



Gobierno FEDERAL

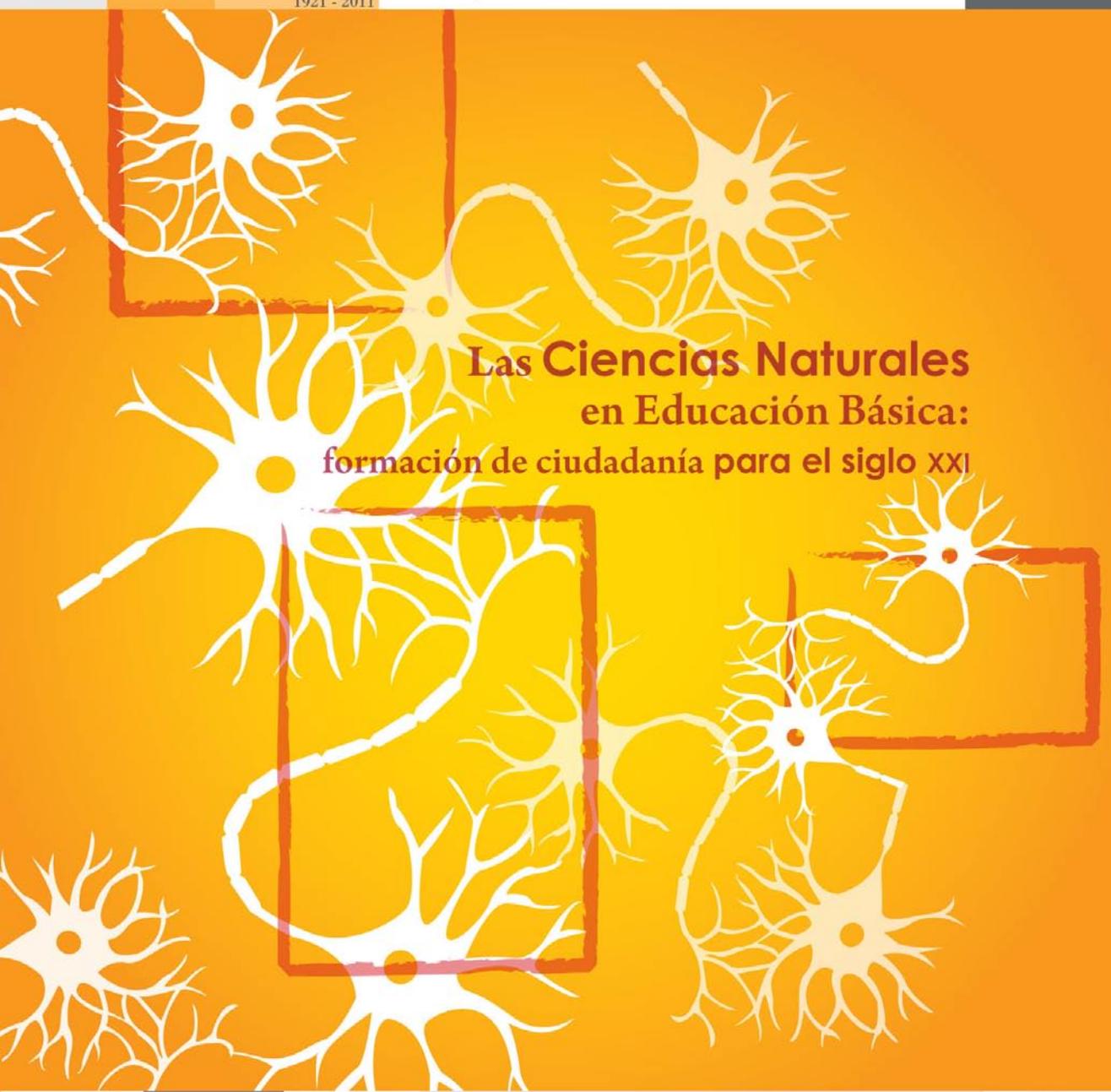
SEP

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

3. ¿Cómo enseñar



ciencias ?

Alma Adrianna Gómez Galindo

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

Agustín Adúriz-Bravo

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

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

3.1 Naturaleza de la ciencia y ciencia escolar

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ideas previas del alumnado e historia de la ciencia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Indagación y experimentación

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

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



Indagación y problemas auténticos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Estrategias de resolución de problemas y planteamiento de problemas auténticos

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

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

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

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

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

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

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

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

Papel de la experimentación científica escolar

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comunicación multimodal en el aula

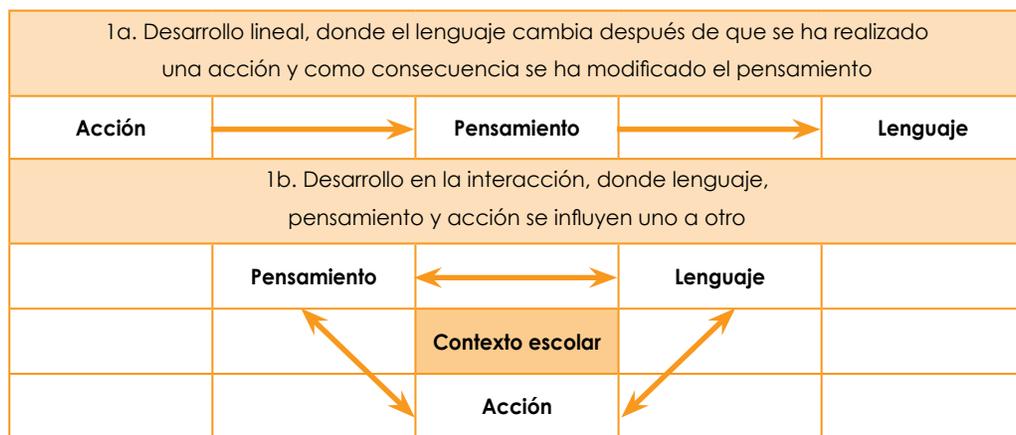
Una línea de investigación consolidada en la actual educación en ciencias se refiere a la comunicación en el aula. Las ideas se comunican, y en esa comunicación se comparten y se mejoran. En principio, y dado que nuestra concepción de la enseñanza de las ciencias es de tipo socioconstructivista (Coll,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



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Argumentación

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

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

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

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

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

Por ejemplo:

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

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

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

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

Cualificador modal: Muy probable.

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

Construcción de argumentos justificados

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

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

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

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

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

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

Relación entre argumentación y problemas complejos

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

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

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

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

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

3.4 Metacognición y diversidad

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

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



Habilidades y actitudes metacognitivas y “aprender a aprender”

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El papel de la mujer en la ciencia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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