saber cuáles están disponibles, solicitarlos a la instancia correspondiente o bien consultarlos u obtenerlos en préstamo en los Centros de Maestros.

Actualmente, existen muchos materiales impresos por casas editoriales y paquetes educativos producidos por otras empresas, otros están disponibles en Internet. Durante las últimas décadas, la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) a las aulas, ha abierto nuevos retos y posibilidades para la enseñanza (Bingimlas, 2009). Incorporar al sistema de enseñanza recursos, como la computadoras, la Internet, el pizarrón electrónico, entre otros, requiere no sólo de que estén físicamente disponibles y sean funcionales, sino también de que seamos competentes al utilizarlos y podamos identificar su potencial educativo. Es relativamente fácil que estos recursos se conviertan

en medios para el despliegue monótono y acrítico de información, la repetición y el repaso en un modelo de enseñanza basado en la transmisión-recepción. Por otro lado, se abre la posibilidad de que las TIC se conviertan en recursos que apoyen los procesos de comprensión, reflexión, argumentación, toma de conciencia y trabajo colaborativo. Perrenoud (2004), en relación con el uso de las nuevas tecnologías, señala algunas ventajas de que docentes usen las TIC en la edición de documentos, el logro de los objetivos de enseñanza, la comunicación a distancia, y en el uso de recursos multimedia que combinan textos imágenes, video y sonidos.

Lo esencial al utilizar cualquier material o recurso es tener claro que ninguno de ellos constituye una fórmula mágica; lo importante es cómo lo utilizamos y si promovemos con él que nuestros estudiantes piensen, colaboren, discutan, argumenten, observen, exploren y sean creativos. Se trata pues de que el uso de los materiales promueva el aprendizaje auténtico y el desarrollo de competencias. Hemos de asegurarnos que los materiales que seleccionamos son coherentes con la educación responsable que queremos otorgar a los estudiantes; sobre todo usarlos de manera creativa, adaptándolos a nuestras circunstancias y contexto.

4.4 Evaluación del aprendizaje y de la enseñanza

En este apartado se habla de la evaluación como un proceso que permite retroalimentar a estudiantes y a docentes para mejorar su desempeño. Se hace notar que tradicionalmente la evaluación ha estado centrada en las y los estudiantes, pero también se orienta hacia el mejoramiento de la enseñanza. Además, se refieren algunas estrategias que se pueden implementar para evaluar conocimientos y conductas relevantes en la ciencia escolar.

Se recuperan resultados de investigación respecto a:



- La evaluación como retroalimentación de los procesos de enseñanza y aprendizaje.
- Estudios sobre evaluación en el aula y nuevas perspectivas.

Funciones de la evaluación en el aula de ciencias

La evaluación de lo que se aprende y enseña en nuestras aulas es un elemento imprescindible si, como profesores, realmente deseamos formar a nuestros estudiantes como ciudadanos capaces de participar en el mundo actual y tomar decisiones que promuevan mejoras en su vida personal y en la comunidad en la que se desenvuelven. Con frecuencia, profesores y estudiantes solemos poner mucha atención en los exámenes que solicitan respuestas correctas, las cuales significan recuperar mecánicamente de la memoria la información “vista” en clase o revisada en libros de texto.

Desafortunadamente, en muchos contextos persiste la idea de que los mejores estudiantes son quienes son capaces de repetir términos, conceptos, relaciones y clasificaciones. Sin embargo, la información que este tipo de evaluación proporciona no sirve para saber si somos capaces de relacionar lo aprendido en la clase de ciencias con situaciones cotidianas, ni para hacernos conscientes de lo que sabemos y lo que nos falta por aprender, ni por qué tenemos dificultades en comprender algo, o si podemos hacer algo para aprender/enseñar de manera más eficiente.

Tal como se sugiere en la sección 2.3, es necesario cuestionar y modificar las ideas sobre la evaluación de profesores del alumnado como una condición para aprender y enseñar mejor. También se señala ahí que la evaluación tiene dos finalidades fundamentales: una pedagógica y una función de acreditación. En cuanto a la finalidad pedagógica, es importante visualizar la evaluación como una forma de identificar dificultades y obstáculos de los estudiantes para aprender; además, de hacer evidentes sus logros y avances por mínimos que sean para que tomen conciencia de ellos. En cuanto a la finalidad de acreditación, es importante cambiar

de una perspectiva centrada en la información correcta, hacia una perspectiva basada en la acción competente –que muestra la capacidad de usar el conocimiento interiorizado, en la interpretación de situaciones o solución de problemas nuevos y complejos. Esto implica, por supuesto, diversificar las estrategias de evaluación que usamos en el aula e ir más allá del examen tradicional.

Sin intención de agotar un tema tan amplio como la evaluación, aquí abordamos el asunto desde la perspectiva de las competencias del profesorado. Perrenoud (2004) sugiere que la evaluación vista como un proceso formativo está en la base de las competencias docentes: retomar los errores de los estudiantes para construir y no para descalificar; promover su avance y su autoestima; responder a la heterogeneidad del alumnado; involucrar a los estudiantes en el aprendizaje, y orientar la formación continua y el desarrollo profesional basada en la reflexión sobre la práctica docente.

Tradición e innovación en evaluación

Para una caracterización de las prácticas más comunes de evaluación en las aulas y otros aspectos de la evaluación en la enseñanza de las ciencias, se pueden revisar los trabajos de Gitomer y Duschl (2003), y Black (2003). En esta sección simplemente señalaremos que, en congruencia con la perspectiva que hemos venido esbozando, coincidimos con Casanova (1998), quien afirma que renovar la evaluación es un camino para renovar la enseñanza. A continuación se ofrece una síntesis de instrumentos de evaluación diferenciados por finalidades que Sanmartí sugiere para diversificar e innovar (tabla 7).

Por supuesto que los instrumentos enumerados no agotan todas las posibilidades, sin embargo, ejemplifican distintas formas de evaluar y aspectos que usualmente no consideramos. Difícilmente puede formularse una sola manera para implementar una evaluación innovadora en el aula; como profesores debemos elegir e incorporar los elementos que juzguemos apropiados al contexto en que trabajamos.

Tabla 7. Instrumentos de evaluación diferenciados por finalidades (adaptado de Sanmartí, 2007)

Diagnóstico o Evaluación inicial
• Preguntas abiertas y contextualizadas para comprender la lógica del que aprende. • Preguntas de opción múltiple diseñadas a partir de respuestas a preguntas abiertas. • Mapas conceptuales que muestren las relaciones entre conceptos que inicialmente establecen los estudiantes. • Esquemas para identificar lo que el alumno cree que sabe. • Conversación libre. • Portafolio o carpeta de trabajo.
Evaluación de la representación de los objetivos de aprendizaje
• Explicitación de objetivos por parte del profesor y autoevaluación de los alumnos acerca de cuándo creen que los logran. • Expresión de lo que los alumnos creen que están aprendiendo o han aprendido. • Diarios de clase con opiniones de los alumnos contrastando lo que creían que iban a aprender y lo que han aprendido. • Mapas conceptuales que se construyen o analizan colectivamente a medida que se aprende un concepto nuevo y se relaciona con los demás. • Análisis de trabajos de alumnos de cursos anteriores y explicitación por parte de los alumnos de lo que se espera que sean capaces de hacer.
Evaluación de la calidad de la anticipación y planificación de la acción
• Bases de orientación, carta de navegación en las que los estudiantes resumen las operaciones necesarias para hacer una tarea o actividad. • Diarios de clase que recojan lo que los alumnos creen que han aprendido y cómo lo han aprendido. • Esquemas, diagramas, mapas conceptuales que organicen e interrelacionen lo aprendido.

Evaluación de la representación o percepción de los criterios de evaluación

- Elaboración de parrillas (cuadros) de criterios de evaluación por parte de los alumnos que aplicarán a sus producciones.
- Aplicación de parrillas de criterios de evaluación elaboradas por el profesorado.
- Contratos de evaluación, donde alumnos y docentes negocian y acuerdan tanto los contenidos como los criterios de evaluación.
- Diarios de clase que recojan lo que los alumnos han aprendido bien y lo que no acaban de entender o saber hacer.
- Elaboración por parte de los alumnos de preguntas de un posible examen.
- Elaboración y corrección de ejercicios en actividades de coevaluación.
- Revisión de respuestas a preguntas o actividades planteadas en la evaluación inicial, explicitando los criterios para valorarlas.

Evaluación de los resultados de los aprendizajes esperados

- Pruebas escritas que incluyan preguntas "productivas", cuya respuesta exige relacionar conocimientos aplicándolos al análisis de situaciones no trabajadas anteriormente.
- Mapas conceptuales realizados por los alumnos.
- Realización de proyectos o trabajos que requieran aplicar los conocimientos aprendidos. Pueden concretarse en escritos, maquetas, dramatizaciones, murales.
- Exposición oral sobre algún tema en que se demuestren las relaciones con lo aprendido.
- Responder de nuevo el cuestionario inicial e identificar los cambios producidos en los conocimientos.

4.5 Comunidades de aprendizaje en el aula

En esta sección se analiza la perspectiva de transformación de las clases de ciencias en comunidades de aprendizaje.

Se discuten resultados de investigación relacionados con:

- La escuela y la clase como una comunidad de aprendizaje.
- Estrategias que permiten transformar las clases de ciencias en comunidades de aprendizaje.
- Algunos ejemplos de comunidades de aprendizaje.



La escuela y la clase como una comunidad de aprendizaje

La idea de considerar la escuela y el aula como una comunidad de aprendizaje, forma parte de la perspectiva constructivista que considera el aprendizaje situado en su contexto (Brown *et al.*, 1989), y a la que nos referimos en el tema 4.2. Planeación didáctica, donde se analiza la puesta en práctica en el aula de algunas propuestas congruentes con esta perspectiva.

La propuesta de *aprendizaje cooperativo dirigido* de Brown y Palincsar (1989) está explícitamente fundamentada, en primer lugar, en la idea de la *génesis social* de la comprensión individual, según Vygotski (1995) y Piaget (1979); en segundo, en la estructura de la *argumentación* de Toulmin (2007) y, en tercer lugar, en el estudio *del diálogo* en clase, de Cazden (1990). Estos son referentes en los que coinciden con Candela (1999) y Jiménez Aleixandre (2003). Brown y Palincsar, en el trabajo mencionado, enmarcan su propuesta en el aprendizaje cooperativo, pero no únicamente en cuanto a la eficacia de la estructura organizativa (cooperativa o competitiva) en los resultados o productos, sino también en la influencia del contexto cooperativo en *procesos de pensamiento* –como elaboración de ideas, análisis y resolución de problemas. En particular, analizan los procesos de explicación en el seno de los grupos, la forma en que los participantes piden justificaciones de las afirmaciones. Estas autoras prestan atención al apoyo cognitivo, al significado de *colaboración* que distribuye la carga cognitiva entre los participantes que adoptan distintos roles y comparten la responsabilidad, y proporciona modelos de procesos cognitivos –ya que las estrategias de pensamiento (preguntar, explicar o evaluar) se ejecutan explícitamente en público, dando modelos para lo que después ha de ser realizado de forma independiente y privada–, ayudando a aprender a aprender.

Un ejemplo de la metodología derivada de esta propuesta es la *enseñanza recíproca* (Brown y Palincsar, 1989), diseñada para ayudar a estudiantes con dificultades en la comprensión de textos y que ha sido extendida a otros dominios. Es un aprendizaje cooperativo dirigido, en el que docente y estudiantes se turnan en la dirección de una discusión sobre un texto que intentan comprender juntos. Las discusiones son abier-

tas y se practican –en el caso de la comprensión de textos– actividades estratégicas, como preguntar, aclarar o resumir. Estas estrategias se introducen como herramientas para articular la discusión, pues son las que los buenos estudiantes emplean, por su cuenta, en una especie de diálogo interno para comprender los textos que leen; en la enseñanza recíproca se practican en contexto, no se enseñan como actividades aisladas. Esta forma de proceder hace *externos* estos intentos *internos* de comprensión, practicados primero socialmente hasta ser adoptados poco a poco como parte del repertorio personal de estrategias de aprendizaje.

La enseñanza recíproca asigna un importante papel al docente, quien proporciona el modelo de comportamiento experto, modelando actividades de comprensión, de forma que resulten *públicas*, explícitas y concretas, lo que en condiciones normales no ocurre, ya que las actividades de control de comprensión suelen ser privadas. Las autoras indican que, en la enseñanza recíproca, no todos los participantes son iguales; la profesora o profesor ocupa una posición privilegiada.

Las clases concebidas como comunidades de aprendizaje se fundamentan, según Ann Brown (1992), en la noción de comunidades de práctica de Pierre Bourdieu, y en la propuesta de Lave y Wenger (1991), del aprendizaje concebido como una participación creciente en comunidades de práctica, semejante a la experimentada por los aprendices de un oficio. En español no existe una palabra diferente para uno y otro tipo de aprendizaje, por lo que hemos propuesto (Jiménez Aleixandre, 2003) tomar del portugués el término *aprendizado* para hacer referencia a la inmersión en la práctica de aprender, a lo que se denomina “aprendizado cognitivo”.

Estrategias que permiten transformar las clases de ciencias en comunidades de aprendizaje

En las *comunidades de aprendizaje*, la investigación, la búsqueda de un modelo de aprendizaje y enseñanza está estrechamente unida a la acción, la mejora del

aprendizaje. La enseñanza recíproca es uno de los componentes de las comunidades de aprendizaje. Para Ann Brown (1992), la filosofía de estas clases es diferente de la tradicional, diferencias resumidas en la tabla 8 y que, según indica, es más adecuado contemplarlas como extremos de un continuo que como dicotomías. En las comunidades de aprendizaje cambia el papel del alumnado y también el del profesorado, el currículo y la evaluación, lo que en nuestra opinión responde a que las clases son sistemas con complejas interrelaciones entre sus dimensiones. Esta propuesta de Brown guarda semejanza con otras realizadas desde la perspectiva de investigación-acción, y con las que proponen un papel activo de las y los estudiantes como “investigadores” con su participación en las prácticas científicas.

Tabla 8. Cambios en la clase, adaptado de Brown (1992)		
	Clase tradicional	Comunidad de aprendizaje
Alumnado	• Receptor pasivo.	• Investigadores, maestros.
Profesorado	• Lección tradicional.	• Indagación dirigida.
Currículo	• Amplitud, extensión. • Fragmentado. • Memorizar hechos.	• Profundidad. • Coherencia explicativa. • Comprender.
Evaluación	• Examen tradicional.	• Utilización del conocimiento.

Algunos aspectos sobre los que se pone el acento, además del rol activo del alumnado, es un diseño curricular que favorezca la comprensión y la coherencia explicativa de las teorías, y sistemas de evaluación centrados en el uso del conocimiento, y no sólo en su retención.

En las comunidades de aprendizaje cambia el papel del alumnado como activos constructores de conocimiento, protagonistas de su propio aprendizaje a los que se pide, por ejemplo, que generen propuestas, productos (sean modelos físicos, informes escritos o diseños experimentales), preguntas, que lleven a cabo investigaciones, o que justifiquen sus conclusiones u opciones con pruebas (Jiménez Aleixandre, 2008).

También cambia el papel del profesorado que actúa como modelo de las indagaciones y las dirige; estimula al alumnado a apoyar sus enunciados en pruebas, o favorece la reflexión sobre su aprendizaje y sobre cómo controlarlo. En las clases concebidas como comunidades de aprendizaje hay un ambiente de diálogo, pero esto no significa que el docente tenga el mismo papel o responsabilidad que los estudiantes.

En las clases que constituyen comunidades de aprendizaje, la indagación (*inquiry*) constituye el núcleo del currículo. En las clases de ciencias, las y los estudiantes toman parte en prácticas científicas, como elaborar y criticar argumentos (Jiménez *et al.*, 2009) o construir y usar modelos. El currículo se organiza en torno a actividades auténticas, como las discutidas en la sección 4.2, a la resolución de problemas. Se favorece la profundidad frente a la extensión, centrando el trabajo en una selección de temas clave. Este tipo de enseñanza y aprendizaje requiere también cambios en la evaluación en el sentido abordado en el apartado anterior.

Algunos ejemplos de comunidades de aprendizaje

¿Cómo poner en práctica los principios de diseño resumidos más arriba? ¿Es posible transformar las clases en comunidades de aprendizaje?

El trabajo de Antonia Candela, en aulas de México, muestra cómo llevar a la práctica la perspectiva que pone la responsabilidad de aprender en gran medida en las manos del alumnado. En su libro *Ciencia en el aula* (1999), Candela documenta la negociación de significados en aulas de primaria; por ejemplo, cómo se

construyen en una clase de quinto de primaria las relaciones entre lo observado en un experimento sobre la combustión, las pruebas (o evidencias) empíricas, la versión de los expertos ("los que saben más") y la legitimación de los conocimientos. La autora analiza el papel del discurso en esta construcción y legitimación de conocimientos científicos en el aula, las distintas fuentes de conocimiento, como pueden ser, por una parte, el consenso en la propia clase y, por otro, el libro o los expertos externos. Un aspecto al que se presta atención en el libro es la orientación hacia el acuerdo o consenso, no sólo por parte del profesorado, sino especialmente del alumnado.

Candela concluye que las y los estudiantes contribuyen a la construcción del conocimiento de ciencias, se apropian de recursos, fuentes de conocimiento de las ciencias y los utilizan creativamente. Esta apropiación es posible, en nuestra opinión, porque, como se documenta en el libro, los docentes crean condiciones adecuadas para la participación del alumnado en el discurso del aula, en los diálogos y propuestas, en la interpretación de lo observado, en la legitimación del conocimiento.

En España, López y Jiménez (2007) analizan el desarrollo de una unidad didáctica basada en una salida al campo en cuarto grado de primaria, en un aula y un centro en el que gran parte de la responsabilidad del aprendizaje se pone en manos del alumnado que, en este caso, decide colectivamente y en este orden, a lo largo de seis días, sobre: a) cómo comportarse en el campo para ser respetuosos con el medio, b) qué estudiar en la salida y, c) cómo estudiarlo. Los autores exploran la forma en que distintos estudiantes debaten propuestas, cómo las justifican e intentan persuadir a otros –es decir, cómo argumentan– y a qué conocimientos científicos recurren en este proceso. Un tema especialmente debatido y que da lugar a argumentos de cierta complejidad, es el de si se pueden capturar animales o no, en concreto, ranas. López y Jiménez concluyen que el desarrollo de las competencias argumentativas del alumnado parece relacionado con unas tareas que demandan un papel activo por parte del mismo.

En resumen, vemos que es posible convertir las clases en comunidades de aprendizaje y que en ellas hay una estrecha relación entre el papel activo del alumnado, el papel del profesorado dirigiendo la construcción de conocimientos y un currículo basado en tareas auténticas que interesen al estudiante.



Bibliografía

1. ¿Por qué y para qué enseñar ciencias?

- Akker, J. V. D. (2003), "The Science Curriculum: Between Ideals and Outcomes", en B. Fraser, J. y K. G. Tobin, *International Handbook of Science Education (Part one)*, Netherlands, Kluwer.
- Bernal, M. J. y M. J. López (2005), "Educación científica para la ciudadanía: algunas aportaciones desde la perspectiva de la historia del currículum escolar en España", en *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, VII Congreso.
- Chevallard, Y. (1991), *La transposición didáctica*, Buenos Aires, Aique.
- Claxton, G. (2001), *Educación mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*, Madrid, Machado Libros.
- Duschl, R. (1996), *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Madrid, Narcea.
- Estany, A. y M. Izquierdo (2001), "La didactología, una ciencia del diseño", en *Ciencia y Educación. Endoxa*, núm. 14 (monográfico), pp. 13-34.
- Fourez, G. et al. (2006), *Des compétences négligées par l'école. Les raconter pour les enseigner*, Presses universitaires de Namur.

- García, E. (1998), *Hacia una teoría alternativa de los contenidos escolares*, Sevilla, Diada.
- Gil, P. D. y A. Vilches (2006), "Contribución de la educación secundaria a la formación de ciudadanas y ciudadanos para una sociedad sostenible", en *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica*, Unesco.
- Guerra-Ramos, M. T. (2006), "Los científicos y su trabajo en el pensamiento de los maestros de primaria: una aproximación pedagógicamente situada", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (31), pp. 1287-1306.
- Guidoni, P. (1985), "On Natural Thinking", en *European Journal of Science Education*, 7 (2), pp. 133-140.
- Hodson, D. (1986), "Philosophy of Science and Science Education", en *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), pp. 215-225; versión en español: Filosofía de la ciencia y educación científica, en R. Porlán, E. García y P. Cañal (1988) (Comps.), *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*, pp. 7-22, Sevilla, Diada.
- Izquierdo, M. (2005), "Hacia una teoría de los contenidos escolares", *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), pp. 111-122.
- (2006), "Por una enseñanza de las ciencias fundamentada en valores humanos", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (30), pp. 867-882.
- Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999), "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales", en *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), pp. 45-59.
- Jiménez, J. y D. Rodríguez (2010), "Concepciones de Ciencia y Aprendizaje de Profesores de Primaria en un Ambiente de Aprendizaje de N.E.E Asociadas a la Discapacidad: estudio de caso de su relación con la práctica docente", en *Memoria Simposio Aprendizajes y Desarrollo en Contextos Educativos*, México, Universidad Pedagógica Nacional. ISBN: 978-607-413-072-0.
- Klafki, W. (1958), *Didaktische Analyse als Kern des Unterrichtsvorbereitung*, Basel, Wienheim.
- Kymlicka, W. (2003), "La educación para la ciudadanía", en *La Política vernácula. Nacionalismo, multiculturalismo y ciudadanía*, Barcelona, Paidós Estado y Sociedad.
- Lemke, J. L. (2006), "Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir", *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (1), pp. 5-12.

- López, M. y J. Morcillo (2007), "Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales", en *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3), pp. 562-576. Disponible en: http://saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen6/ART5_Vol6_N3.pdf
- López-Mota, A. (2003), "Introducción", en A. López-Mota (Coord.), *Saberes científicos, humanísticos y tecnológicos: procesos de enseñanza y aprendizaje. La Investigación Educativa en México (1992-2002)*, vol. 7, tomo I, pp. 357-368, México, Consejo Mexicano de Investigación Educativa.
- Macedo, B., R. Katzkowicz y M. Quintanilla (2006), "La educación de los derechos humanos desde una visión naturalizada de la ciencia y su enseñanza: aportes para la formación ciudadana", en *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica*, Unesco.
- Millar, R. (1996), "Towards a Science Curriculum for Public Understanding", en *School Science Review*, 77 (280), pp. 7-13.
- Pedrinaci, E. (2006), "Ciencias para el mundo contemporáneo: ¿Una materia para la formación ciudadana?", en *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 49, pp. 9-19.
- Pontes, A. (2005), "Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. Primera parte: funciones y recursos", en *Revista Eureka*, 2, (1), pp. 2-18.
- Pujol, R. (2007), *Didáctica de las Ciencias en la Educación Primaria*, Madrid, Síntesis Educación.
- Rodríguez, D. y A. López-Mota (2006), "¿Cómo se articulan las concepciones epistemológicas y de aprendizaje con la práctica docente en el aula? Tres estudios de caso de profesores de secundaria", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (31), pp. 1307-1335.
- Sanmartí, N. (2002), *Didáctica de las ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*, Madrid, Síntesis Educación.
- SEP (2009), *Plan de Estudios 2009. Educación Básica. Primaria (2ª ed.)*, México.

- White, R. (1994), "The Dimensions of Content", en P. Fensham, R. F. Gunstone, R. T. White (Eds.), *The Content of Science: a Constructivist Approach to its Teaching and Learning*, London, The Falmer Press.
- Wittgenstein, L. (1997), *Investigaciones filosóficas* (62ª ed.), Barcelona, Crítica.
- Yus, R. R. (2000), "Áreas transversales y enfoque curricular integrado en la educación básica", en *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, España, Marfil.

Páginas electrónicas

- Ciencias para el mundo contemporáneo. Aproximaciones Didácticas*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (2008). Disponible en: <http://www.fecyt.es/fecyt/seleccionarMenu2.do?strRutaNivel2=;Publicaciones;guiasymanales&strRutaNivel1=;Publicaciones&tc=publicaciones> (consultado el 10/06/09).
- Década por un Educación para la Sostenibilidad. Disponible en: <http://www.oei.es/dekada/accion000.htm> (consultado el 10/19/09).
- Enseñanza de la ciencia y las matemáticas con tecnología. Disponible en: <http://www.efit-emat.dgme.sep.gob.mx>
- Programa Enciclomedia. Disponible en: <http://www.encyclomedia.edu.mx/>
- "Web sobre la década por una educación para la sostenibilidad. Educadores para la sostenibilidad" (2004), *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2, 2, pp. 278-281. Disponible en: http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen2/Numero_2_2/rese%F1a_8.pdf (consultado el 10/19/09).

2. ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias?

- Acher, A., M. Arcà, y N. Sanmartí (2007), "Modelling as a Teaching-learning Process for Understanding Materials, a Case Study in Primary Education", en *Science & Education*, 91, pp. 398-418.

- Adúriz-Bravo, A. y M. Izquierdo (2009), "Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales", en *Revista Electrónica de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 40-49. Disponible en: http://www.exa.unicen.edu.ar/reiec/files/num_esp/2009/REIEC_esp_2009_art4.pdf
- Alsop, S., G. Gould y M. Watts (2002), "The Role of Pupils", *Questions in Learning Science*", en S. Amos, y R. Bootham (Eds.), *Aspects of Teaching Secondary Science: Perspectives on Practice*, London, Routledge.
- Astolfi, J. P. (1999), *El error un medio para enseñar*. Colección Investigación y Enseñanza, núm. 15, Sevilla, Diada.
- Beckers, J. (2001), "Aider les élèves a développer des compétences: Revolution o Continuite?", en *Puzzle*, 10, pp. 2-10.
- Binet, A. (1905), *New Methods for the Diagnosis of the Intellectual Level of Subnormals*. Disponible en: <http://psychclassics.yorku.ca/Binet/binet1.htm>
- Binet, A. y T. Simon, (1983), *The Development of Intelligence in Children* (reprint 1983). Ayer Company, Salem, New Hampshire. Disponible en: <http://www.indiana.edu/~intell/simon.shtml>
- Black, P. et al. (2003), *Assessment for Learning: Putting it into Practice*, England, Open University Press.
- Boekaerts, M. (1999), "Self-regulated Learning: Where we are today". *International Journal of Educational Research*, 31, pp. 445-457.
- Brooks, D. (2007), *The Outsourced Brain*. *The New York Times*. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2007/10/26/opinion/26brooks.html>
- Brown, J. S., A. Collins y P. Duguid (1989), "Situated Cognition and the Culture of Learning", *Educational Researcher*; 18 (1), pp. 32-42.
- Candela, A. (1999), "Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso", México, Paidós Educación.
- Cassany, D. (2006), "Tras las líneas: sobre la lectura contemporánea", Barcelona, Anagrama.
- Castellanos, J. et al. (1977), *Biología* (Primer Curso), México, Esfinge, 180.

- Claxton, G. (1995), "*Vivir y aprender*", Madrid, Alianza.
- Cosgrove, M. y R. Osborne (1985), "Lesson Frameworks for Changing Children's Ideas", en Osborne, R. y P. Freyberg, *Learning in Science: The Implications of Children's Science*, Heinemann.
- Delors, J. (Coord.) (1996), *La educación encierra un tesoro*, Madrid, Santillana/Unesco.
- Denyer, M. et al. (2007), *Las competencias en la educación. Un balance*, México, FCE.
- Duschl, R. A. (1995), "Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual", *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), pp. 3-14.
- (1997), *Renovar la enseñanza de las ciencias*, Madrid, Narcea.
- Duschl, R., y J. Osborne (2002), "Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education", *Studies in Science Education*, 38, pp. 39-72.
- Ennis, R. H. (1987), "A Taxonomy of Critical Thinking Dispositions and Abilities", en Baron, J. B. y R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching Thinking Skills*, pp. 9-26, New York, Freeman and Company.
- Ernest, P. (1995), "The One and the Many", en Steffe, L. y J. Gale (Eds.), *Constructivism in Education*, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp. 459-486.
- Eurydice (2002), *Las competencias clave*, Madrid, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Fernández de Castro, I. (2006), *La mercantilización del sistema de educación público*, Madrid, Federación de Movimientos de Renovación Pedagógica.
- Gallego, R. (2004), "Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), Art. 4. Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Gilbert, J. y C. Boulter (2003), *Models and Modelling in Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K. y Watts, D. M. (1983), "Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education", *Studies in Science Education*, 10, pp. 61-98.
- Gimeno-Sacristán, J. (2008), "Diez tesis sobre la aparente utilidad de las competencias en educación", en J. Gimeno-Sacristán, (Comp.), *Educación por competencias, ¿Qué hay de nuevo?*, Madrid, Morata.

- González, V. y E. De la Torre (1971), *Física*, México, Progreso, 342.
- Gott, R., y R. Roberts (2006), "The Role of Evidence in the new KS4 National Curriculum for England and the AQA Specifications", en *School Science Review*, 87.
- Izquierdo, M. (2004), "Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar", en *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92 (4/6), pp. 115-136.
- Izquierdo, M. et al. (1999), "Caracterización y fundamentación de la Ciencia Escolar", en *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 79-91.
- Joshua, S. y J. J. Dupin (1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, PUF.
- Jorba, J. y N. Sanmartí (1996), *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*, Madrid, MEC. Disponible en: <http://antalya.uab.es/ice/sanmarti/>
- Justi, R. (2006), "La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos", en *Enseñanza de las Ciencias*, 24, pp. 173-184.
- Márquez, C. y A. Prat (2005), "Leer en clase de ciencias", en *Enseñanza de las Ciencias*, 23(3), pp. 431-440.
- Márquez, C. et al. (2004), "La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras", en *Investigación en la escuela*, 53, pp. 71-81.
- McLaren, P. (1994) (2nd ed.), *Life in Schools: an Introduction to Critical Pedagogy in the Foundations of Education*, New York, Longman.
- Medina, D. y L. Gómez-Llorente (2006), *Neoliberalismo y educación*. Jornadas Neoliberalismo, Autonomía y Gestión Escolar, Madrid, Barcelona. Disponible en: <http://www.feteugt.es/data/images/2006/EDC001Autonomia.pdf>
- Medina, M. (1969), *Didáctica de las Ciencias Físico-Químicas*, México, Oasis, SEP/Instituto Federal de Capacitación del Magisterio, 71, Biblioteca Pedagógica de Mejoramiento Profesional, 260 p.
- Méheut, M. y D. Psillos (2004), "Teaching-learning Sequences: Aims and Tools for Science Education Research", en *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 515-535.
- Merino, C. y N. Sanmartí (2008), "How Young Children Model Chemical Change", en *Chemistry Education Research and Practice*, 9, pp. 196-207.

- Nunziati, G. (1990), "Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice", en *Cahiers pédagogiques*, 280, pp. 47-64.
- OCDE (2002), *DeSeCo (Definition and Selection of Competences)*. Disponible en: <http://www.deseco.admin.ch/>
- OECD (2000), *Mesuring Student Knowledge and Skills. The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Inquiry*, Paris, OECD Pub. Service.
- OECD-PISA (2006), *Marco conceptual para la evaluación PISA 2006*, Paris, OECD Pub. Service.
- Oliva, J. M. (1999), "Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual", en *Enseñanza de las ciencias*, 17 (1), pp. 93-107.
- Oliveras, B. y N. Sanmartí (2009), "La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico", en *Educación Química*, 20(1), pp. 233-245.
- Osborne, R. J. y M. C. Wittrock (1983), "Learning Science: a Generative Process", en *Science Education*, 67, 4, pp. 489-508.
- Pérez-Gómez, A. (2008), "¿Competencias o pensamiento práctico? La construcción de los significados de representación y de acción", en J. Gimeno-Sacristán (Comp.) *Educación por competencias, ¿Qué hay de nuevo?*, Madrid, Morata.
- Perrenoud, P. (1997), *Construire des competences clés à l'école*, Paris, ESF.
- Piaget, J. (1979a), *Psicología de la Inteligencia*, Buenos Aires, Psique, 199.
- (1979b), *Tratado de lógica y conocimiento científico. Naturaleza y métodos de la epistemología*, Buenos Aires, Paidós, 140.
- Posner, G. J. et al. (1982), "Accommodation of a Scientific Conception: Toward of Theory of Conceptual Change", en *Science Education*, 66 (2), pp. 211-227.
- Pozo, J. I. y M. A. Gómez-Crespo (1998), *Aprender y enseñar ciencia*, Madrid, Morata.
- Pujol, R. M. (2003), *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*, Madrid, Síntesis.
- Roca, M. (2005), "Cuestionando las cuestiones", en *Alambique*, 45, pp. 9-18.
- Rychen, D. S. y L. H. Salganik (2004), *Definir y seleccionar las competencias fundamentales para la vida*, México, FCE.
- Scott, P. H., H. M. Asoko y R. H. Driver (1991), *Teaching for Conceptual Change: A Review of Strategies*. Disponible en: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C5.html>

- (1991), "Teaching for Conceptual Change: A Review of Strategies", en R. Duit, F. Goldberg y H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*, University of Kiel, Germany.
- Secretaría de Educación Pública (SEP) (1969), *Manual del Maestro* (Quinto Grado), México, 237.
- (1977), *Ciencias Naturales. Quinto Grado*, México.
- (1982), *Libro para el Maestro* (Cuarto Grado), México, 295.
- (2000), *Libro para el Maestro. Ciencias Naturales y Desarrollo Humano. Sexto Grado*, México.
- (2001a), *La enseñanza de las Ciencias Naturales en la escuela primaria. Guía de Estudio*, México.
- (2001b), *La enseñanza de las Ciencias Naturales en la escuela primaria. Lecturas*, México.
- Stavy, R. (1991), "Using Analogy to Overcome Misconceptions about Conservation of Matter", en *Journal of Research in Science Teaching* 28 (4), pp. 305-313.
- Stenhouse, L. (1984), *Investigación y desarrollo del currículum*, Madrid, Morata.

3. ¿Cómo enseñar ciencias?

- Adúriz-Bravo, A. (2005), *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*, Buenos Aires, FCE.
- Anderson, R. (2007), "Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula", en Abell, S. y N. Lederman, (Eds.) *Handbook of Research on Science Education*, USA, LEA, pp. 807-830.
- Astolfi, J. P. (1999), *El "error", un medio para enseñar*, Sevilla, Diada.
- Boekaerts, M. (1999), "Self-regulated Learning: Where we are Today", en *Int. J. Educ. Res.* 31, pp. 445-457.
- Candela, A. (1999), *La ciencia en el aula*, México, Paidós.

- Coll, C. (1991), *Psicología y currículum*, Barcelona, Paidós.
- Duschl, R. (1997), *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Madrid, Narcea.
- Echeverría, J. (1995), *Filosofía de la ciencia*, Madrid, Akal.
- Fraser, B. y K. Tobin (2003), *International Handbook of Science Education*, London, Kluwer Academic Publisher.
- Gómez, A. (2009a), *El estudio de los seres vivos en la Educación Básica. Enseñanza del sistema nervioso desde un enfoque para la evolución de los modelos escolares*, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- (2009b), "Un análisis desde la cognición distribuida en preescolar: el uso de dibujos y maquetas en la construcción de explicaciones sobre órganos de los sentidos y sistema nervioso", *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 14(41), pp. 403-430.
- Guillaumin, G. (2005), *El surgimiento de la noción de evidencia*, México, UNAM.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000), "Fundamentos epistemológicos", en F. Perales, J. y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy, Marfil, pp. 11-34.
- (2001), "Hacia una teoría de los contenidos escolares". Ponencia presentada en el VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010), *10 Ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*, Barcelona, Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y B. Puig-Mauriz (2010), "Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia", en *Alambique*, 63, pp. 11-18.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y J. Díaz (2003), Discurso en el aula y argumentación en clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp. 359-370.
- Jorba, J., I. Gómez y A. Prat (2000), *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*, Barcelona, ICE-Síntesis.

- Kelly, A. (1987), "Why Girls don't do Science", en A. Kelly (Ed.), *Science for Girls?*, Milton Keynes, Open University Press, pp. 12-17.
- Kress, G. et al. (2001), *Multimodal Teaching and Learning. The Rhetorics of the Science Classroom*, London, Continuum.
- Lacueva, A. (2006), *Ciencia y tecnología en la escuela*, México, SEP.
- Lave, J. (2001), "La práctica del aprendizaje", en S. Chalkin y J. Lave (Comps.), *Estudiar las prácticas, perspectivas sobre actividad y contexto*, Buenos Aires, Amorrortu, pp. 15-45.
- Lemke, J. L. (1997), *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*, Barcelona, Paidós.
- Mayer, R. (2007), *Multi-media Learning*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Medrano-Castañeda y Tinoco-Ojanguren (2005), "Representaciones de género en el libro integrado de primer año de educación primaria", en E. Tuñón (Ed.), *Género y educación*, México, Ecosur, pp. 123-135.
- Mingo, A. (2006), *¿Quién mordió la manzana? Sexo, origen social y desempeño en la universidad*, México, FCE.
- Mir, C. (coord.) (1998), *Cooperar en la escuela. La responsabilidad de educar para la democracia*, Barcelona, Graó.
- Osborne, J. et al. (2001), "Enhancing the Quality of Argumentation in School Science", en *School Science Review*, 3(301), pp. 63-70.
- Ogborn, J. et al. (1998), *Formas de explicar: La enseñanza de las ciencias en secundaria*, Madrid, Santillana.
- Pozo, J. I. (1994), "El cambio conceptual en el conocimiento físico y social: del desarrollo a la instrucción", en M. J. Rodrigo (Ed.), *Contexto y desarrollo social*, Madrid, Síntesis.
- Prat, A. (2000), "Habilidades cognitivo-lingüísticas y tipología textual", en J. Jorba, I. Gómez y A. Prat (Eds.) *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*, Barcelona, ICE-Síntesis.
- Sanmartí, N. (2002), *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*, Madrid, Síntesis.
- (2007), *10 ideas clave: evaluar para aprender*, Barcelona, Graó.

- Simon, S., S. Erduran y J. Osborne (2007), "Learning to Teach Argumentation: Research and Development in the Science Classroom", en *Int. J. Sci. Edu.*, 28(2), pp. 235-260.
- Solsona, N. (2003), *El saber científico de las mujeres*, Madrid, Talasa.
- Thagard, P. (1992), Analogy, Explanation, and Education, *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), pp. 537-544.
- Toulmin, S. (2007), *Los usos de la argumentación*, Barcelona, Península.

4. ¿Qué se necesita para enseñar ciencias?

- Altbach, P. y G. Kelly (1988), *Textbooks in the Third World. Policy, Content and Context*, New York, Garland.
- Barnett, J. y D. Hodson (2001), "Pedagogical Context Knowledge: Towards a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know", *Science Education*, 85, pp. 426-453.
- Bingimlas, K. (2009), "Integration of ICT in Teaching and Learning Environments: a Review of the Literatura", en *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 5(3), pp. 235-245.
- Black, P. (2003), "Assessment by Teachers and the Improvement of Students' Learning", en B. J. Fraser y K. G. Tobin, *International Handbook of Science Education (Part Two)*, Netherlands, Kluwer, pp. 811-822.
- Bravo Torija, B. y M. P. Jiménez Aleixandre (2010), "¿Salmones o sardinas? Una unidad para favorecer el uso de pruebas y la argumentación en ecología", *Alambique*, 63.
- Brown, A. L. (1992), "Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings", en *The Journal of the Learning Sciences*, 2 (2), pp. 141-178.
- Brown, A. L. y A. S. Palincsar (1989), "Guided, Cooperative Learning and Individual Knowledge Acquisition", en Resnick, L. (Ed.), *Knowing, Learning and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser*, N. J. Hillsdale, Lawrence Erlbaum, pp. 393-451.

- Brown, J. S., A. Collins y P. Duguid (1989), "Situated Cognition and the Culture of Learning", en *Educational Researcher*, 18, pp. 32-42.
- Candela, A. (1999), *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*, México, Paidós.
- Casanova, M. A. (1998), *La evaluación educativa, Escuela básica*, México, SEP (Biblioteca para la actualización del Maestro).
- Castellà, J. M. et al. (2007), *Entender(se) en clase. Las estrategias comunicativas de los docentes bien valorados*, Barcelona, Graó.
- Castillejos, A. et al. (2003), "Materiales y medios educativos", en G. Waldegg, et al., *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*, México, SEP (Biblioteca para la actualización del Maestro), pp. 105-127.
- Cazden, C. (1990), "El discurso en el aula", en M. Wittrock *La Investigación de la Enseñanza III*, España, Paidós/Ministerio de Educación y Ciencia, pp. 627-709.
- Duschl, R. A., H. A. Scweingruber y A. E. Shouse (2007), *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in grades K-8*, Washington, National Academies Press. Disponible en: http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=11625#toc
- Feito, R. (2002), "¿En qué puede consistir ser buen profesor?", en *Cuadernos de Pedagogía*, 332, pp. 85-89.
- Fernández López, L. (2009), "Los proyectos de investigación del alumnado para la adquisición de las competencias básicas", *Aula de Innovación Educativa*, 186, pp. 19-22.
- García Herrera, D. P. (2001), *Los usos de los libros de texto en la práctica docente cotidiana de tercero y cuarto de primaria: un estudio cualitativo*, México, Departamento de Investigaciones Educativas-Cinvestav.
- Gitomer, D. y R. Duschl (2003), "Emerging Issues and Practices in Science Education", en B. J. Fraser y K. G. Tobin, *International Handbook of Science Education (Part Two)*, Netherlands, Kluwer, pp. 791-810.
- Guerra Ramos, M. T. (2009), "Las reformas curriculares y la enseñanza de las ciencias: ¿Reformar las prácticas o repensar las reformas?" (Capítulo IV), en J. B. García Horta y J. M. Fernández Cárdenas (Eds.), *Investigación, política y gestión educativa desde*

Nuevo León: una aportación joven al debate nacional, México, Comité Regional Unesco/UANL, pp. 161-180.

Guerra Ramos, M. T. y V. Sánchez Rendón (2007), "Planeación para la enseñanza de Física en la escuela secundaria y mejoramiento a través de la reflexión sobre episodios videograbados: un estudio de caso". Ponencia presentada en la Conferencia Internacional en Tecnología e Innovación Educativa, Monterrey, 8-12 de octubre.

Hargreaves, A. y Fullan, M. (1992), *Understanding Teacher Development*, New York, Cassell.

Harlen, W. (2003), "La función del profesor", en W. Harlen, *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, Madrid, Morata, pp. 136-159.

Hodson, D. (2003), "Making it Work: the Role of the Teacher", en Hodson, D., *Teaching and Learning Science*, Reino Unido, Open University Press, pp. 168-180.

Jara Guerrero, S. (1989), "Enseñanza de las ciencias: nuevos caminos", en *Ciencia y Desarrollo*, vol. XV, núm. 88, México, Conacyt.

Jiménez Aleixandre, M. P. (2003), "El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas", en M. P. Jiménez (Coord.), *Enseñar Ciencias*, Barcelona, Graó, pp. 13-32.

— (2008), "Designing Argumentation Learning Environments", en S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-based Research*, Dordrecht, Springer, pp. 91-115.

— (2010), *10 Ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*, Barcelona, Graó.

Jiménez Aleixandre, M. P. et al. (2009), *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*, Santiago de Compostela, Danú [edición en gallego e inglés]. Disponible en: www.rodascu.eu

Kortaghen, F. A. J. (2004), "In Search of the Essence of a good Teacher: Towards a more Holistic Approach in Teacher Education", en *Teaching and Teacher Education*, 20 (1), pp. 77-97.

Krajcik, J., K. L. McNeill, y B. J. Reiser (2008), "Learning-goals-driven Design Model: Developing Curriculum Materials that Align with National Standards and Incorporate Project-based Pedagogy", en *Science Education*, 92 (1), pp. 1-32.

- Lave, J. y E. Wenger (1991), *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lira Morales, V. y M. T. Guerra Ramos (2009), "Aproximaciones comunicativas en un aula de ciencias en educación secundaria". Memoria Electrónica del X Congreso Nacional de Investigación Educativa, Veracruz, México.
- López Rodríguez, R. y M. P. Jiménez Aleixandre (2007), "¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio de una charca", en *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (3), pp. 309-324.
- Mortimer, E. F. y P. H. Scott (2003), "Meaning Making in Secondary Science Classrooms", England, Open University Press.
- Naranjo, G. y A. Candela (2006), "Ciencias Naturales en un grupo con un alumno ciego: Los saberes docentes en acción", en *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, XI (30), pp. 821-845.
- Needham, R. y P. Hill (1987), *Teaching Strategies for Developing Understanding in Science*, Series Children's Learning in Science, England, University of Leeds.
- OCDE (2006), *PISA 2006. Marco de la evaluación: Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y lectura*, Madrid, Santillana/Ministerio de Educación y Ciencia.
- Osborne, J. y J. Dillon (Eds.) (2008), *Science Education in Europe: Critical Reflections. A report to the Nuffield Foundation*, London, The Nuffield Foundation. Disponible en: www.nuffieldfoundation.org/fileLibrary/pdf/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf
- Perrenoud, Ph. (2004), *Diez nuevas competencias para enseñar*, México, SEP (Biblioteca para la Actualización del Maestro).
- Piaget, J. (1979), *Tratado de lógica y conocimiento científico. Naturaleza y métodos de la epistemología*, Buenos Aires, Paidós.
- Quiroz, R. (2001), "La educación secundaria en México al inicio del siglo XXI", en *Educación 2001*, marzo, pp. 21-31.
- Sanmartí, N. (2002), "Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza /aprendizaje", en *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*, Madrid, Síntesis, pp. 169-203.

- (2005), "La unidad didáctica en el paradigma constructivista", en D. Couso *et al.* (Eds.), *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas*, Bogotá, Magisterio, pp. 13-58.
- (2007), *10 ideas clave. Evaluar para aprender*, Barcelona, Graó.
- Shulman, L. (1986), "Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching", en *Educational Researcher*, 15 (2), pp. 4-14.
- (1987), "Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform", en *Harvard Educational Review*, 57 (1), pp. 1-22.
- Toulmin, S. (2007), *Los usos de la argumentación*, Península, Barcelona.
- Unesco (1996), *What Makes a Good Teacher? Children Speak their Minds: Opinions from Around the World*, New York.
- (1994), *The Project 2000+ Declaration. The Way Forward*, Paris.
- Verloop, N., J. Van Driel y P. Meijer (2001), "Teacher Knowledge and the Knowledge Base of Teaching", en *International Journal of Educational Research*, 35, pp. 441-461.
- Vygotski, L. (1995), *Pensamiento y lenguaje*, Barcelona, Paidós.
- Wittrock, M. C. (1997), "La planificación del docente", en M. Wittrock, *La investigación de la enseñanza III, Profesores y Alumnos*, Madrid, Paidós, pp. 454-475.
- Zuzovsky, R., P. Tamir y D. Chen (1989), "Specialized Teachers and General Teachers and their Impact on Students Outcomes", en *Teaching and Teacher Education*, 5 (3), pp. 229-242.