



Gobierno FEDERAL

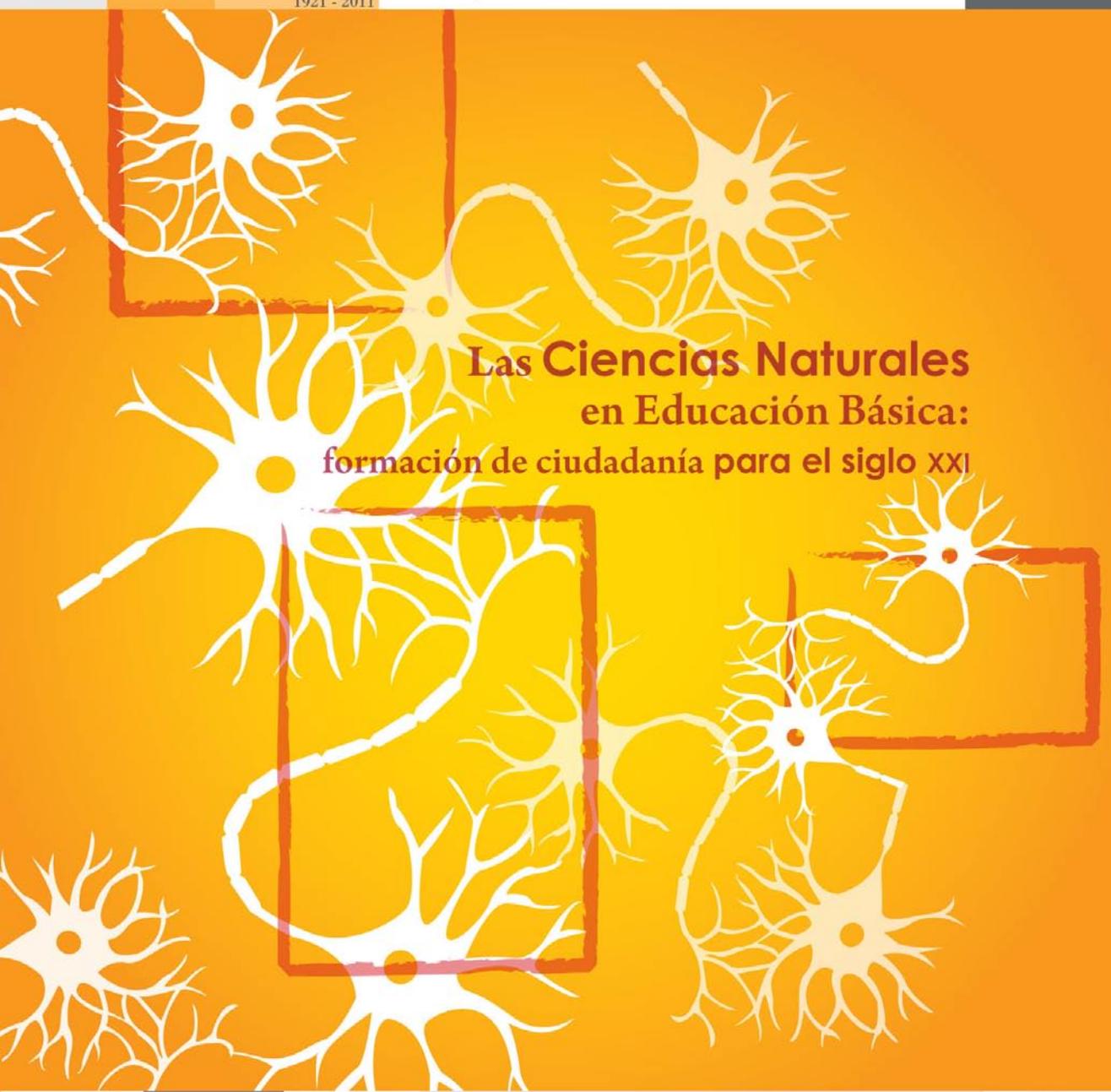
SEP

90 años
1921 - 2011

Teoría y Práctica Curricular de la Educación Básica



Subsecretaría de Educación Básica



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



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



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 5º y 6º –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 período 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.