

*Cuadernos*

---

*México*

*núm. 2*

CUADERNOS MÉXICO NÚM. 2

Impreso en noviembre de 2010

NIPO: 820-10-228-2

(ISSN en trámite)

Cuidado de la edición y diseño:

*estirpe, concepto e imagen*

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de tapas, puede ser reproducida, almacenada, transmitida o utilizada de manera alguna ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, óptico de grabación o electrográfico sin el previo permiso de los autores.

Impreso en México/*Printed in Mexico*

# Índice

Presentación	7
Las reformas curriculares de ciencias en México y España en los niveles secundaria y bachillerato <i>Rosa María Catalá y José Antonio Chamizo</i> COLEGIO MADRID, A.C. Y FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM	9
La enseñanza actual de las Ciencias Naturales y la Biología en México <i>Alicia Martínez Dorado</i> COLEGIO MADRID, A.C.	23
La evaluación de contenidos en la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo <i>Ana Oñorbe de Torre</i> CONSEJO EDITORIAL REVISTA <i>ALAMBIQUE</i>	33
La construcción y transformación de las representaciones en el aprendizaje de la física <i>Fernando Flores-Camacho</i> CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	47
La enseñanza de las ciencias a partir de la resolución de problemas <i>José Antonio Chamizo y César Robles</i> FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM Y CCH, UNAM	69
El trabajo experimental de física en las aulas y laboratorios de enseñanza secundaria <i>Adolf Cortel Ortuño</i> IES POMPEU FABRA	83



## Presentación

EN ESTE SEGUNDO NÚMERO DE *Cuadernos México*, la más reciente publicación de la Consejería de Educación en México dedicada a la difusión de los contenidos de los seminarios hispano mexicanos de Educación, podemos encontrar, en forma de artículos, las ponencias y talleres que se impartieron en el marco de las Jornadas de Ciencias para el Mundo Contemporáneo, organizadas con el Colegio Madrid, y celebradas en las instalaciones de este Centro los días 18 y 19 de septiembre de 2008.

Las Jornadas tuvieron como centro el intercambio sobre la nueva materia del currículo, Ciencias para el Mundo Contemporáneo, implantada en España en 2007, así como el debate más amplio acerca de la situación de la enseñanza de las ciencias en México y en España. Para ello contamos con la presencia de ponentes de ambos países que nos ilustraron con su experiencia en la investigación y docencia dentro de esta disciplina.

Como siempre, agradecemos a los ponentes y talleristas el esfuerzo realizado a la hora de poner en blanco sobre negro sus presentaciones, reflexiones, así como los contenidos de sus talleres. Y, sobre todo, a Rosa María Catalá, Directora del Colegio Madrid, por el esfuerzo de rescatar las intervenciones cuando ya había pasado cierto tiempo desde la realización de las Jornadas.

Por último, esperamos que las contribuciones aquí recogidas sirvan a quienes tienen este ejemplar entre las manos para avanzar en un mayor y mejor conocimiento de las ciencias no sólo en el aula sino en el mundo contemporáneo.

J. Alfonso Aísa Sola  
Consejero de Educación



# Las reformas curriculares de ciencias en México y España en los niveles secundaria y bachillerato

Rosa María Catalá y José Antonio Chamizo\*

COLEGIO MADRID, A.C. Y FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

## Resumen

Se presentan las generalidades de los currículos y sistemas de enseñanza de las ciencias en los niveles de educación secundaria y bachillerato de México y España, enfatizando las semejanzas y las diferencias entre ambos países. Una de las características en común es el cada vez más creciente problema de que los alumnos no puedan optar por las ciencias básicas pues no se incluyen en los programas y algunos retos de formación y actualización docente que se hacen urgentes para enfrentar el futuro de la enseñanza de la ciencia en la sociedad del conocimiento.

---

\* Maestra en Ciencias Químicas Rosa María Catalá Rodas. Ejerció el puesto de Subdirectora de Educación no Formal de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM de 1998 a 2000. Forma parte del Comité Editorial de la Revista de divulgación *¿Cómo Ves?* Ha colaborado en múltiples programas de cursos y desarrollo de materiales didácticos para la Secretaría de Educación pública (SEP) y otras instituciones. Asimismo, ha colaborado con la Dirección de Formación Continua de la SEP, tanto en la revisión como en la elaboración y coordinación de reactivos de Química (secundaria) y Ciencias Naturales (primaria) para los exámenes de actualización de maestros (PRONAP). Ha sido maestra y asesora del Diplomado del Programa “La Ciencia en tu Escuela” de la Academia Mexicana de Ciencias para actualización y formación de profesores (2002-2005). También generó materiales y fue responsable del “Sitio del Maestro” en el proyecto Enciclopedia y Telesecundaria (SEP) para las asignaturas de Ciencias Naturales (2003-2008). Desde 1989 se ha dedicado a la docencia como profesora de Química en el Bachillerato del Colegio Madrid, A.C., donde ha desarrollado varios programas para niños y jóvenes para la enseñanza y divulgación de la ciencia. Actualmente es la Directora de dicha institución. Doctor José Antonio Chamizo Guerrero. Profesor Titular “c” en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Profesor de la Facultad de Química desde 1977, ha impartido más de 90 cursos desde la secundaria hasta el doctorado y publicado más de 90 artículos arbitrados sobre Química, Educación, Historia y Divulgación de la ciencia.

*Los siglos anteriores siempre creyeron en un futuro, fuera éste repetitivo o progresivo. El siglo XX descubrió la pérdida del futuro, es decir su impredecibilidad [...] ahora el devenir está problematizado y lo estará para siempre. El futuro se llama incertidumbre.*

Edgar Morin (1999).

## Introducción

**DESDE LA DÉCADA DE LOS AÑOS 50**, los sistemas educativos internacionales han reconocido la importancia de la formación científica en la educación básica y preuniversitaria al plantear en sus programas que la ciencia y la tecnología tienen un papel relevante en el desarrollo de las sociedades actuales. Por ello no sorprende que en los últimos años la inclusión de los grandes temas de las disciplinas científicas en los programas de estudio sea también un común denominador en todos los sistemas escolares de Iberoamérica. Pero la enseñanza de las materias de las áreas científicas en el contexto escolar se encuentra sometida a diversas contradicciones. Por un lado se tiene la valoración de la función formativa de las asignaturas de ciencias en las aulas, pero por otro, el bombardeo mediático sobre problemas ambientales o de salud (entre muchos otros), así como una desinformación generalizada de conceptos científicos, lo que provoca en alumnos y hasta en maestros la manifestación expresa o implícita de rechazo y desconfianza. En las reformas recientes de los sistemas educativos de nuestros países, los enfoques y propósitos de los programas hacen patente la necesidad de superar el analfabetismo científico de una población cada vez más necesitada de conocimientos, y contradictoriamente, cada vez más apegada a horóscopos, amuletos y pseudociencia.

En adición a estas contradicciones, en Latinoamérica hay otras problemáticas que son inclusive tan o más urgentes que la de la percepción negativa y una enseñanza poco adecuada de las ciencias. Autores como Brunner (2001) y Garfield (1984) han destacado que: “la educación latinoamericana enfrenta

---

Es autor o coautor de más de 30 capítulos en libros y de 40 libros de texto y divulgación. Ha recibido diferentes premios y reconocimientos, entre los que destacan el Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río” otorgado por la Sociedad Química de México en 1994, el Premio Universidad Nacional en el área de docencia en Ciencia Naturales en 1996 y el Third World Network of Scientific Organizations (TWNISO) en 1997. Sus líneas de investigación se centran en las condiciones curriculares para mejorar el aprendizaje.



dos desafíos de enorme magnitud. Por un lado, debe cumplir las asignaturas pendientes del siglo xx, tales como universalizar la cobertura preescolar, básica y media; incorporar las poblaciones indígenas al sistema escolar; mejorar la calidad y los resultados de la enseñanza de competencias básicas... Por otro lado, debe dar el salto hacia el siglo xxi y emprender las nuevas áreas de las cuales dependen el crecimiento económico, la equidad social, la integración cultural, adaptando para ello sus estructuras, procesos y resultados y las políticas educacionales, a las transformaciones que -por efecto de la globalización- experimentan los contextos de información, conocimiento, laboral, tecnológico y de significados culturales en que se desenvuelven los procesos de enseñanza y aprendizaje. Ambas agendas -del siglo xx y del siglo xxi-son tremendamente exigentes y costosas. Aplicarlas al mismo tiempo es una faena que requerirá un formidable esfuerzo. Compatibilizar sus fines y ritmos de implementación será, de aquí en adelante, la clave de las políticas educacionales”.

Sumadas a las consideraciones anteriores, el lugar de las ciencias en los actuales currículos, y como ha anotado Tiana (1997), ha implicado la inclusión de más horas de clase, lo cual genera: “...quejas que se escuchan por la supuesta pérdida de importancia de las humanidades en favor de las áreas científicas. Lo llamativo de este hecho no es tanto su veracidad, sino la resistencia a incluir la formación científica entre las tareas dignamente humanas y susceptibles por tanto de incluirse bajo el brillante título de humanidades, sin plantearse siquiera qué significado debiera tener en la actualidad esa etiqueta y qué debe entenderse hoy en día por disciplinas humanísticas. Parece como si las materias científicas y tecnológicas correspondiesen a dimensiones inferiores de lo humano, donde los valores predominantes no son otros que la instrumentalidad, el pragmatismo, la eficiencia o la productividad, de orden secundario frente a los que promueven las elevadas disciplinas humanísticas”.

En contraposición a estas posturas, la filosofía que debe lograrse es aquella en la que la ciencia y la técnica representen, en palabras de Echeverría (2003): “un sistema de acciones eficientes basadas en conocimiento científico capaces de transformar el mundo, basándose en una serie de valores y conforme a criterios, métodos, acciones y objetivos discutibles racionalmente”.

Es por ello particularmente importante hacer un análisis reflexivo de los currículos de ciencia para identificar, al menos desde la visión de México y España, los aspectos clave que puedan lograr que pasemos de considerar a las ciencias como un área de estudio e investigación de bajo impacto, a una definición que brinde un mejor futuro para quienes actualmente cursan su

educación media y media superior en nuestros países. En México debemos dejar de ser de una vez y para siempre el ejército científicamente analfabeto y supersticioso de empleados que lo único que alcanzamos por medio de la educación es repetir lo que hacen otros países. En España, aunque con menores rezagos y con otras características, la tendencia centenaria ha sido la de una educación preponderantemente centrada en las letras y las humanidades, con un avance poco comparable al de otros países de la región europea en las áreas de ciencia y tecnología.

Los nuevos currículos de ciencias deben apostar a una educación que logre disminuir la evidente desvinculación entre lo que se aprende (escuela), la producción de conocimiento (investigación) y su aplicación (industria y sociedad) –característica de las sociedades iberoamericanas– y aprovechar el conocimiento para hacer frente a las necesidades de la sociedad actual. A continuación podremos reconocer de en qué medida se han insertado estos enfoques a través de una breve descripción de las principales características de dos niveles comparables: el de las materias de Biología, Física y Química en la secundaria mexicana y el curso de Ciencias para el Mundo Contemporáneo en el bachillerato español.

## El nuevo programa de ciencias en la reforma de la educación secundaria en México

### *Antecedentes*

La reforma curricular del año 1993 reconoció la importancia de las disciplinas científicas y les dio un espacio relevante en los programas. Sin embargo, desde los primeros años se identificaron sus fallas en cuanto al exceso de contenidos y su atomización en muchas materias con pocas horas. Muchas de esas fallas no fueron, identificadas de manera exhaustiva y como muchas de las reformas que se han realizado, la decisión de integrar las disciplinas científicas en una sola asignatura de ciencias (con énfasis en Biología, Física y Química para primer, segundo y tercer años respectivamente) acabó siendo, tras un complejo peregrinar de aceptaciones y cambios profundos a la propuesta original, más una cuestión política que una respuesta real a las demandas ciudadanas y educativas del aprendizaje y cultura científicas. En general, la reforma de 2006 mantuvo el enfoque planteado por la SEP en la reforma anterior, pero buscó mejorar en un aspecto en el que hubo consenso

docente sobre su principal falla: la escasa e inapropiada aplicación en el aula. La sobrecarga de contenidos fomentó –entre otros aspectos– las exposiciones magistrales, la memorización sin sentido y la enseñanza centrada en el libro de texto como fuente principal que definía casi siempre lo que había de estudiarse sin tomar en cuenta las necesidades y preferencias de los estudiantes.

### *Características del nuevo programa*

A partir de 2001 y hasta su lanzamiento en 2006 se revisaron las aportaciones recientes de la Filosofía, la Psicología, las didácticas específicas y el estado actual de las teorías sobre el aprendizaje de las ciencias, así como los resultados más recientes de la investigación educativa en este campo. El propósito general del currículo de ciencias para educación secundaria es la consolidación de una formación científica básica que brinde:

- Conocimientos de la ciencia (hechos, conceptos y teorías).
- Aplicaciones del conocimiento científico en situaciones reales y simuladas.
- Habilidades y estrategias para la construcción de conocimientos en la escuela (procedimientos de la ciencia y el uso de aparatos e instrumentos).
- Resolución de situaciones problemáticas de interés personal y social mediante la aplicación de habilidades y conocimientos científicos.
- Acercamiento inicial al campo de la tecnología, destacando sus interacciones con la ciencia y la sociedad.
- Cuestiones socio-económico-políticas y ético-morales relacionadas con la ciencia.
- Historia y desarrollo de la ciencia.
- Estudio de la naturaleza de la ciencia y la práctica científica (papel y estatus de la teoría científica y de las actividades de la comunidad científica).

La selección de los contenidos básicos en los programas de secundaria tiene también el propósito de que los estudiantes sean capaces de relacionarlos con lo que han aprendido en otros contextos, aplicarlos en otros campos y aprovecharlos en situaciones reales, superando el uso de estrategias de memorización a corto plazo. En este sentido, un aspecto central de la propuesta es que los tres cursos se orientan a fortalecer procedimientos, valores, actitudes y conocimientos cuyo desarrollo inició en los niveles previos, de manera que los estudiantes puedan obtener un beneficio potencial que trascienda sus aprendizajes escolares y les brinde mayor autonomía para seguir aprendiendo.

Esto implica, además, que puedan avanzar en la consolidación de las ideas de mayor jerarquía o poder explicativo de las Ciencias Naturales. En congruencia con lo anterior, los contenidos incluidos en los programas son:

- Coherentes con las metas del sistema educativo nacional.
- Relevantes, duraderos, aplicables en el contexto social y en la resolución de situaciones problemáticas de los estudiantes.
- Favorecedores de una visión prospectiva y esperanzadora de los retos intelectuales que enfrenta la ciencia durante la construcción de escenarios deseables y desde una perspectiva cultural e histórica que integra saberes de distinta índole.
- Interesantes y desafiantes para los alumnos, pero ajustados a sus niveles de comprensión.
- Centrados en un número acotado de conceptos o procesos, de manera que favorezcan la profundización y comprensión de lo básico.
- Estimuladores del desarrollo de habilidades y actitudes básicas, en particular las asociadas a la actividad científica, como son la investigación y la creatividad.
- Representativos de las principales ideas previas de los alumnos, que son la base para la construcción de conceptos fundamentales.
- Procedentes del análisis de la naturaleza de las disciplinas científicas, de sus conceptos e ideas fundamentales, su jerarquía y sus relaciones con conceptos subordinados.
- Impulsores de una formación científica, tecnológica y ética para el cuidado de la salud y del ambiente, así como para la convivencia.

La distribución de los contenidos de estudio también debe atender las capacidades de comprensión e interpretación de fenómenos por parte de los alumnos.

La enseñanza de las ciencias demanda recuperar los conocimientos –tanto teóricos como prácticos– que los alumnos ya han construido. En este sentido es necesario tener presente que los estudiantes llegan a la escuela con ideas propias –las cuales pueden ser cercanas o no a los argumentos científicos– y que se pretende logren un aprendizaje significativo mediante la reestructuración del pensamiento previo.

Ello atiende la necesidad de visualizar las grandes líneas que organizan nociones, conceptos, procesos y principios básicos, así como las habilidades y las actitudes que pueden desarrollarse como parte del estudio de las ciencias.

Dichos ámbitos abarcan aspectos clave para la comprensión e interpretación de la naturaleza:

- La vida.
- El conocimiento científico.
- El cambio y las interacciones.
- El ambiente y la salud.
- Los materiales.
- La tecnología.

Con la estructuración de los cursos a partir de ámbitos también se busca favorecer la integración de contenidos de otras asignaturas como Geografía y Formación Cívica y Ética, de manera que los alumnos tengan mayores oportunidades para profundizar y enriquecer los conocimientos básicos.

Los ámbitos que conforman los cursos de ciencias para educación secundaria favorecen su estudio de una manera interrelacionada, sin llegar a la integración total. Lo anterior permite que los alumnos tengan oportunidades de construir sus conocimientos en forma gradual, pues los cursos se presentan enfáticamente diferenciados:

- El primer curso se centra en los procesos biológicos, los cuales, además de tener amplios antecedentes en la escuela primaria, son los más cercanos a la experiencia directa de los estudiantes; una de sus metas fundamentales es despertar en ellos el interés y el gusto por el estudio de las ciencias, lo que se conseguirá orientando los temas de estudio hacia su aplicación e integración en contextos relacionados con la conservación de la salud, y promoviendo el conocimiento y la comprensión de la etapa de desarrollo humano que viven como adolescentes.
- El segundo curso plantea un énfasis en Física a partir de experiencias fenomenológicas sin recurrir a las herramientas matemáticas clásicas para su representación. En este sentido, la idea central es la comprensión de algunos conceptos de la Física y no la matematización de los mismos; no obstante, se puede potenciar con el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).
- El estudio del microcosmos con cierta profundidad se ha programado para el tercer año de la escuela secundaria. A diferencia de la Biología y la Física, en que algunos contenidos fundamentales se elaboran a partir de la experiencia sensorial, en química la magnitud de las partículas involucradas

imposibilita aplicar únicamente los sentidos y se requiere la elaboración de representaciones mentales que materialicen ideas abstractas.

## Ciencias para el Mundo Contemporáneo: las ciencias en el actual sistema de bachillerato en España

El anexo I del Real Decreto 1467/2007 de 2 de noviembre del Ministerio de Educación y Ciencia establece como antecedentes de la materia común “Ciencias para el mundo contemporáneo” lo siguiente:

“A partir de la segunda mitad del siglo XIX y a lo largo del siglo XX la humanidad ha adquirido más conocimientos científicos y tecnológicos que en toda su historia anterior. La mayor parte de estos conocimientos ha dado lugar a numerosas aplicaciones que se han integrado en la vida de los ciudadanos, quienes las utilizan sin cuestionar, en muchos casos, su base científica, la incidencia en su vida personal o los cambios sociales o medioambientales que se derivan de ellas.

Los medios de comunicación presentan de forma casi inmediata los debates científicos y tecnológicos sobre temas actuales. Cuestiones como la ingeniería genética, los nuevos materiales, las fuentes de energía, el cambio climático, los recursos naturales, las tecnologías de la información, la comunicación y el ocio o la salud son objeto de numerosos artículos e, incluso, de secciones especiales en la prensa.

Los ciudadanos del siglo XXI, integrantes de la denominada ‘sociedad del conocimiento’, tienen el derecho y el deber de poseer una formación científica que les permita actuar como ciudadanos autónomos, críticos y responsables. Para ello es necesario poner al alcance de todos los ciudadanos esa cultura científica imprescindible y buscar elementos comunes en el saber que todos deberíamos compartir. El reto para una sociedad democrática es que la ciudadanía tenga conocimientos suficientes para tomar decisiones reflexivas y fundamentadas sobre temas científico-técnicos de incuestionable trascendencia social y poder participar democráticamente en la sociedad para avanzar hacia un futuro sostenible para la humanidad”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Todas las citas de ahora en adelante corresponden al BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE) (2007). *Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas*. En <http://www.boe.es/boe/dias/2007/11/06/pdfs/A45381-45477.pdf>

Así, y como respuesta a las demandas de las nuevas exigencias en la enseñanza de las ciencias y su integración con otras áreas del conocimiento, Alejandro Tiana, el entonces secretario general de Educación, presentó los cambios en las asignaturas del bachillerato, de acuerdo con la Ley Orgánica de Educación (LOE). Entre las materias comunes se introdujo Ciencias para el Mundo Contemporáneo, cuyo objetivo es proporcionar a los alumnos los fundamentos de cuestiones científicas relevantes en la actualidad. Además, en uno de los dos cursos de esta etapa se impartirá otra nueva asignatura: Filosofía y Ciudadanía. Ambas materias se sumarán a Educación Física, Historia de la Filosofía, Historia de España, Lengua Castellana y Literatura, entre otras. El bachillerato pasará de cuatro a tres modalidades: Artes, Ciencias y Tecnología, y Humanidades y Ciencias Sociales.

El bachillerato de Ciencias y Tecnología aúna el vigente bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud con el bachillerato de Tecnología, de ofrecer una amplia variedad de materias para que los jóvenes puedan orientar sus estudios por dos vías en función de si desean obtener un título universitario o continuar con la Formación Profesional de Grado Superior.

### *Características de la nueva asignatura*

En el mismo Anexo I se establece:

“Esta materia, común para todo el alumnado, debe contribuir a dar una respuesta adecuada a ese reto, por lo que es fundamental que la aproximación a la misma sea funcional y trate de responder a interrogantes sobre temas de índole científica y tecnológica con gran incidencia social. No se puede limitar a suministrar respuestas, por el contrario, ha de aportar los medios de búsqueda y selección de información, de distinción entre información relevante e irrelevante, de existencia o no de evidencia científica, etcétera.

La materia:

- Ofrece a los alumnos “...la posibilidad de aprender a aprender, lo que les será de gran utilidad para su futuro en una sociedad sometida a grandes cambios, fruto de las revoluciones científicotecnológicas y de la transformación de los modos de vida, marcada por intereses y valores particulares a corto plazo, que están provocando graves problemas ambientales y a cuyo tratamiento y resolución pueden contribuir la ciencia y la tecnología”.

- “Además, contribuye a la comprensión de la complejidad de los problemas actuales y las formas metodológicas que utiliza la ciencia para abordarlos, el significado de las teorías y modelos como explicaciones humanas a los fenómenos de la naturaleza, la provisionalidad del conocimiento científico y sus límites”.
- “Asimismo, ha de incidir en la conciencia de que la ciencia y la tecnología son actividades humanas incluidas en contextos sociales, económicos y éticos que les transmiten su valor cultural. Por otra parte, el enfoque debe huir de una ciencia academicista y formalista, apostando por una ciencia no exenta de rigor. Pero que tenga en cuenta los contextos sociales y el modo en que los problemas afectan a las personas de forma global y local”.

“Estos principios presiden la selección de los objetivos, contenidos y criterios de evaluación de la materia. Todos estos elementos están dirigidos a tratar de lograr tres grandes finalidades: conocer algunos aspectos de los temas científicos actuales objeto de debate con sus implicaciones pluridisciplinarias y ser consciente de las controversias que suscitan; familiarizarse con algunos aspectos de la naturaleza de la ciencia y el uso de los procedimientos más comunes que se utilizan para abordar su conocimiento, y adquirir actitudes de curiosidad, antidogmatismo, tolerancia y tendencia a fundamentar las afirmaciones y las refutaciones.

Los contenidos giran alrededor de la información y la comunicación, la necesidad de caminar hacia la sostenibilidad del planeta, la salud como resultado de factores ambientales y responsabilidad personal, los avances de la genética y el origen del universo y de la vida. Todos ellos interesan a los ciudadanos, son objeto de polémica y debate social y pueden ser tratados desde perspectivas distintas, lo que facilita la comprensión de que la ciencia no afecta sólo a los científicos, sino que forma parte del acervo cultural de todos”.

En el anexo 1 se establecen, asimismo, los objetivos de la materia:

“La enseñanza de las Ciencias para el Mundo Contemporáneo en el bachillerato tendrá como objetivo el desarrollo de las siguientes capacidades:

- 1.- Conocer el significado cualitativo de algunos conceptos, leyes y teorías para formarse opiniones fundamentadas sobre cuestiones científicas y tecnológicas que tengan incidencia en las condiciones de vida personal y global, y sean objeto de controversia social y debate público.



- 2.- Plantearse preguntas sobre cuestiones y problemas científicos de actualidad y tratar de buscar sus propias respuestas, utilizando y seleccionando de forma crítica información proveniente de diversas fuentes.
- 3.- Obtener, analizar y organizar informaciones de contenido científico, utilizar representaciones y modelos, hacer conjeturas, formular hipótesis y realizar reflexiones fundadas que permitan tomar decisiones fundamentadas y comunicarlas a los demás con coherencia, precisión y claridad.
- 4.- Adquirir un conocimiento coherente y crítico de las tecnologías de la información, la comunicación y el ocio presentes en su entorno, propiciando un uso sensato y racional de las mismas para la construcción del conocimiento científico, la elaboración del criterio personal y la mejora del bienestar individual y colectivo.
- 5.- Argumentar, debatir y evaluar propuestas y aplicaciones de los conocimientos científicos de interés social relativos a la salud, el medio ambiente, los materiales, las fuentes de energía, el ocio, etcétera, para poder valorar la información científica y tecnológica de los medios de comunicación masivos y adquirir independencia de criterio.
- 6.- Poner en práctica actitudes y valores sociales como la creatividad, la curiosidad, el antidogmatismo, la reflexión crítica y la sensibilidad ante la vida y el medio ambiente, que son útiles para el avance personal, las relaciones interpersonales y la inserción social.
- 7.- Valorar la contribución de la ciencia y la tecnología a la mejora de la calidad de vida, reconociendo sus aportaciones y limitaciones como empresa humana cuyas ideas están en continua evolución y condicionadas al contexto cultural, social y económico en el que se desarrollan.
- 8.- Reconocer en algunos ejemplos concretos la influencia recíproca entre el desarrollo científico y tecnológico y los contextos sociales, políticos, económicos, religiosos, educativos y culturales en que se produce el conocimiento y sus aplicaciones”.

## Similitudes y diferencias: virtudes en el discurso, retos difíciles en la práctica

Con base en la información descrita anteriormente, destacan en primer lugar las diferencias en cuanto a la división marcada que se tiene en México en su educación preuniversitaria, misma que se divide en dos etapas diferenciadas: la secundaria y el bachillerato. Eso hace que este análisis esté limitado a lo

que acontece en el nivel secundario en México, que es el que nos pareció más congruente considerar por tratarse de aquel en el que se acaba de dar una profunda reestructuración curricular, al igual que en el caso de la nueva materia española.

Reconociendo esta peculiaridad podemos enfatizar en algunas observaciones generales sobre la enseñanza de las ciencias en ambos países:

- En España, Ciencias para el Mundo Contemporáneo es una propuesta muy reciente que integra de una manera flexible los contenidos de ciencias de todas las asignaturas que normalmente se consideran del área: Biología, Física, Química y Geografía Física. Esto no sucede en la secundaria en México, donde en las asignaturas, a pesar de que se desarrollan dentro de ámbitos integradores, los énfasis disciplinarios por año y asignatura son marcados y separados en tres años de enseñanza.
- Las coincidencias que existen al comparar ambos programas se reconocen mejor en los antecedentes, enfoques y en los propósitos, mientras que la visión integradora de los contenidos está totalmente desarrollada en la materia del bachillerato español vigente.
- En ambas propuestas la enseñanza de las ciencias a nivel preuniversitario se percibe como de vital importancia para la formación de los jóvenes en la actualidad. Dicha formación incide en diversos ámbitos de su desarrollo personal y cultural, y los prepara para enfrentar mejor diversas situaciones personales y profesionales a lo largo de su vida.
- Los aspectos preponderantes de las tendencias filosófica y de impacto social de la enseñanza de las ciencias planteados en la primera parte de este texto se imbrican a lo largo de ambos programas y aparecen presentes a nivel de enfoque, propósitos, contenidos y hasta en las formas de enseñanza y evaluación (que no se incluyeron en este espacio pero que pueden consultarse en la mesografía). Esto es, a nivel de intención todas las características deseables de la ciencia y la enseñanza de la ciencia en Iberoamérica se reconocen en el discurso, sensible y bien estructurado, en ambas propuestas.

## Nuevas propuestas para grandes desafíos

“El futuro se llama incertidumbre;” las ciencias avanzan al seguir aportando más preguntas que respuestas, y preparar al ciudadano capaz de enfrentar y caminar seguro en este camino no es tarea fácil. Los responsables de diseñar los sistemas educativos han apostado al reto de promover nuevos enfoques, posturas y propósitos en sus programas, pero eso no es suficiente ni en la reforma de la secundaria en México ni en el nuevo currículo de ciencias de la LOE.

El gran reto de la enseñanza de las ciencias a nivel básico y preuniversitario parece haber trascendido ya la discusión y los acuerdos sobre los *porqué* y los *qué* (justificación y contenidos). Lo importante ahora es lograr que los *cómos* (metodología y evaluación) y los *para qué* (aplicación) se cristalicen en una nueva generación de estudiantes motivados, atraídos por los temas, y ágiles en el uso y manejo de conceptos de ciencias en su contexto cotidiano y académico.

Eso implica un gran esfuerzo de los profesores y asesores pedagógicos educativos para aquilatar estas visiones y cambiar sus prácticas de enseñanza cuando éstas no sean congruentes con los nuevos enfoques. A pesar de las diferencias en las formas de presentar los temas científicos clásicos y de actualidad (más integrada en la propuesta española, pero con menor tiempo para desarrollarla), se reconoce la importancia de contar con profesores formados tanto en el área disciplinar como en la pedagógica.

Ello sólo será posible a través de una formación inicial promovida desde las universidades al término de la formación disciplinaria básica y de una capacitación continua, comprometida y de calidad, de los maestros en servicio, aunado todo ello a un proceso de profesionalización y dignificación del oficio docente. En ello, México y España han iniciado ya una importante trayectoria de colaboración, en la que expertos del área de educación en ciencias de ambos países están realizando intercambios, así como aportaciones constantes y relevantes a través de instituciones de enseñanza.

## Referencias bibliográficas

- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE) (2007): *Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas*. En <http://www.boe.es/boe/dias/2007/11/06/pdfs/A45381-45477.pdf>
- ECHEVERRÍA J. (2003): *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid, Cátedra.
- MORIN E. (1999): *Los Siete saberes necesarios para la educación del futuro*. En: *Correo de la Unesco*. México, 2001.
- SAGAN C. (1977): *El mundo y sus demonios*. México, Planeta.
- BRUNNER J. (2001): *Globalización y el futuro de la educación: tendencias, desafíos, estrategias*, UNESCO.
- GARFIELD E. (1984): "Essays of an Information Scientist. Latin American Research, Part 2", *Current Contents*, 20, 3-10.
- LAUDAN L. (1986): *El progreso y sus problemas*. Madrid. Encuentro.
- TIANA A. (1998): *La cultura científica, un reto educativo*. Madrid. La Muralla.

## Mesografía

- [http://www.reformasecundaria.sep.gob.mx/ciencia\\_tecnologia/doctos/fundamenta.pdf](http://www.reformasecundaria.sep.gob.mx/ciencia_tecnologia/doctos/fundamenta.pdf)
- <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/132/13210405.pdf>
- <http://www.rieoei.org/deloslectores/1693Chavez.pdf>
- <http://www.facmed.unam.mx/caepa/pdfs/bachillerato.pdf>
- <http://www.cab.unam.mx/interiores/Ligas.htm>
- <http://comunidad-escolar.cnice.mec.es/800/info2.html>

# La enseñanza actual de la Ciencias Naturales y la Biología en México

Alicia Martínez Dorado\*

COLEGIO MADRID, A.C.

## Resumen

Se identifican algunos de los aspectos importantes de la enseñanza actual de las ciencias naturales en México, su marco legal, currículo y tipos de planteles en donde se imparten. Asimismo, se discute la aplicación de las reformas en la educación básica y las competencias en los programas de Ciencias Naturales en el preescolar, primaria y secundaria y su falta de articulación con el bachillerato. Se definen los programas especiales como Enciclomedia, la Ciencia en tu Aula y Telesecundaria, entre otros. También se indican las dificultades por las que pasa la implementación de los nuevos programas y los problemas más importantes que afectan a los profesores y alumnos actores del proceso aprendizaje-enseñanza.

**EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS EL** gobierno mexicano ha tratado de modernizar su sistema de educación básica incorporando en sus reformas los nuevos enfoques sobre la educación, como son el aprendizaje por competencias y las técnicas de información y comunicación en las aulas.

La educación en México está regida por la Ley General de Educación (promulgada en 1993, siendo su última revisión en 2009) que da validez a los estudios tanto a nivel oficial como privado en todo el territorio nacional. En su artículo 2o. indica que: “Todo individuo tiene derecho a recibir educación y, por lo tanto, todos los habitantes del país tienen las mismas oportunidades

---

\* Alicia Martínez Dorado. Licenciatura en Biología, Maestría en Ciencias y Doctorado en Biología por la UNAM. Cuarenta y tres años como profesora de Biología en el bachillerato del Colegio Madrid, A.C. Veintiocho años como profesora de Embriología, Embriología y Genética y Biología del Desarrollo en la Facultad de Medicina de la UNAM. Quince años como profesora en la Facultad Mexicana de Medicina en la Universidad La Salle. Líneas de investigación: Factores que favorecen el aprendizaje de los alumnos. Aprendizaje colaborativo. Aprendizaje por competencias.

de acceso al sistema educativo nacional”, se considera que la educación es el motor para la transformación de la sociedad y el desarrollo de la cultura, además de que promueve la igualdad entre todos los individuos.

Según esta ley, la educación es obligatoria en preescolar, primaria y secundaria: “En el proceso educativo deberá asegurarse la participación activa del educando, estimulando su iniciativa y su sentido de responsabilidad social.”

Las ciencias naturales se imparten en educación inicial (preescolar) y básica (primaria) como una sola materia, en la enseñanza media (secundaria) y en la media superior (bachillerato) se cursan por separado las materias de Biología, Física y Química.

Todos los planteles de enseñanza de nivel inicial, básico y medio dependen de la SEP, las escuelas de educación inicial son públicas y privadas, federales y/o estatales con alumnos de tres a cinco años de edad.

En el nivel básico los planteles pueden ser urbanos (públicos y privados), comunitarios, de aprendizaje a distancia y para adultos. La edad regular de los alumnos que cursan este nivel es de seis a 12 años. En el nivel medio tenemos escuelas tradicionales (públicas y privadas), técnicas comunitarias, telesecundarias y secundarias para adultos; hasta este nivel la escolaridad es obligatoria como se enuncia en el artículo 3o. de la Ley General de Educación: “El Estado está obligado a prestar servicios educativos para que toda la población pueda cursar la educación preescolar, la primaria y la secundaria.”

En los casos de la educación media superior y superior están regidas por la normatividad de cada escuela de enseñanza media superior, universidad o centro de enseñanza superior. Hay gran diversidad de escuelas y programas en los que se imparten Biología, Física y Química.

A nivel federal la SEP tiene bachillerato, Colegio de Bachilleres (COBACH) y preparatoria abierta.

La UNAM, por medio de su Dirección General de Bachillerato (DGB), tiene tres opciones de bachillerato: Escuela Nacional Preparatoria, Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) y Preparatoria Abierta.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) incorpora a las Escuelas Vocacionales en el nivel medio superior, cuyos alumnos ingresan a sus diferentes licenciaturas.

Otras opciones de enseñanza media superior son los bachilleratos del gobierno del Distrito Federal, planteles del Consejo Nacional de Educación Profesional (CONALEP), Centros de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicio (CBETIS), Centros de Estudios Tecnológicos y de Servicio (CETIS), Centros de Estudios Científicos y Tecnológicos, y Centros de Estudios Tec-

nológicos ambos pertenecientes a Instituto Politécnico Nacional (IPN). Colegios Científicos y Tecnológicos de los Estados (CEC y TES). La educación tecnológica agropecuaria en este mismo nivel educativo tiene planteles en los que se imparten programas para Educación en la Ciencia y Tecnología del Mar.

La escuelas privadas se pueden incorporar a la SEP o a la UNAM, las incorporadas a esta última dependen de la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios (DGIRE).

La Licenciatura en Biología se imparte en más de 40 universidades en el país, planteles de la Benemérita Escuela Nacional para Maestros y planteles de la Escuela Normal Superior.

Los programas en ciencias han sido tradicionalmente enciclopédicos, favoreciendo el aprendizaje memorístico y con poco significado para el alumno. No existía articulación entre las materias de ciencias ni entre los diferentes niveles de las mismas. Los contenidos de las materias estaban atomizados y con pocas horas para impartirlos. La enseñanza tradicionalmente estaba centrada en el profesor, siendo el alumno un componente pasivo del proceso aprendizaje-enseñanza, además de que los profesores tampoco participaban en el desarrollo de los programas de las materias, y en general, no los aplicaban en el aula.

Desde 2001 la SEP se abocó a la tarea de revisar los programas de la educación obligatoria para reformarlos tomando en cuenta los nuevos avances de la psicología y pedagogía sobre el aprendizaje, de los que enfatizaremos el aprendizaje de las ciencias naturales.

Como consecuencia de la incorporación de los aprendizajes por competencias, centrar el aprendizaje en el alumno, hacer de éste un actor de su propio proceso de la adquisición del conocimiento, y del profesor, un acompañante indispensable que coloca al alumno en situación de aprendizaje, toman un papel relevante en el diseño de la reforma.

La primera reforma fue de preescolar o educación inicial en 2004, que desarrolla el aprendizaje con base en competencias. Los campos formativos en que están implicadas directamente las ciencias naturales son: exploración, conocimiento y conservación de los seres vivos y la naturaleza y el desarrollo físico y la salud.

La importancia del nivel preescolar es fundamental en el desarrollo integral y armónico de los niños y niñas, debe desarrollar la socialización y las capacidades de comunicación, del pensamiento matemático y de su entorno. Se toman en cuenta en esta reforma, con atención especial, el desarrollo físico, psicomotriz y la apreciación artística.

Los directivos y profesores tuvieron que llevar cursos de actualización para poder afrontar los nuevos programas de la reforma de preescolar, asimismo se tuvo que desarrollar una campaña de información para los padres de familia.

Las estrategias elegidas para desarrollarse en este nivel son: el juego, la producción de textos, la observación del entorno y fenómenos naturales, entre otras.

Los programas de la educación primaria han sido los últimos en revisarse, ya que la reforma de este nivel se llevó a cabo hasta 2009, cuando ya existía la reforma de preescolar y de educación secundaria. Los primeros grados en que se implantará en el curso 2009-2010 son en el 1o. y 6o. grados, en 2011 se extenderá a 2o. y 5o. y en 2012 a 3o y 4o.

Entre los cambios más importantes encontramos la incorporación de una segunda lengua de 1o. a 6o. grados, y la formación cívica y ética que sólo se daba en los tres últimos años ahora se imparte en todos los grados. La carga horaria pasa de 20 a 22.5 horas a la semana. Se mantiene el enfoque por asignaturas basado en el desarrollo de competencias y de los temas con un enfoque transversal.

En la educación primaria se plantean 5 competencias para la vida: el aprendizaje permanente, el manejo de la información, el manejo de las situaciones, la convivencia y la vida en sociedad.

El currículo en primaria está orientado por cuatro campos formativos: lenguaje y comunicación, pensamiento matemático, exploración y comprensión del medio natural y social, desarrollo personal y para la convivencia. En la actualidad se encuentran en revisión los libros de texto obligatorios de la reforma de este nivel educativo.

El programa actual de la educación secundaria (RES) corresponde a la reforma del año 2006, con respecto a las ciencias naturales este programa plantea una formación científica básica. En el primer año se hace énfasis en la Biología, en el segundo en la Física y en el tercero en Química.

Los ejes temáticos en Ciencias I (Biología) son biodiversidad, nutrición, respiración, reproducción y salud, ambiente y calidad de vida.

En Ciencias II (Física) los ejes temáticos son el movimiento (descripción de los cambios de la naturaleza, las fuerzas (explicación de los cambios), las interacciones de la materia (un modelo para describir lo que percibimos), manifestaciones de la estructura de la materia, conocimiento, sociedad y tecnología.

En Ciencias III (con énfasis en la Química) los ejes temáticos son: las características de los materiales y su clasificación química, la transformación



de los materiales, la reacción química, la formación de los nuevos materiales y Química y Tecnología.

En el bachillerato en general las ciencias naturales están ubicadas de la siguiente forma: la Química en primer y tercer años de preparatoria (bachillerato), y en primero, segundo, quinto y sexto semestres de CCH.

La Biología y la Física se estudian en el segundo y tercer años de preparatoria y en tercero, cuarto, quinto y sexto semestres del CCH.

En 2001 se comienza a desarrollar un esfuerzo por utilizar las TIC. Enciclomedia es el resultado de un esfuerzo institucional conjunto para ofrecer a todos los niños y maestros de México diferentes maneras de acceder al conocimiento:

“Contribuir a la mejora de la calidad de la educación que se imparte en las escuelas públicas de educación Primaria del País e impactar en el proceso educativo y aprendizaje por medio de la educación por medio de la experimentación e interacción de los contenidos educativos incorporados a Enciclomedia, convirtiéndola en una herramienta de apoyo a la labor docente que estimula nuevas prácticas pedagógicas en el aula para el tratamiento de los temas y contenidos de los libros de texto”.<sup>1</sup>

Entre sus objetivos están:

- Proporcionar a los profesores y alumnos de la primaria fuentes de información actualizada para que por medio de las TIC los alumnos construyan sus propios aprendizajes.
- Promover aprendizajes más significativos en ambientes más atractivos a partir de lenguajes audiovisuales.
- Formar conocimientos y habilidades, valores y actitudes para que aprecien su entorno y se relacionen de manera respetuosa entre sí, ya sean alumnos de escuelas urbanas, rurales e indígenas o con necesidades especiales.
- Sugerir al profesor estrategias didácticas innovadoras para el desarrollo de los contenidos curriculares.
- Recuperar los conocimientos del docente para generar un ambiente de aprendizaje interactivo en el aula.
- Favorecer un ámbito de desarrollo de aprendizaje grupal y promover el intercambio de información en las escuelas para que la comunidad de la escuela determine sus necesidades, problemas y metas para elevar el nivel escolar.

---

<sup>1</sup> <http://www.encyclomedia.edu.mx>

Uno de los problemas y retos de este programa consiste en que los profesores se lo apropien y lo utilicen en el aula; otro es el financiamiento de las escuelas para comprar el material necesario, como computadoras y pizarrones digitales, entre otros; y, por último, el desarrollo de sitios web en el portal de la SEP que estén siempre disponibles para asesorar tanto a profesores como a alumnos. El programa se ejecuta en las 31 entidades federativas del país y el Distrito Federal.

Paralelamente al Programa Enciclomedia se desarrolla el Programa Nacional de Lectura (PNL) para los niveles de educación básica. El PNL está constituido por *cuatro* líneas estratégicas:

- 1a. Fortalecimiento curricular y mejoramiento de las prácticas de enseñanza.
- 2a. Fortalecimiento de bibliotecas y acervos bibliográficos en las escuelas de educación básica, normal y centros de maestros.
- 3a. Formación y actualización de recursos humanos.
- 4a. Generación y difusión de información.

Todo esto con la finalidad de que a los grupos más vulnerables de la educación secundaria del país se les permitan desarrollar sus capacidades y aptitudes, además, para que los alumnos sean capaces de tener éxito en la educación media y se establezca un vínculo entre la escuela y la comunidad a través de actividades productivas, socioculturales, deportivas y de desarrollo social.

La Telesecundaria, programa iniciado en 1968, llega a los lugares más recónditos del país y atiende la demanda de educación secundaria en zonas donde por razones geográficas y económicas no es posible establecer secundarias generales o técnicas. Los materiales educativos desarrollados para la Telesecundaria son: libros digitales para alumnos y maestros, apuntes, videos de consulta, audios e interactivos.

En 2002 inicia el Programa Ciencia en tu Escuela, desarrollado por la Academia Mexicana de Ciencias con el apoyo de la SEP, su objetivo es mejorar la actitud y actualización de los profesores de educación básica y media hacia las matemáticas y las ciencias naturales.

Para todos estos programas se han desarrollado cursos para los profesores que los van a llevar a las aulas.

La educación media superior tiene dos vertientes: preparar a los alumnos para el ingreso a una licenciatura universitaria, o bien, la formación para adquirir un nivel técnico con su subsecuente incorporación al mercado laboral.

Como se indicó al describir los diferentes tipos de planteles en que se imparte, en este nivel hay una gran diversidad de planes de estudios, algunos han sido reformados últimamente y otros siguen aplicándose sin grandes cambios, dependiendo de la institución a la que pertenezcan o estén incorporados.

## Programas por competencias

Como hemos visto, las reformas de la educación obligatoria están basadas en competencias, esta palabra tiene múltiples acepciones desde el concepto empresarial hasta el educativo. Una definición de ser competente es: “ser adecuado o apto para una cierta actividad” (Monereo, 2005). El desarrollo de las competencias necesita de conocimiento, habilidades y actitudes. Por lo pronto, esto cambia totalmente la posibilidad de que el aprendizaje esté centrado en el profesor, ya que el que tiene que mostrar las competencias que ha conseguido desarrollar es el alumno.

Un problema importante es que las reformas de los diferentes niveles no se han llevado a cabo al mismo tiempo y no están totalmente articuladas, de hecho, cuando la de preescolar lleva ya seis años, la de primaria apenas se comienza a aplicar y la de la secundaria lleva tres años.

La colocación de las ciencias naturales en el currículo puede tener consecuencias sobre todo en biología, ya que se imparte en el primer año de secundaria (niños de 12 años) y no vuelven a llevar la materia hasta 2o. año de bachillerato (16 años). Las competencias que puede desarrollar un niño en primero de secundaria deben ser acordes con su madurez, el paso de cuatro años sin ver esta disciplina puede ser contraproducente, ya que será difícil para los profesores del nivel medio superior poder llevar a los alumnos al nivel requerido por la materia, tomando en cuenta que los programas de la RES no están articulados con los de la educación media superior. La materia más favorecida por su ubicación en tercer año de secundaria es la Química, que estudiarán al siguiente año en el primero de bachillerato.

El problema con el aprendizaje por competencias es que no todos los profesores de preescolar, primaria y secundaria han sido preparados para impartir este tipo de programas, pues aunque existen cursos de la SEP para preparar a los profesores, éstos no son lo suficientemente profundos ni amplios para que el profesor se desempeñe con seguridad en el aula. Así que muchos profesores dicen que están dando el programa por competencias y en realidad lo están impartiendo en la forma tradicional.

### *Enciclomedia*

Enciclomedia es un programa bien desarrollado, se ha aplicado en 5o. y 6o. grados de primaria, el equipo necesario se ha instalado en la mayoría de las escuelas públicas y algunas privadas. El problema es que no todos los profesores llevaron los cursos para utilizar el programa y les da miedo utilizar el equipo al no sentirse capacitados para ello, esto va ligado a un desconocimiento de las TIC por parte del maestro. Aquí, el esfuerzo a nivel económico del gobierno para dotar a las escuelas de recursos se ve bloqueado por la falta de formación del personal docente.

La Telesecundaria es un programa exitoso que ha cumplido y está cumpliendo en general con sus propósitos de llevar la escuela a lugares donde no existía; la capacitación de profesores es un ejemplo, pues al principio eran maestros de primaria y ahora la mayoría tiene licenciatura, por lo que a través del tiempo se ha mejorado. La telesecundaria ha satisfecho las necesidades del programa para cumplir los objetivos de este nivel de la educación básica.

### *La ciencia en tu escuela*

“Los profesionales y las profesionales del mundo de la educación sabemos que los contenidos, los procedimientos y las actitudes que se integran a nuestra vida cotidiana son los que pueden adquirirse mejor. Tanto es así que fomentar una actitud científica en el aula, y en el colegio en general, puede ayudar a valorar la ciencia de una manera positiva y estar más predispuesto a aprenderla” (Sallés, 2009).

Uno de los problemas existentes en la enseñanza de las ciencias es el no acercar al alumno a la relación e influencia que tiene en la vida diaria, ¿nos hemos preguntado por qué los alumnos tienen tanto interés por los temas científicos y lo van perdiendo al transitar por la primaria y huir de estas disciplinas en la secundaria y el bachillerato? Desde luego es en parte debido al alejamiento de los contenidos de las disciplinas de la vida cotidiana.

Este programa promueve que especialistas en ciencias acerquen a los maestros a contenidos y experiencias de ciencias en el aula que faciliten el entendimiento y gusto del alumno por la ciencia.

Al profesor se le invita a tomar un diplomado en que se revisan contenidos, desarrollo de habilidades y experiencias fáciles y significativas para el alumno. Este programa es relativamente nuevo y su éxito dependerá de la cantidad de maestros que se capacite para desarrollarlo. El diplomado se imparte fuera

de la jornada laboral y aunque lo toman en cuenta para la carrera magisterial, los maestros tienen que sacrificar parte de su tiempo libre para cursarlo.

### *Programa Nacional de Lectura*

Este programa tiene como uno de sus objetivos prioritarios que el alumno aprenda a leer y a escribir correctamente pues los alumnos en general tienen un nivel bajo en la lecto-escritura. La corrección de esto no depende sólo de las bibliotecas y los rincones de lectura o bibliotecas del aula, sino del interés y seguimiento que le den los profesores.

Los actores del proceso aprendizaje-enseñanza, o sea, los profesores y alumnos, enfrentan serios problemas que podemos dividir en académicos, sociales e institucionales.

Entre los de tipo académico destacan los conocimientos insuficientes tanto de la disciplina como pedagógicos: falta de actualización, inseguridad y miedo al cambio, nuevos programas que desconocen, falta de planeación en su quehacer docente, exceso en el uso del libro de texto y desconocimiento de las TIC.

A nivel social: pérdida de la autoridad en el aula, bajo reconocimiento social y responsabilidad del fracaso escolar. A nivel institucional: salarios bajos, multiplicidad de funciones (a veces trabajan doble turno), control burocrático excesivo, falta de recursos en el aula y exceso de alumnos por grupo.

Por su parte, los alumnos no entienden los conceptos científicos, presentan fuertes preconcepciones o ideas previas, no relacionan la ciencia con su vida diaria, rechazan la terminología propia de la disciplina y presentan falta de motivación.

Es importante hacer notar que México le dedicó alrededor del 5% del Producto Interno Bruto (PIB) a la educación en 2009 cuando la recomendación de la UNESCO en 2001 fue invertir en este rubro el 8%.

Se puede concluir con este párrafo del informe Delors (UNESCO 1996) que resume la mayoría del contenido de este escrito:

“Para mejorar la calidad de la educación hay que empezar por mejorar la contratación, la formación, la situación social y las condiciones de trabajo del personal docente”.

## Referencias bibliográficas

- DELORS J. (1996): *La educación encierra un tesoro. Informe de la UNESCO para la Comisión Internacional sobre la Educación en el siglo XXI*. Santillana. Ediciones UNESCO.
- MONEREO C. (2005): *Internet y competencias básicas: Aprender a colaborar, a comunicarse a participar, a aprender*, Graó. Barcelona. 12 y 28.
- RYCHEN D.S. y HERSH L. (2004): *Definir y seleccionar las competencias fundamentales para la vida*. Fondo de Cultura Económica. México. p. 369.
- SALLÉS N.(2005): *Hacemos ciencia en la escuela*. Graó. Barcelona. p. 41.

## Mesografía

- Ley General de Educación: <http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/137.pdf>
- [http://www.santillana.com.mx/rieb/pdf/rieb/rieb\\_2009.pdf](http://www.santillana.com.mx/rieb/pdf/rieb/rieb_2009.pdf)
- <http://basica.sep.gob.mx/reformasecundaria/doc/programas/mapacurricular-26may2006do.pdf>
- <http://www.enciclomedia.edu.mx>
- [http://telesecundaria.dgme.sep.gob.mx/mat\\_ed/mat\\_ed\\_01.php](http://telesecundaria.dgme.sep.gob.mx/mat_ed/mat_ed_01.php)
- [http://lectura.dgme.sep.gob.mx/pnl\\_dp\\_00.php](http://lectura.dgme.sep.gob.mx/pnl_dp_00.php)

# La evaluación de contenidos en la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo

Ana Oñorbe de Torre\*

CONSEJO EDITORIAL REVISTA *ALAMBIQUE*

## Resumen

En el presente trabajo se hace una breve reflexión sobre la importancia de una buena evaluación de los aprendizajes dentro del marco de la asignatura “Ciencia en el mundo contemporáneo”, de reciente integración en el currículo del Bachillerato español. La evaluación constituye hoy por hoy una parte esencial de la planeación y la práctica educativa, y cobra por tanto, gran relevancia identificar aquellos sistemas que han probado demostrar mejor los aprendizajes y las competencias desarrolladas por los alumnos cuando aprenden ciencias significativamente. Los ejemplos que se presentan son reactivos cuyos objetivos son la comprensión de los problemas, el análisis de información y la resolución con base en los conocimientos adquiridos, evitando la memorización y apostando por la recuperación continua de habilidades y conceptos conocidos desde diversas áreas del saber.

## Introducción

**LA ASIGNATURA CIENCIAS PARA EL MUNDO** Contemporáneo, de reciente introducción al currículo español de bachillerato, ha presentado desde su diseño hasta su aplicación un reto en la enseñanza de las ciencias que no debe desaprovecharse. Representa una propuesta diferente, con un enfoque para

---

\* Ana María Oñorbe de Torre. Licenciada en Química, Doctora en Ciencias con tesis didáctica sobre Resolución de problemas de Ciencias. Catedrática de Física y Química y directora de Instituto de Enseñanza Secundaria. Asesora de Ciencias experimentales en la Subdirección de Perfeccionamiento del Profesorado del Ministerio de Educación español durante seis años. Colaboradora de la Cátedra UNESCO de Educación Científica para Latinoamérica y el Caribe de la Universidad de Alcalá. Pertenece al Consejo de dirección de la Revista *ALAMBIQUE* de Didáctica de las Ciencias Experimentales (Graó, Barcelona) desde su fundación en 1993. Ha publicado numerosos artículos y libros y participado en congresos, seminarios y grupos de trabajo, todo ello en relación con la Didáctica de las Ciencias.

su desarrollo que podría colaborar a la instauración de un modelo didáctico nuevo. Dado que ya se ha hablado previamente de las características de la disciplina, aquí vamos a ocuparnos del papel fundamental que juega la evaluación en este cambio.

Como bien sabemos los docentes, y particularmente los del área de ciencias, evaluar es una de las tareas más complejas de la enseñanza. Implica un discurso (teórico) sobre modelos, técnicas, tipos de evaluación (de centros, de profesores, del currículo...) y otro práctico del aula, habitualmente limitado a la evaluación del rendimiento del estudiante y que pretende evidenciar determinados aprendizajes del alumno con la finalidad de ser juzgado. La evaluación en el aula es la que trataremos partiendo de la premisa de que el contenido de la evaluación marca el contenido prioritario de nuestra enseñanza. ¿Hay relación entre los objetivos que decimos son los más importantes en el aprendizaje y las preguntas que luego utilizamos en la evaluación? Cuando se prepara una evaluación se determina aquello que creemos que “merece la pena evaluar”. Por tanto, estamos definiendo la parte del aprendizaje que consideramos significativo.

Las evaluaciones bien planteadas pueden orientar la enseñanza de las ciencias hacia las innovaciones de los currículos reformados en consonancia con las aportaciones de la investigación en didáctica de las ciencias. Según Gil Pérez y Martínez Torregrosa (2005): “poco importan las innovaciones introducidas o los objetivos que se hayan marcado mientras la evaluación siga consistiendo en ejercicios para constatar el grado de retención de algunos conocimientos conceptuales. Estos serán para los alumnos y alumnas (y gran parte del profesorado) el verdadero objetivo del aprendizaje”.

Todos los profesores somos conscientes de que las cuestiones que se proponen a los alumnos para calificarlos marcan los contenidos y la metodología de nuestra enseñanza (basta recordar las pruebas de selectividad). El cambio consciente del tipo de evaluación ha de conducir, casi necesariamente, a un cambio del modelo didáctico (Cañas y col., 2007). Pero, por otra parte, difícilmente podemos evaluar un determinado aprendizaje si antes no tenemos claro qué es lo que queremos evaluar: ello supone explicitar los objetivos que se pretenden conseguir y en relación con éstos, los criterios que se van a utilizar para su aplicación concreta en clase. Los objetivos y criterios de evaluación son una guía que marca la enseñanza, pero no pueden considerarse totalmente cerrados y de obligado cumplimiento. Algunos de ellos pueden ser modificados cuando la experiencia muestra que no son adecuados a la realidad del alumnado al que estaban dirigidos. En la nueva asignatura,



Ciencias para el Mundo Contemporáneo, los objetivos y criterios de evaluación son bastante coherentes. Se hace necesario encontrar su aplicación en la evaluación del rendimiento del aprendizaje. El cuadro siguiente muestra un resumen de los objetivos y criterios de evaluación:

Objetivos	Criterios de evaluación
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conocer el significado cualitativo de algunos conceptos, leyes y teorías, formarse opiniones fundamentadas sobre cuestiones que inciden en las condiciones de vida personal y global, y sean objeto de controversia social y debate público.</li> <li>2. Plantearse preguntas sobre cuestiones y problemas científicos de actualidad y tratar de buscar sus propias respuestas, utilizando y seleccionando de forma crítica información proveniente de diversas fuentes.</li> <li>3. Obtener, analizar y organizar informaciones de contenido científico, utilizar representaciones y modelos, hacer conjeturas, formular hipótesis y realizar reflexiones para tomar decisiones y comunicarlas a los demás con coherencia, precisión y claridad.</li> <li>4. Adquirir un conocimiento coherente y crítico de las tecnologías de la información, comunicación y ocio, con un uso sensato y racional de las mismas.</li> <li>5. Argumentar, debatir y evaluar propuestas y aplicaciones de los conocimientos científicos de interés social relativos a la salud, el medio ambiente, los materiales, las fuentes de energía, etcétera. Valorar las informaciones científicas y tecnológicas de los medios de comunicación con independencia de criterio.</li> <li>6. Poner en práctica actitudes y valores sociales, creatividad, curiosidad, antidogmatismo, reflexión crítica y sensibilidad ante la vida y el medio ambiente, útiles para el avance personal, relaciones interpersonales y la inserción social.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obtener, seleccionar y valorar informaciones sobre temas científicos y tecnológicos de repercusión social y comunicar conclusiones o ideas en distintos soportes a públicos diversos, utilizando las TIC, para formarse opiniones propias argumentadas.</li> <li>2. Analizar aportaciones científico-tecnológicas a diversos problemas que tiene planteados la humanidad, y la importancia del contexto político-social en su puesta en práctica, considerando sus ventajas e inconvenientes desde un punto de vista económico, medioambiental y social.</li> <li>3. Realizar estudios sencillos sobre cuestiones sociales con base científico-tecnológica de ámbito local, haciendo predicciones y valorando las posturas individuales o de pequeños colectivos en su posible evolución.</li> <li>4. Valorar la contribución de la ciencia y la tecnología a la comprensión y resolución de los problemas de las personas y de su calidad de vida, mediante una metodología basada en la obtención de pruebas, el razonamiento, la perseverancia y el espíritu crítico, aceptando sus limitaciones y equivocaciones propias de toda actividad humana.</li> <li>5. Identificar los principales problemas ambientales, sus causas y los factores que los intensifican; predecir sus consecuencias y argumentar sobre la necesidad de una gestión sostenible de la Tierra, siendo conscientes de la importancia de la sensibilización ciudadana para actuar sobre los problemas ambientales locales.</li> </ol>

Objetivos	Criterios de evaluación
<p>7. Valorar la contribución de la ciencia y la tecnología a la mejora de la calidad de vida, reconociendo sus aportaciones y sus limitaciones y cuyas ideas están en continua evolución, condicionadas al contexto en que se desarrollan.</p> <p>8. Reconocer la influencia recíproca entre el desarrollo científico y tecnológico y los contextos sociales, políticos, económicos, religiosos, educativos y culturales en que se produce el conocimiento y sus aplicaciones.</p>	<p>6. Conocer y valorar las aportaciones de la ciencia y la tecnología a la mitigación de los problemas ambientales mediante la búsqueda de nuevos materiales y nuevas tecnologías, en el contexto de un desarrollo sostenible.</p> <p>7. Diferenciar los tipos de enfermedades más frecuentes, identificando indicadores, causas y tratamientos más comunes, valorando la importancia de adoptar medidas preventivas que eviten los contagios, que prioricen los controles periódicos y los estilos de vida saludables sociales y personales.</p> <p>8. Conocer y valorar las bases científicas de la manipulación genética y embrionaria, así como los pros y contras de sus aplicaciones y entender la controversia internacional que han suscitado, siendo capaces de fundamentar la existencia de un Comité de Bioética que defina sus límites en un marco de gestión responsable de la vida humana.</p> <p>9. Analizar las sucesivas explicaciones científicas dadas a problemas como el origen de la vida o del Universo; haciendo hincapié en la importancia del razonamiento hipotético-deductivo, el valor de las pruebas y la influencia del contexto social, diferenciándolas de las basadas en opiniones o creencias.</p> <p>10. Conocer las características básicas, las formas de utilización y las repercusiones individuales y sociales de los últimos instrumentos tecnológicos de información, comunicación, ocio y creación, valorando su incidencia en los hábitos de consumo y en el entorno familiar y de relaciones sociales.</p>

Por otra parte, si analizamos el primer tema que se propone en los contenidos de la asignatura encontramos, en resumen, otra forma de expresar los objetivos y por tanto no puede tratarse por separado, sino que afecta como tema transversal a todos los demás. Sus apartados se reproducen a continuación.

### *Tema 1: Contenidos comunes*

- A) Distinción entre las cuestiones que pueden resolverse mediante respuestas basadas en pruebas científicas de aquellas otras que no pueden solucionarse desde la ciencia.
- B) Búsqueda, comprensión y selección de información científica relevante de diferentes fuentes para dar respuesta a los interrogantes, diferenciando las opiniones de las afirmaciones basadas en datos.
- C) Análisis de problemas científico-tecnológicos de incidencia e interés social, predicción de su evolución y aplicación del conocimiento en la búsqueda de soluciones a situaciones concretas.
- D) Disposición a reflexionar científicamente sobre cuestiones de carácter científico y tecnológico para tomar decisiones responsables en contextos personales y sociales.
- E) Reconocimiento de la contribución del conocimiento científico-tecnológico a la comprensión del mundo, a la mejora de las condiciones de vida de las personas y de los seres vivos en general, a la superación de la obiedad, a la liberación de los prejuicios y a la formación del espíritu crítico.
- F) Reconocimiento de las limitaciones y errores de la ciencia y la tecnología, de algunas aplicaciones perversas y de su dependencia del contexto social y económico, a partir de hechos actuales y de casos relevantes en la historia de la ciencia y la tecnología.

Como puede verse, fácilmente el apartado B se correspondería con los objetivos 2 y 3; el C y el D con los objetivos 2 y 5, y el E y el F con los objetivos 6, 7 y 8.

## Evaluación de los resultados del aprendizaje

Las diversas formas de evaluación deberían basarse en:

- Presentación de trabajos sobre la planificación y realización de un proyecto (por escrito, maquetas, conferencia, minicongreso...).
- Carpeta de trabajo personal. Su contenido puede ser pactado previamente entre profesor y alumno. Carpeta final organizada, con un índice, resumen...
- Resúmenes de explicaciones científicas y preparación de comunicados para presentarlos a un “lego” en la materia.
- Elaboración y presentación de mapas conceptuales.
- Pruebas escritas de cuestiones “productivas” cuya respuesta exige relacionar conocimientos aplicándolos al análisis de situaciones no trabajadas anteriormente.

Las primeras corresponden a la observación del trabajo del aula, a la elaboración, recogida o elaboración de informes, etcétera. De la última, las pruebas escritas, se presentan algunas ejemplificaciones que han sido tomadas en su mayor parte de las elaboradas por el Proyecto PISA. La razón de hacerlo así se encuentra en que el modelo que este utiliza aparece en estrecha sintonía con los criterios de evaluación que se piden en las Ciencias para el Mundo Contemporáneo de nuestro bachiller.

Una idea central del PISA es que el enfoque de la evaluación propuesta —que considera la aplicación del conocimiento científico en vez de la memorización de conceptos— favorecerá el desarrollo de una didáctica coherente con los logros a conseguir (saber resolver problemas que se plantean en la vida real: situaciones de viaje, compra, domésticas, económicas, etcétera) y, en última instancia, mejorará el rendimiento de los estudiantes. El proyecto pretende evaluar si el alumnado es capaz de discernir las explicaciones científicas a problemas fundamentales que se ha planteado la humanidad de aquellas que no lo son. Y todo ello basándose en características del trabajo científico como la existencia de pruebas frente a las opiniones o creencias. Asimismo, analiza la influencia del contexto social para la aceptación o rechazo de determinadas explicaciones científicas, como el origen físico-químico de la vida o el evolucionismo. El cuadro siguiente muestra los principales elementos de la evaluación PISA sobre la competencia científica de 2006.

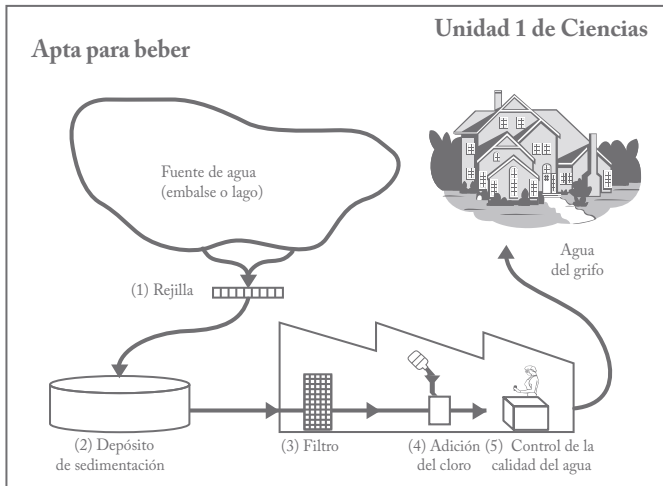
Capacidades	Conocimiento	Actitudes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar cuestiones científicas.</li> <li>• Explicar fenómenos científicamente.</li> <li>• Utilizar pruebas científicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento científico.</li> <li>• Sistemas físicos.</li> <li>• Sistemas vivos.</li> <li>• Sistemas de la Tierra y el espacio.</li> <li>• Conocimiento acerca de la ciencia:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación científica.</li> <li>- Explicaciones científicas.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interés por la ciencia.</li> <li>• Apoyo a la investigación científica.</li> <li>• Responsabilidad sobre los recursos y los ambientes.</li> </ul>

Ello implica analizar la consecución o no de los siguientes objetivos muy relacionados con los propuestos en las Ciencias del Mundo Contemporáneo:

1. Reconocer cuestiones científicamente investigables: identificar los tipos de preguntas que la ciencia intenta responder (con el objetivo 2 de las Ciencias del Mundo Contemporáneo).
2. Identificar las evidencias en una investigación científica: necesarias para contestar a los interrogantes que pueden plantearse e identificar o definir los procedimientos necesarios para la recogida de datos (con el objetivo 5).
3. Extraer o evaluar conclusiones: relacionar las conclusiones con los datos en los que se basan o deberían basarse (con el 3 y el 5).
4. Comunicar adecuadamente a una audiencia determinada las conclusiones de un trabajo (con el 3 y el 4).
5. Demostrar la comprensión de conceptos científicos: necesaria para utilizarlos en situaciones distintas en las que se aprendieron. Esto supone no sólo recordar el conocimiento, sino también saber exponer la importancia del mismo o usarlo para hacer predicciones o dar explicaciones (con el 1 y el 5).

## Algunos ejemplos de cuestiones de evaluación de las ciencias

He aquí varias de las cuestiones utilizadas en PISA, 2003 y 2005 (OCDE, 2006) para la evaluación de la competencia científica:



La figura de arriba muestra el proceso mediante el cual se consigue que el agua que se suministra a las viviendas de las ciudades sea apta para el consumo.

### *Ejercicio No. 1 Agua potable. Preguntas:*

**1.1.** Disponer de una fuente de agua potable de calidad tiene una gran importancia. Las aguas que se encuentran bajo tierra se denominan aguas subterráneas.

Da una razón que explique por qué la contaminación de bacterias y partículas es menor en las aguas subterráneas que en las superficiales, que son los ríos y los lagos.

**1.2.** La depuración del agua suele comprender varias fases en las que se emplean diversas técnicas. El proceso de depuración que se muestra en la figura comprende cuatro fases (numeradas del 1 al 4). En la segunda fase el agua es recogida en unos depósitos de sedimentación.

¿De que manera contribuye esta fase a hacer que el agua esté más limpia?

- A. Las bacterias del agua se mueren.
- B. Se añade oxígeno al agua.
- C. La grava y la arena se van al fondo.
- D. Las sustancias tóxicas se descomponen.

1.3. En la cuarta fase de la depuración se añade cloro al agua. ¿Para qué se añade el cloro?

1.4. Imagina que una vez completado el proceso de depuración los científicos encargados de analizar el agua descubren que ésta sigue estando conteniendo alguna bacteria peligrosa.

¿Qué debería hacer la gente en sus casas con esa agua antes de beberla?

1.5. ¿Beber agua contaminada puede ser la causa de alguno de los siguientes problemas de salud (rodea con un círculo Sí o No para cada uno de los casos)?

Diabetes            Sí/No

Diarrea            Sí/No

VIH/SIDA        Sí/No

Hemos añadido en este ejercicio, como modelo, algunas de las pautas de corrección y el tipo de cuestiones planteadas.

### Pregunta 1.1

Puntuación máxima: respuestas que mencionen el proceso de filtrado a través del terreno (al atravesar las capas de arena y polvo el agua se limpia. Se ha filtrado de forma natural. El agua que se introduce en la tierra es tamizada por las rocas y la arena).

Respuestas en relación con el hecho de que las aguas subterráneas se encuentran encapsuladas y, por tanto, protegidas de contaminación, o bien, que las aguas de la superficie se contaminan más fácilmente. (las aguas subterráneas están bajo tierra y la contaminación del aire no las ensucia. Porque no están al descubierto sino debajo de algo. Porque los lagos y los ríos están contaminados por las personas y los animales).

Otras respuestas correctas (las aguas subterráneas contienen pocos nutrientes para las bacterias y por eso no pueden sobrevivir en ellas. Las aguas subterráneas no reciben la luz del sol).

Tipo de ejercicio: respuesta construida abierta. Capacidad: explicar fenómenos científicamente.

Categoría de conocimiento: sistemas de la tierra y el espacio. Área de aplicación: recursos naturales

### **Pregunta 1.2**

Puntuación máxima: C, la gravilla y la arena se van al fondo.

Tipo de ejercicio: elección múltiple. Capacidad: explicar fenómenos científicamente.

Categoría de conocimiento: sistemas físicos.

Área de aplicación: salud.

Marco: social

### **Pregunta 1.3**

Puntuación máxima: referencia a la retirada o descomposición de las bacterias, microbios, virus o gérmenes (para dejarla libre de bacterias. El cloro mata las bacterias. Para matar todas las algas).

Sin puntuación: otras respuestas (el agua se vuelve menos ácida y se eliminan las algas. Es como el flúor. Para limpiar más el agua y matar las cosas que quedan. Para que se mantenga limpia y se pueda beber).

Tipo de ejercicio: respuesta construida-abierta.

Capacidad: explicar fenómenos científicamente.

Categoría de conocimiento: sistemas vivos.

Área de aplicación: salud.

Marco: social.

### **Pregunta 1.4**

Puntuación máxima: respuestas referidas al hervido del agua.

Respuestas relativas a otros métodos de depuración que pueden realizarse de manera segura en los hogares (tratar el agua con pastillas de cloro. Utilizar un filtro microporoso).

Sin puntuación: respuestas que hagan referencia a métodos “profesionales” de depuración que no pueden realizarse de forma segura en el hogar o no sean prácticos (mezclarla con cloro en un cubo antes de beberla. Añadir más cloro u otros productos químicos o agentes biológicos. Destilar el agua). Otras respuestas (volver a depurarla. Utilizar un filtro de café. Comprar agua embotellada hasta que el proceso de depuración se haya arreglado, pues elude la pregunta que se plantea).

Tipo de ejercicio: respuesta construida-abierta.

Capacidad: explicar fenómenos científicamente.



Categoría de conocimiento: sistemas vivos.

Área de aplicación: salud.

Marco: social

### Pregunta 1.5

Puntuación máxima: las tres respuestas correctas en el orden: No, Sí, No

Tipo de ejercicio: elección múltiple compleja.

Capacidad: explicar fenómenos científicamente.

Categoría de conocimientos: sistemas vivos.

Área de aplicación: salud.

Marco: personal

### *Ejercicio 2. Maíz*

Carolina señala que el maíz que se utiliza como pienso para el ganado es, en realidad, un tipo de combustible. Las vacas comen maíz para conseguir energía. Pero, según explica Ana, la venta del maíz como combustible en lugar de como pienso podría ser mucho más rentable para los granjeros.

Carolina sabe que el medio ambiente recibe cada vez más atención y que la legislación estatal para proteger el medio ambiente cada vez es más compleja. Lo que Carolina no acaba de entender es la cantidad de atención que se está dedicando al dióxido de carbono. Se le considera la causa del efecto invernadero. También se dice que el efecto invernadero es la causa principal del aumento de la temperatura media de la atmósfera de la Tierra. Sin embargo, desde el punto de vista de Carolina no hay nada malo en el dióxido de carbono. Al contrario, las plantas y los árboles lo absorben y lo convierten en oxígeno para los seres humanos. Ella afirma: “Ésta es un área agrícola y los agricultores cultivan maíz. Tiene una etapa larga de crecimiento, absorbe mucho dióxido de carbono y emite mucho oxígeno. Hay muchos científicos que dicen que el dióxido de carbono no es la causa principal del efecto invernadero.”

Efecto invernadero relativo por molécula de gas			
Dióxido de carbono	Metano	Óxido nitroso	Clorofluorocarbonos
1	30	160	17000

A partir de esta tabla, Carolina concluye que el dióxido de carbono no es la causa principal del efecto invernadero. No obstante, esta conclusión es prematura. Estos datos deben combinarse con otros para poder concluir si el dióxido de carbono es o no la causa principal del efecto invernadero. ¿Qué otros datos debe conseguir Carolina?

- A. Datos sobre el origen de los cuatro gases.
- B. Datos sobre la absorción de los cuatro gases que realizan las plantas.
- C. Datos sobre el tamaño de cada uno de los cuatro tipos de moléculas.
- D. Datos sobre la cantidad de cada uno de los cuatro gases en la atmósfera.

## Comentario final

El programa no pretende identificar todos los conceptos que podrían estar asociados a los grandes temas científicos para ser objeto de evaluación. En lugar de ello se seleccionan los contenidos a incluir según tres criterios de relevancia:

1. Que tengan un alto grado de utilidad en la vida diaria y aparezcan en situaciones cotidianas.
2. Que se relacionen con aspectos relevantes de la ciencia y que con más probabilidad seguirán teniendo importancia científica en el futuro.
3. Que sean aptos para utilizarlos en procesos científicos y no sólo que correspondan a definiciones o clasificaciones que únicamente deben ser recordadas.

## Referencias bibliográficas

- MEC (2007): *Real Decreto 1631/2006 de 29 de diciembre. Enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE de 5 de enero de 2007. Madrid.
- OCDE (2006): *Marco de evaluación, conocimientos y habilidades en ciencias, matemáticas y lectura*. Madrid. Santillana/MEC.
- CAÑAS, A. Martín-Díaz, M.J., Nieda, J. (2007): *Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. La competencia científica*. Madrid. Alianza Editorial.
- MEC (2006a): *Ley Orgánica 2/2006, 3 de mayo, de Educación*. BOE de 4 de mayo de 2006. Madrid.
- MEC-IE (INSTITUTO DE EVALUACIÓN) (2007): *PISA 2006. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE. Informe español*. Madrid, MEC.
- OCDE-INECSE (2004): *Marcos Teóricos de PISA 2003. Conocimientos y destrezas en Matemáticas, Lectura, Ciencias y Solución de Problemas*. Madrid, MEC.

## Mesografía

Pruebas de Ciencias Programa PISA en:  
<http://www.ince.mec.es/pub/index.htm>  
<http://www.mec.es/mecd/gabipren/documentos>



# La construcción y transformación de las representaciones en el aprendizaje de la física

Fernando Flores-Camacho\*

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

## Resumen

Se abordan algunas explicaciones sobre los principales motivos que dificultan el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, enfatizando el papel de las ideas previas, la metacognición y las representaciones mentales en este proceso. Los enfoques psicológico y epistemológico juegan un papel fundamental en la construcción y la transformación representacional, destaca su capacidad de transformación y la capacidad de poderse inferir, a partir de la representación, las propiedades o cualidades posibles de lo representado. Es en esa estructura y sus posibilidades de hacer predicciones y generar explicaciones, donde radica la importancia de las representaciones, ya que por su medio se manifiestan procesos que satisfacen la coherencia mínima para interpretar y funcionar en el entorno de las personas que aprenden.

---

\* Fernando Flores Camacho. Académico en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM. Físico y Doctor en Pedagogía, ambos grados por la UNAM. Trabaja desde hace más de veinte años en el campo de la enseñanza de la ciencia. Ha sido profesor de la Facultad de Ciencias en la carrera de Física. Ha colaborado en diversos posgrados con otras instituciones, como el Doctorado en Educación de la UPN, el de la Universidad Autónoma de Sinaloa y en la maestría y doctorado en Física Educativa del IPN. Ha sido profesor invitado en diversas universidades extranjeras como las de Salta, Sao Paulo, Nacional de Colombia, el Centro Internacional de Física, etcétera. Es autor de más de 30 artículos de investigación sobre aspectos de formación conceptual, cambio conceptual y concepciones de ciencia de los profesores en revistas internacionales y nacionales. Actualmente es profesor del posgrado en Pedagogía de la Facultad de Filosofía y Letras.

## Introducción

### ¿En qué radica la dificultad de aprender ciencias naturales?

**EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS MUCHO** se ha avanzado en comprender los problemas que implica el aprendizaje de las ciencias, en especial de la física y la química. Uno de los primeros aspectos que produjo un cambio de perspectiva para abordar los problemas de la enseñanza de las ciencias fue, sin duda, el reconocimiento de que los alumnos, a pesar de los años en la escuela y de diversos factores –incluidos los regionales, contextuales y socio-económicos– desarrollaban ideas sobre los procesos naturales que no lograban ser modificadas por la acción escolar. Estas ideas, conocidas como ideas previas o esquemas alternativos según diversos autores (Driver y Easley, 1978; Wandersee, Mintzes y Novak, 1994), marcaron el inicio de un nuevo enfoque educativo pues pusieron de manifiesto, de manera clara, que había que analizar el problema de la comprensión de los conocimientos científicos, desde sus orígenes cognitivos y epistemológicos más que desde la pedagogía y la didáctica.

El reconocimiento de las ideas previas y su caracterización (Duit, 1997; Flores *et al*, 2002<sup>1</sup>), además de hacer notar que había que buscar nuevos enfoques educativos, implicó un retorno al análisis cognitivo, a los procesos de desarrollo y de construcción conceptual de los sujetos. Supuso también el fortalecimiento de la visión constructivista del aprendizaje. Pasando del desarrollo psicológico a un entramado complejo entre el desarrollo cognitivo y el del conocimiento.

Conforme se fueron caracterizando las ideas previas y su gran diversidad –se encuentran actualmente con miles de ideas previas para los diversos temas de la ciencia escolar y niveles educativos– se hizo patente que el aprendizaje de la ciencia tenía características específicas y que el reto al que se enfrentaban los docentes era mucho mayor que lo que se había supuesto con teorías del aprendizaje generales como las del aprendizaje significativo (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983), el redescubrimiento (Bruner, 1961) o los enfoques centrados en el desarrollo de habilidades (Feurestein, *et al*, 1980).

Lo anterior llevó entonces a buscar otras alternativas y, además de a la cognición, se miró hacia la epistemología de la ciencia. En ella se encontró la sugerente idea del cambio conceptual.

---

<sup>1</sup> Base de datos sobre las ideas previas en ciencias. Se encuentra en la página:  
<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>

El cambio conceptual es un tema que se trató en la epistemología de la ciencia por varios autores que contribuyeron a la denominada “nueva filosofía de la ciencia” (Brown, 1977) y que en diversas formas trataron el tema del cambio de teoría, (Kuhn, 1962; Laudan, 1997) el cambio de visión (Kuhn, 1962; Sellars, 1971) y que han sido reafirmadas y enriquecidas de diversas formas por autores más contemporáneos (Amtersdamsky, 1975; Hynegen-Huine, 1993; Carrier, 2002). El cambio conceptual indica que el progreso en el conocimiento científico se da por transformaciones, en diversas ocasiones radical, del conocimiento previo que, por muchas razones ha mostrado su agotamiento para explicar los fenómenos naturales. Pero también por su incapacidad de estructurar de mejor manera las teorías científicas. No es extraño que ante la problemática que presentaron las ideas previas o concepciones alternativas, el cambio conceptual haya constituido un buen referente para intentar construir teorías sobre el aprendizaje orientadas a modificar las ideas previas de los alumnos.

Las teorías del cambio conceptual son diversas y obedecen tanto a posiciones epistemológicas distintas como a consideraciones cognitivas diversas. En una forma de organizarlas, Flores (2004) plantea un esquema donde pueden agruparse según si su orientación es, principalmente, epistemológica o cognitiva y si la idea de cambio conceptual que proponen está anclada en la sustitución o en la transformación desde el punto de vista de sistemas cognitivos complejos.

Sin entrar aquí en detalles, el cambio conceptual ha mostrado que aprender ciencias implica un proceso cognitivo difícil y complejo para los estudiantes puesto que los conocimientos científicos no pueden verse como información o datos, sino que implican, en su gran mayoría –sobre todo los conocimientos científicos escolares básicos– la transformación de los alumnos, de sus formas de pensar, de concebir su entorno, y eso indica de entrada un reto importante desde el punto de vista cognitivo. Como puede apreciarse, el aprendizaje de las ciencias conlleva por parte del alumno un esfuerzo cognitivo y metacognitivo que va más allá de los ejercicios rutinarios de los textos o de la insistencia de los profesores porque repitan los conceptos o que puedan llevar a cabo una actividad experimental que indica un manual de prácticas, por más didácticas que parezcan.

En los últimos años el cambio conceptual que ha sido el centro de atención en el aprendizaje está teniendo un giro hacia formas más amplias y que den cuenta de mejor manera de lo que ocurre en la construcción de las nociones científicas. Así, un aspecto que ha surgido en la epistemología de la

ciencia y en las teorías sobre el origen de la cognición ha llevado a considerar entidades más amplias que abarcan a los conceptos y sus relaciones. Son las representaciones estas concepciones que enmarcan un proceso de desarrollo cognitivo más amplio y abarcativo las que han mostrado, como detallaremos más adelante, nuevos elementos para ser considerados en el aprendizaje de las ciencias.

El aprendizaje de los conocimientos científicos escolares implica un reto mayor que como tal debe ser abordado en la escuela, un esfuerzo personal que el alumno debe llevar a cabo de manera consciente. No es fácil aprender los conceptos científicos, pero tampoco es tarea imposible si además de tener en cuenta lo que implica se plantean los procesos didácticos adecuados, orientados por una clara idea de de aprendizaje y de lo que éste representa para la práctica escolar.

¿Qué procesos debe seguir el alumno? ¿En qué forma puede guiar el profesor el aprendizaje de la ciencia escolar? Antes de llegar a algunas breves respuestas a estas preguntas pasaremos a describir el proceso que ha implicado comprender que el aprendizaje de las ciencias más que en los conceptos mismos debe atender las representaciones de los estudiantes.

## De los conceptos a las representaciones

En la enseñanza el énfasis ha estado en los conceptos. En toda propuesta educativa el aprendizaje está determinado por la comprensión que de los conceptos tengan los estudiantes. Por ejemplo, en el aprendizaje significativo (Ausubel, Novak y Hanesian, 1985) el significado y la ordenación jerárquica que el sujeto haga de los conceptos es lo que determina su nivel de aprendizaje. Si se hiciera un recuento de los objetivos planteados en diversos programas curriculares y desarrollos y propuestas didácticas, los conceptos ocupan siempre el lugar más importante (National Curriculum; NRC, 1996; SEP, 1993). El cambio conceptual es tal vez la muestra más clara de que el aprendizaje, en este caso asumido como un proceso de transformación, está centrado en los conceptos de los estudiantes *vs.* los de la ciencia escolar que se quiere que aprendan.

Desde luego que los conceptos son parte sustancial del conocimiento científico. Los conceptos articulan y dan sentido a los observables, llevan a establecer relaciones con otros conceptos y construir con ellos esquemas y modelos que permiten hacer inferencias sobre comportamientos fenome-



nológicos esperados o explicar los sucesos naturales. Las teorías, elementos estructuradores que posibilitan la interpretación fenomenológica, requieren como elementos centrales de su construcción a los conceptos y los denominados conceptos fundamentales de cada disciplina científica han sido el resultado de un proceso largo y complejo de construcción del conocimiento científico a lo largo de la historia de la ciencia.

No es extraño entonces que sean el foco de atención del proceso educativo y el elemento central bajo el cual se articulan programas curriculares, libros de texto, notas de los profesores, experimentos escolares e incluso programas de difusión de la ciencia.

Sin embargo, una mirada sobre lo que los sujetos describen sobre los procesos naturales –sean científicos, profesores o alumnos– deja ver que no son sólo los conceptos o no son los conceptos en sí. Pongamos por ejemplo algunas ideas previas muy comunes entre los estudiantes de los niveles secundario y medio superior. “Al aumentar la temperatura, las moléculas se expanden”, “la presión es una fuerza”, “el vacío jala los objetos”, “un objeto lanzado hacia arriba, en el punto más alto su aceleración es cero”. Todas estas ideas, incluyendo la de la presión, no manifiestan un concepto, manifiestan situaciones que se describen usando conceptos. La experiencia educativa muestra que, aunque los alumnos puedan decir de manera “correcta” –como está en el libro– los conceptos, las ideas que expresan no se limitan a ellos, son como las descritas, en las que se incluye un entorno fenomenológico.

Incluso si atendemos a las descripciones de los textos, los profesores y las de los científicos, salvo en el caso de enunciados y definiciones de conceptos, todas las expresiones están en torno a situaciones que los articulan y les dan sentido. Cabe entonces preguntarse: ¿se debe poner el énfasis educativo en los conceptos o en las representaciones que se construyen con ellos? Es más, ¿son las representaciones consecuencia o elementos base para la construcción y significado de los conceptos?

Considerando nuevamente a la epistemología, los trabajos de Bachelard (1984, 1988), Sellars (1971) y el propio Kuhn (1962) nos indican que los cambios en la ciencia no están en el nivel de los conceptos, sino en el de las visiones, teorías, o usando otro término, las representaciones que se construyen sobre un entorno o ámbito fenomenológico. Así, el cambio de teoría en Kuhn nos dice que los procesos revolucionarios se dan cuando el paradigma dominante –que no es sólo una idea, sino su concreción en una estructura teórica– muestra su insuficiencia para explicar nuevas situaciones. Incluso el planteamiento de la inconmensurabilidad nos indica una nueva forma de

visión o representación no traducible entre una anterior y una posterior visión sobre la naturaleza. Aspecto que como se ha mostrado también en el ámbito educativo ocurre en los estudiantes (Flores *et al*, 2007). Sellars (1971), por su parte, nos señala que en las múltiples visiones de los sujetos lo que constituye la representación es una visión sobre un campo del conocimiento, no sólo sobre un fenómeno o un concepto. El propio Bachelard (1984), cuando hace referencia a los perfiles epistemológicos y describe el perfil del concepto de masa, lo hace con referencia a una representación de la misma en diversos contextos desde donde el sujeto le da sentido y operatividad, lo cual indica claramente que no es el concepto en sí lo que constituye el perfil, sino la representación del mismo en un entorno.

Regresando a las ideas previas de los alumnos podemos notar que están compuestas por diversos aspectos. Hay una imagen de un proceso que se debe a la experiencia previa, sea de manera fenomenológica o por medio de imágenes en los textos; hay relaciones entre conceptos, y entre conceptos y observables y, en algunos casos, algún modelo proporcionado por la escuela. como el modelo de moléculas para la idea que expresa que las moléculas aumentan de tamaño con la temperatura. En otros casos donde se analizan las construcciones de los alumnos se encuentran más componentes, como gráficas, ecuaciones, esquemas y modelos (Flores y Gallegos, 1998; Flores y Gallegos, 1999; Flores *et al*, 2007). Así, lo que los alumnos expresan es un conjunto de elementos que articulados les permiten representar la fenomenología que intentan explicar o describir. Esto, como puede suponerse, ocurre en todo momento y los conceptos, por lo tanto, requieren de esta representación en la que están inmersos para que tengan sentido.

Lo anterior implica entonces un proceso mucho más complejo que el cambio conceptual, entendido éste como se ha descrito, lograr que un estudiante abandone sus conceptos previos por otros más cercanos a los que plantea la ciencia escolar. Dentro de esta complejidad puede apreciarse que nuevamente será necesario incorporar al análisis tanto aspectos de la psicología cognitiva como de la epistemología de la ciencia.

## Construcción y transformación representacional: el enfoque psicológico y el epistemológico

La psicología, desde un marco evolucionista, presenta una perspectiva sobre la construcción de las representaciones que los sujetos construyen en diversos entornos, entre los que se incluye el científico (Carruthers, 2002; Sperber, 2000). Esta perspectiva describe los procesos de conocimiento desde sus orígenes en el género humano. Analiza, principalmente, la construcción de las representaciones y las transformaciones que han dado paso al desarrollo sociocultural de nuestra época, desde un enfoque que conjunta el desarrollo cognitivo individual y la influencia de la interacción con los constructos de los otros.

En el enfoque psicológico las representaciones anteceden a los conceptos, pero también los abarcan, pues ellos están inmersos en las representaciones en la medida en la que se constituyen en sistemas representacionales del mundo o, al menos, de cierta parte de la fenomenología a la que el sujeto tiene acceso (Pozo, 2001). Las representaciones que se construyen están determinadas o reguladas por las propias condiciones cognitivas innatas del sujeto que, como la vertiente evolucionista indica, son parte de la complejidad evolutiva sujeto-mente-cuerpo que se va convirtiendo en su legado por medio de la internalización de sus representaciones y que, por lo mismo, se usan en automático sin tener que ser evocadas ante cada situación por medio de la reflexión sobre ella con la plena conciencia del sujeto.

Las representaciones básicas o fundamentales son sistemas mentales con los que el sujeto interpreta su realidad y actúa sobre ella de manera no consciente. Este sistema tiene sus orígenes en la propia regulación del espacio y en las acciones que el sujeto lleva a cabo sobre el entorno y con su propio cuerpo y que se constituyen en esquemas de acción a lo largo de su desarrollo. Son lo que se denomina *representaciones implícitas* (Rodrigo, Rodríguez y Marrero, 1993; Pozo y Rodrigo, 2001) con las que el sujeto actúa pero que no es capaz de expresar o de representar de manera explícita, sea de forma simbólica o gráfica.

Las representaciones desde esta visión evolutiva dan cuenta también de una cierta interpretación de lo observable que asume una estructura de lo fenomenológico, pero esto no implica, como pudiera suponerse en principio, que se asuma la correspondencia con la realidad, como ocurre en otras aproximaciones de la psicología cognitiva (Thagard, 1992; Nersessian, 1989,

1992). Por el contrario, esa estructuración de lo fenomenológico es determinada por el sujeto, a través de sus posibilidades cognitivas intrínsecas, correlativas a sus propios movimientos y a los efectos que logra con ellos en su desplazamiento espacial y sobre otros objetos (desde luego que nos referimos a las construcciones básicas o primarias de los sujetos y no a las posteriores elaboraciones que se dan en el seno de las comunidades científicas que llevan a cabo un refinamiento sobre esa estructura de lo fenomenológico), y es gracias a esa estructura inferida que el sujeto es relativamente exitoso en su interacción cotidiana con su entorno (Carey y Spelke, 1994; Carey y Sarnecka, 2006; Pozo, 2003). Aspecto que le da a las ideas previas su funcionalidad dentro del entorno cotidiano y que, por consiguiente, son inadecuadas para comprender lo que la ciencia escolar demanda.

Si bien se pudiera estar de acuerdo en que las representaciones implícitas son representaciones físicas, en el sentido de dar cuenta de procesos físicos observables o mejor dicho interpretados por el sujeto de acuerdo con sus condiciones cognitivas originarias o, para usar el lenguaje de Pozo, por su “equipamiento cognitivo de serie”, no parece justificarse que esas representaciones implícitas estén articuladas de tal modo que constituyan teorías implícitas. En todo caso, habría que considerarlas como representaciones sólo parcialmente estructuradas, pero que difícilmente podrían constituir un cuerpo organizado que dé cuenta de una cierta fenomenología aun siendo ésta restringida a una clase de los fenómenos cotidianos.

Muestra de lo anterior es que los sujetos no construyen una representación única y coherente, sino que por el contrario, construyen múltiples representaciones para situaciones semejantes en las que el entorno o las condiciones iniciales son diferentes. Estas múltiples representaciones implican también los conjuntos más amplios como cosmovisiones (Sellars, 1971).

Las representaciones implícitas, si bien pueden dar cuenta de diversos comportamientos y pueden pensarse como la base para las ulteriores construcciones, no es sino cuando se hacen explícitas, lo que implica pasarlas al plano de objetos de conocimiento, que pueden analizarse a través de sus expresiones en términos simbólicos –en sentido restringido– ya que dan cuenta de lo que piensa el sujeto sobre cierto aspecto o proceso fenomenológico. Este paso, es desde luego, complejo y pasa por diversas etapas (Karmiloff-Smith, 1992) que tienen que ver tanto con la estructura conceptual del sujeto como con los entornos fenomenológicos y los elementos culturales en los que está inmerso.

Es precisamente el análisis de la explicitación el que permite conocer las construcciones básicas que podemos considerar constantes primitivas en la estructura de las representaciones del sujeto. Sin embargo, serán objeto de un proceso de conocimiento consciente e intencional por el sujeto hasta que se conviertan en un estado de conciencia o metacognitivo, lo que llevará, finalmente, a la representación como la constitución de conocimiento reconocido como tal por el individuo (Pozo, 2001).

Es en este proceso de explicitación donde se encuentra la coincidencia entre la representación como conocimiento en un sentido psicológico y la representación en sentido filosófico como elemento conceptual *preservador de estructuras* (Ibarra y Morman, 1997) que se detallará más adelante. La relación básica está determinada porque la explicitación de las representaciones implícitas, conlleva una preservación a manera de redescipción de las mismas, es decir, las representaciones explicitadas no son las representaciones implícitas, sino su interpretación por el propio sujeto. Sin embargo, esta interpretación no es azarosa, sino que guarda alguna relación estructural-funcional con las representaciones implícitas. De lo contrario, perdería su poder de acción y de explicaciones que los sujetos requieren para su funcionamiento cotidiano.

La representación explícita no podrá, sin embargo, completarse sin la posibilidad de expresarlas en un entorno socializado, cultural. De esta manera los procesos de la enculturación participan en la construcción de las representaciones explícitas. De hecho, la articulación de las representaciones para que formen conocimiento “constituido” requiere y, no es dissociable de, los procesos culturales estructurados entre los que la escuela tiene un papel muy importante como también la comunidad inmediata en la que vive el sujeto. En el caso del aprendizaje de las ciencias el proceso de enculturación de la escuela estará determinado por la percepción que del aprendizaje ha implantado la comunidad científica, que influye en las expectativas que marca en lo que la escuela debe lograr y en la ciencia escolar que debe enseñarse.

Como podrá notarse en las etapas de redescipción, el sujeto parte de sus representaciones implícitas, que no conoce, pero que usa de manera automática y que tiene que explicitar a partir de sus acciones. Además, esa redescipción no sólo depende ya de su representación implícita, sino que depende, además, del contexto y de un dominio específico de conocimiento.

Para que el sujeto analice sus representaciones implícitas debe llegarse a la etapa que Donald (citado en Pozo, 2003) marca como teórica o meta-representacional. En ella, el sujeto utiliza las representaciones explícitas y las organiza en cuerpos conceptuales donde las relaciona, las estructura y forma

esquemas, modelos y teorías, propiamente dichas (en las que incluirán las teorías científicas).

Las representaciones no son entidades que se construyan de una sola vez y permanezcan sin cambios. Tienen un origen y un desarrollo. Su origen desde el punto de vista de la psicología evolutiva viene dado por los aspectos cognitivos iniciales (equipamiento cognitivo de serie), que permiten la ubicación y funcionamiento de los sujetos en la naturaleza y tienen orígenes muy antiguos en la especie del *homo sapiens* (Carruthers, 2002). En cuanto a su desarrollo, las representaciones son entidades cambiantes que dependen de las situaciones específicas y van transformándose, en ciertos casos de manera radical en los sujetos, dependiendo de los procesos de explicitación y de socialización de las mismas, es decir, del entorno sociocultural en el que el sujeto vive.

Desde la epistemológica (Ibarra y Morman, 1997), la representación es, por un lado, una construcción o entidad conceptual y figurativa que articula una descripción que preserva una estructura que el sujeto intuye o infiere que tiene el proceso que analiza.<sup>2</sup> Pero esta inferencia de una estructura preservadora está nuevamente anclada en las posibilidades representacionales del sujeto dadas por los elementos teóricos e interpretativos de que dispone, por sus representaciones previas, mismas que se han organizado dentro del entorno de explicitación compartida e interpretada por los otros. Así, en las teorías científicas la estructura que suponen subyace en los procesos naturales es un acuerdo determinado por la comunidad científica de cada época. También habrá que considerar las representaciones implícitas que constituyen la base para las posteriores construcciones representacionales y que, como se ha apuntado, están ancladas en los elementos cognitivos iniciales de los sujetos.

Estas ideas sobre la representación a partir de elementos iniciales se encuentran ya en Kant (1961; 1963; 1982). Al igual que el caso de los empiristas ingleses, Kant reconoce que el conocimiento debe ser analizado desde la perspectiva de los procesos humanos frente a la experiencia. Como Hume, Kant da cuenta de que los sujetos perciben la experiencia, pero lo que conciben de ella no es la sensación misma, y a diferencia de los empiristas, Kant piensa que la representación es el resultado de una construcción, sujeta a

---

<sup>2</sup> La representación científica se basa en todo caso en un lenguaje observacional que es a su vez una interpretación mediata de las experiencias comunes y de la que finalmente se dispone para una construcción de conceptualizaciones tanto en el plano general o cotidiano como en el teórico o científico (adaptado de I y M, p. 73).

ciertas condiciones de la razón que se superponen para interpretar lo observable, por medio de un trabajo abstractivo.

Kant se encuentra influenciado por la mecánica de Newton e intenta dar cuenta del proceso de construcción racional de la misma como un proceso que si bien parte de la experiencia, no es la descripción de la experiencia misma, sino que introduce una serie de aproximaciones sobre las nociones que las van transformando en construcciones abstractas. Kant también introduce los procesos inherentes al humano dentro de su forma de comprender o interpretar lo fenoménico, así, para él los sujetos tienen una “intuición pura” es decir, una cuestión dada por sus mecanismos de razón que le permiten dar sentido a lo observable, sobre todo en lo referente al espacio y el tiempo: “... el espacio es nada objetivo y real; no es ni sustancia ni accidente, ni relación; es subjetivo e ideal y procede de la naturaleza del espíritu por una ley estable, como esquema de coordinación de todos los sentidos” (De la forma y los principios, w II, 403, en Copleston, 1997, vol. 6, p. 196).

Lo anterior no debe confundirse con conceptos innatos, en el sentido de prefigurados en la mente de los sujetos, sino como intuiciones que aparecen en éstos, en función de su interacción con los fenómenos, son producto de los procesos inherentes al sujeto como entidad cognoscente, o en términos ya descritos, son representaciones implícitas.

Es importante resaltar que conocimiento *a priori* -en la argumentación de Kant- no significa previo a la experiencia, sino que no es derivado de ella, si bien está relacionado con ella. Es decir, la experiencia se interpreta y se analiza con el conocimiento *a priori* y éste tiene sentido sólo con la experiencia, pero no se puede afirmar, como en el caso de los empiristas, que es un derivado inteligible de la experiencia misma.

Las ideas de Kant en torno a la construcción del conocimiento se acercan a las visiones más contemporáneas en cuanto a que es el sujeto el que se representa la fenomenología, en términos de sus procesos de conocimiento. Así, tanto desde la perspectiva de Piaget (1979) como las más recientes en torno a las teorías implícitas comparten la idea fundamental de que es el sujeto el que aporta los elementos para interpretar (y representar) las experiencias. Desde luego que en las visiones modernas no se establece el conocimiento *a priori*, en los términos de Kant, sino como estructuras evolutivas o genéticas en el caso de Piaget y como constricciones de la interacción del sujeto con su entorno, como en el caso de las teorías implícitas.

Regresando a una esquema contemporáneo, como indican Ibarra y Morman: “la representación debe ser empíricamente significativa” (Ibarra y



Morman, 1997, p. 148). Esto no significa que se tenga una prueba empírica, o que se deba entender que debe cumplirse la condición de verdad por correspondencia del empirismo lógico. Lo que está indicando es que la representación debe tener significado para el sujeto en términos de su experiencia. Así, lo que construye como representación estará referido a procesos que él conozca o potencialmente conozca, que son posibles desde sus representaciones cotidianas. En términos de Hammer (2004), son sus recursos no sólo de facto, sino además posibles.

Poniendo lo anterior en otro lenguaje, una representación implica la determinación de un suceso posible dentro de un espacio de sucesos y de un proceso posible dentro de un conjunto de procesos posibles. Esta selección estará dada por los criterios y constricciones de los elementos de interpretación con los que el sujeto cuente, estos elementos proceden, como se ha descrito, de sus posibilidades cognitivas iniciales, pero también de las representaciones que el sujeto ha ido construyendo, las cuales pueden ser implícitas o explícitas y que conforman un conjunto de elementos disponibles. Es en este punto donde puede notarse la convergencia entre una visión psicológica que apunta a esas representaciones implícitas y explícitas y la correspondiente visión epistemológica que las implica.

En síntesis, la representación no es una imagen especular de lo representado, por el contrario, la representación tiene o elabora una estructura que le permite inferir a partir de ella propiedades o cualidades posibles de lo representado. En esa estructura y sus posibilidades de hacer predicciones y generar explicaciones radica la importancia de las representaciones, puesto que se manifiestan como elementos útiles para dar cuenta de procesos que podrán o no ser correspondientes con los observables, pero que satisfacen la coherencia mínima requerida por los sujetos para interpretar y funcionar en su entorno. Esta función de la representación implica que entre mayores sean las posibilidades de las representaciones para dar cuenta de fenomenologías distintas, mejores estructuras y construcciones teóricas podrán elaborar los sujetos dentro de los campos o dominios del conocimiento, lo que determina un nuevo enfoque o tarea para la educación.

Como puede apreciarse de los elementos aportados, la idea de representación presenta, en términos formales, ventajas para determinar el conocimiento de los sujetos y diluye los problemas presentados por otras formulaciones centradas en los conceptos.



## Procesos educativos para la transformación representacional

En el aprendizaje de las ciencias intervienen diversos factores de distinta índole. Tenemos los aspectos epistemológicos, los motivacionales, los cognitivos, los conceptuales y los que tienen que ver con la intencionalidad educativa (valores, actitud crítica y comprometida con el entorno). Todos estos factores entran en juego de manera compleja en los procesos educativos, y otorgar jerarquías que intenten definir lo que es más importante no contribuye a clarificar el problema. Sin embargo, es necesario diferenciar los procesos y analizarlos de manera específica para poder llevar a cabo acciones educativas que no queden en la superficialidad de lo emotivo y que, por otro lado, atendiendo a mejores niveles de comprensión conceptual y fenomenológica de los alumnos, les acerquen a los fines de uso del conocimiento, de fortalecimiento de sus juicios, sus análisis y sus procesos de creatividad y desarrollo cognitivo.

Es en el sentido de lo anotado en el párrafo precedente que el aspecto de construcción representacional juega un papel central en el aprendizaje de las ciencias. En este punto habrá que diferenciar entre la construcción de conocimiento que se da en el entorno educativo del que ocurre en la investigación científica. En acuerdo con diversos autores (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999; Ivarsson, Schoultz y Säljö, 2003), debe hacerse una clara distinción entre lo que se ha denominado ciencia escolar de la ciencia en sí misma. Esta diferenciación abarca todas sus dimensiones: ontológica, epistemológica, axiológica y funcional.

Considerando el ámbito escolar, la construcción y transformación de las representaciones de los alumnos puede favorecerse con un proceso educativo que, entre otros aspectos, contemple los siguientes:

- El alumno se enfrenta en la escuela ante la necesidad de dar sentido a diversos fenómenos y formas de explicarlos que se le presentan como objetos de aprendizaje. Así, los fenómenos que se abordan en la escuela, aunque estén relacionados con su experiencia cotidiana, están orientados desde el punto de vista escolar porque se espera que sus descripciones y explicaciones se construyan con los conceptos que se han puesto en juego a lo largo de su trayectoria escolar. Sin embargo, esto ocurre sólo en parte, puesto que, como han mostrado las ideas previas, si bien usan el lenguaje

esperado, sus descripciones y explicaciones corresponden a sus representaciones y no a la de la ciencia escolar que se quiere que dominen.

Estas representaciones son importantes porque dan cuenta de los elementos conceptuales que previamente han construido los alumnos y que les permiten elaborar una interpretación de los fenómenos que se pide comprendan. Dan indicios de la forma en la que articulan sus ideas y de las formas o mecanismos que construyen para darles sentido y coherencia.

Ante los elementos que se presentan en la situación de enseñanza, el estudiante iniciará un largo proceso de transformación representacional, que requerirá de una nueva articulación de conceptos, de relaciones entre ellos y de sus implicaciones para con los referentes fenomenológicos y de contenidos escolares. No puede esperarse, por lo tanto, que esta articulación se logre con acciones educativas aisladas que se enfocan en un momento dado en un cierto concepto o fenómeno, por el contrario, requerirá de trabajar con fenómenos relacionados, presentados en contextos distintos y que, en su conjunto apoyen con la variación de los fenómenos y la complementariedad de explicaciones y situaciones relacionadas, la transformación esperada.

Bajo estos supuestos el profesor deberá tomar en cuenta que esa transformación se da en procesos alrededor de una temática específica, es decir, sobre el desarrollo de nociones que integran y relacionan diversas entidades conceptuales dentro de un campo de conocimiento. Así, la construcción representacional requiere enfocarse en temas y secuencias, y no en conceptos aislados, como ha sido planteado tradicionalmente en la enseñanza de las ciencias.

Si bien los alumnos requieren, dentro de este proceso de transformación representacional (y por tanto conceptual), de orientación sobre descripciones y explicaciones que sean pertinentes y coherentes dentro de lo que se espera de su aprendizaje, es importante que tengan diversas oportunidades para explorar sus ideas. Esto implica que deberán construir alternativas a sus explicaciones primeras, plantear varias hipótesis y buscar los elementos para discriminar entre ellas, como también establecer vínculos con otras representaciones que consideren relacionadas y explorarlas.

En la construcción y transformación de las representaciones de los estudiantes, uno de los aspectos más importantes es sin duda que sus procesos de explicitación se lleven a cabo de manera coherente y sistemática y que, además, sean por medios diversos —escrita, oral, gráfica, simbólica— para que puedan convertirse para ellos mismos en objetos de análisis. Análisis que,

de no darse, las transformaciones esperadas difícilmente podrán alcanzarse. Cabe enfatizar que este análisis si bien se da en el sujeto, no se completa sin la participación de los otros, tanto compañeros como profesores, como se ha hecho notar tanto por la parte psicológica como por la epistemológica en las secciones precedentes.

Para que los procesos cognitivos descritos previamente puedan llevarse a cabo es necesario que el alumno encuentre un espacio escolar apropiado, que sus procesos de explicitación, análisis y reflexión crítica se vean fortalecidos por las acciones de los docentes, que encuentren en las actividades escolares, incluido de manera importante el laboratorio escolar, la oportunidad de describir y elaborar explicaciones a partir de sus representaciones y puedan reflexionar, dentro de un proceso metacognitivo apoyado por los profesores, sobre la fortaleza, coherencia y amplitud de sus ideas y de cómo éstas van cambiando ante las nuevas situaciones que la ciencia escolar les presenta.

## El papel del docente en el marco de las transformaciones representacionales

El profesor, como es de esperar, deberá estar atento al aprendizaje, en los términos descritos de transformación representacional, en el transcurso de su enseñanza. Esto implica que debe favorecer aspectos como los siguientes:

- Fomentar que cada alumno exprese sus ideas. Es muy importante para el proceso de explicitación que los alumnos puedan describir situaciones, aventurar explicaciones y predicciones, así como argumentar cuando consideran que tienen una alternativa a lo que plantea el profesor u otros alumnos.
- Los procesos de argumentación son especialmente relevantes para que los alumnos delimiten y vean el alcance de las representaciones que explicitan. Ello implica que en todas las ocasiones posibles deberá fomentarse el debate y permitir la exploración de diversas propuestas.
- En el laboratorio escolar y en todo tipo de actividades como la resolución de problemas, el profesor debe generar condiciones para que los estudiantes, más allá de conocer algunos procesos y técnicas de toma de datos y de sus formas de análisis (que consideraremos elementos necesarios), se enfrenten a situaciones que les demanden la solución de problemas planteados por el profesor o por ellos mismos, pero de forma no mecánica, es decir, en los

que estén involucrados los procesos ya descritos de construcción y transformación de nociones y concepciones. Así, la creatividad y la coherencia necesarias para sus desarrollos prácticos o experimentales deben ser una constante que el profesor tendrá que vigilar, apoyar y fomentar.

- Las actividades semiabiertas y abiertas deberán predominar sobre las demostraciones y actividades dirigidas y ejercicios para que los alumnos exploren todas las posibilidades de sus representaciones a fin de explicar situaciones fenomenológicas relacionadas con otras temáticas que les lleven a establecer demarcaciones de lo que han construido y puedan darse cuenta de sus limitaciones, aspecto sin el cual la transformación representacional (como la conceptual) no se dará porque el estudiante no encontrará lo insatisfactorio del actual nivel de comprensión e interpretación que logra con sus representaciones.

## Representación y aprendizaje: ¿un asunto inconcluso?

Como se ha descrito, el aprendizaje de las ciencias se ha descentrado de los conceptos hacia las representaciones. Esto desde luego tiene diversas e importantes implicaciones. Unas atienden al ámbito educativo, pero otras al psicológico y epistemológico. Por lo que toca a educación, tiene implicaciones en las formas de enseñanza, en los objetivos de aprendizaje, en las situaciones didácticas que al descentrarse de los conceptos implican cambios muy importantes en su organización, ejecución y evaluación. Pero también, como se ha apuntado, tiene implicaciones en los profesores, los cambios requeridos inducen a pensar en nuevos procesos de formación docente. En el marco de la planeación educativa, conlleva desarrollar programas curriculares que estén atentos y favorezcan los procesos cognitivos que lleven a los alumnos a la construcción y transformación de sus representaciones más que a logros específicos de conocimientos o habilidades determinadas, sin que esto implique ello no es necesario. Por el contrario, el desarrollo de esas concepciones y habilidades son parte intrínseca del proceso de construcción y transformación representacional, pues atienden a los procesos cognitivos y metacognitivos de los estudiantes. Como puede notarse, el enfoque representacional abre un amplio panorama de cambio en los procesos educativos.

Pero también lo es para los cognitivos. En especial para el desarrollo de las teorías del aprendizaje. Efectivamente, de la misma forma en que las teorías de cambio conceptual muestran gran diversidad y falta de elementos para

constituirse en una teoría de aprendizaje más amplia y completa, la construcción y transformación representacional en el ámbito del aprendizaje muestra también que es incipiente y que, si bien están ligadas a procesos cognitivos y epistemológicos, falta encontrar elementos que les den la coherencia necesaria para constituir teorías del aprendizaje más estructuradas y fructíferas.

Desde luego que lo desarrollado en los últimos años es importante y ha contribuido de manera notable a esclarecer el paso de las primeras nociones hacia esquemas de representación más estructurados y funcionales, pero ello no es suficiente para plantear una teoría de aprendizaje que pueda, de manera directa, tener consecuencias operativas en la enseñanza. Lo que se puede concluir, como ha sido expresado, se encuentra aún en los aspectos generales derivados de una visión constructivista del aprendizaje donde el sujeto tiene el papel central, más o menos matizado por la colectividad de sujetos según la posición radical o socioconstructivista que se adopte.

La investigación deberá indicar nuevos elementos reguladores de los procesos de construcción representacional que den indicios de cómo se construyen, explicitan y transforman dichas representaciones para estar entonces en la posibilidad de hacer inferencias más precisas en torno a los procesos de aprendizaje.

Adicionalmente a lo expresado, cabe la consideración de que las representaciones no son unitarias en los sujetos, sino que coexisten con otras que se expresan, según el contexto en el que se demandan. Esto hace del aprendizaje un asunto aún más complejo, como se ha mostrado en otros trabajos (Flores *et al*, 2007; Gallegos, García y Calderón, 2007), que se suma al de la transformación representacional.

Por su parte, el análisis cognitivo deberá enfocarse en determinar los elementos que llevan a la construcción de las representaciones, analizando los elementos unitarios como primitivos fenomenológicos y mecanismos con los que se va articulando y dando coherencia a las representaciones e interpretaciones que los sujetos van elaborando en su desarrollo conceptual.

Por lo pronto habrá que considerar aspectos generales para la educación como los que se han descrito y que comparten ideas y supuestos en la enseñanza de las ciencias que, en la mayoría de las alternativas y enfoques propuestos en los últimos años, adoptan los investigadores en este campo.

## Referencias bibliográficas

- AMSTERDMASKI S. (1975): *Between experience and metaphysics. Philosophical problems of the evolution of science*, Dordrecht, Reidel Publishing C.
- AUSUBEL, D Novak J. y Hanesian H. (1983): *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*, México, Trillas.
- BACHELARD G. (1984): *La filosofía del no. Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires, A morrortu.
- BACHELARD G. (1988): *La formación del espíritu científico*. (5a. edición.) México, Siglo XXI.
- BROWN H. I. (1977): *La nueva filosofía de la ciencia*. Madrid, Tecnos.
- BRUNER Jerome (1961): *The act of discovery*. Harvard Educational Review 31 (1), 21-32.
- CAREY S. y Spelke E. (1994): "Domain specific knowledge and conceptual change", En: L. Hirschfeld y S. Gelman (eds.), *Mapping the mind*. Cambridge, Cambridge University Press, 169-200.
- CAREY S. y Sarnecka B.W. (2006): "The Development of Human Conceptual Representations". En: M. Johnson y Y. Munakata (eds.), *Attention and Performance: Vol. XXI. Processes of Change in Brain and Cognitive Development*. Oxford, Oxford University Press, 473-496.
- CARRIER M. (2002): "Shifting symbolic structures and changing theories: on the non-translatability and empirical comparability of incommensurable theories", En: Ferrari y Stamtescu (eds.), *Symbol and physical knowledge. On the conceptual structure of physics*. Berlín, Springer, 126-148.
- CARRUTHERS P. (2002): "The roots of scientific reasoning: infancy, modularity and the art of tracking." En: P. Carruthers, S. Stich and M. Siegal (eds.), *The cognitive basis of science*. Cambridge, Cambridge University Press, 73-95.
- COPLESTON F. (1979): *Historia de la Filosofía: de Wolf a Kant*. Vol. 6, Barcelona, Ariel.
- DRIVER R., y Easley J. (1978): "Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students", *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- FEUERSTEIN R., Rand Y., Hoffman M. y Miller M. (1980): *Instrumental enrichment: an intervention program for cognitive modifiability*. Baltimore, University Park Press.
- FLORES F. (2004): "El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas." *Educación Química*. 15, 256-269.

- FLORES F. y Gallegos L. (1998): "Partial Possible Models: an approach to interpret the students' physical representation," *Science Education*. 82, 15-29.
- FLORES Camacho F. y Gallegos Cázares, L. (1999): "Construcción de conceptos físicos en estudiantes." La influencia del contexto." *Perfiles Educativos XXI*. 85-86, 90-103.
- FLORES-CAMACHO F., Gallegos-Cázares L., Garritz A. & García-Franco A. (2007): "Incommensurability and Multiple Models: Representations of the Structure of Matter in Undergraduate Chemistry Students." *Science & Education*. 16, 775-800.
- GALLEGOS Leticia, García Alejandra y Calderón, Elena (2007): "Estrategias de enseñanza y cambio conceptual", En: J. I. Pozo y F. Flores (eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid, Antonio Machado Libros, 239-252.
- IBARRA A. y Morman T. (1997): *Representaciones en la ciencia. De la invariancia estructural a la significatividad pragmática*. Barcelona, Ediciones del Bronce.
- IVARSSON J., Schoultz J. y Säljö R. (2003): "Map reading versus mind reading: revisiting children's understanding of the shape of the earth," En M. Limón, y L. Mason, (eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 77-100.
- IZQUIERDO M. Sanmartí N. y Espinet M. (1999): Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (1), 45-59.
- KARMILOFF-SMITH A. (1992): *Beyond modularity*. Cambridge, Cambridge University Press.
- KANT I. (1961): *Prolegómenos*. Madrid, Aguilar, 3a. edición, traducción J: Besteiro.
- KANT I. (1963): *Por qué no es inútil una nueva crítica de la razón pura*, Madrid, Aguilar, 3a. edición, traducción: A. Castaño.
- KANT I. (1982): *Crítica de la razón pura*, México, Porrúa, 6a. edición, traducción: M. García y M. Fernández.
- KUHN (1962): *La estructura de las Revoluciones Científicas*. México, Fondo de Cultura Económica.
- MARKMAN A. B. (1999): *Knowledge Representation*. Mahwah, N. J., Lawrence Erlbaum.
- MARTON F. (1981): *Phenomenography-Describing conceptions of the world around us*. *Instructional Science*, 10, 177-200.



- MARTON. F. y Booth. S. (1997): *Learning and awareness*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- NRC (1996): *National Science Education Standards*. Washington, DC, National Academy Press.
- NERSESIAN N. (1989): *Conceptual change in science and in science education*, Synthese 80, 163-183.
- NERSESIAN N. (1992): "How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science." En: R. Giere (Ed.). *Cognitive Models of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 3-44.
- PIAGET J. (1979): *Introducción a la epistemología genética. El pensamiento Físico*, Buenos Aires, Paidós.
- POZO J. I. (2001): *Humana Mente: El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid, Morata.
- POZO J. I. (2003): *Adquisición de conocimiento*. Madrid, Morata.
- POZO, J. I. y Rodrigo M. J. (2001): "Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual," *Infancia y Aprendizaje*. 24(4), 407-423.
- RODRIGO M. J., Rodríguez A. y Marrero J. (1993): *Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano*. Madrid, Visor.
- SEP (1993): *Planes y Programas de estudio*. México, Secretaría de Educación Pública.
- SELLARS W. (1971): *Ciencia, percepción y realidad*, Madrid, Tecnos.
- SPERBER D. (2000): "Metarepresentations in an Evolutionary Perspective," En: D. Sperber (ed.), *Metarepresentations. A Multidisciplinary Perspective*. New York: Oxford, University Press, 117-137.
- THAGARD P. (1992): *Conceptual Revolutions*. Princeton University Press.
- VIENNOT L. (1985): *Analyzing students' reasoning: Tendencies in interpretation*. American Journal of Physics, 53, 432-436.
- WANDERSEE J., Mintzes J. y Novak J. (1994): "Research on alternative conceptions in science," En: D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York, Macmillan, 177-210.



## Mesografía

- DUIT R. (2007): Bibliography-Students' and Teachers' Conceptions and Science Education, Disponible en: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html> línea (09 de abril de 2007).
- FLORES F., Gallegos L., Sosa P., Bello S., *et al*, (2002): *Base de datos: ideas previas*. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM. Disponible en línea: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/> (9 de agosto de 2007).
- HAMMER D. (2004) "The variability of student reasoning. Lecture 3. Manifold Cognitive Resources." En: E. Redish y M. Vicentini (eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna, Sociedad Italiana de Física. Versión preliminar disponible en: <http://www2.physics.umd.edu/%7Edavidham/varenna3.pdf> (9 de agosto de 2007).
- NATIONAL CURRICULUM, Disponible en: [www.qca.org.uk/curriculum](http://www.qca.org.uk/curriculum) (4 de mayo de 2008).



# La enseñanza de las ciencias a partir de la resolución de problemas

José Antonio Chamizo<sup>(1)</sup>, César Robles<sup>(2)\*</sup>

<sup>(1)</sup> FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

<sup>(2)</sup> CCH, UNAM

## Resumen

La enseñanza de las ciencias puede abordarse en prácticamente todos los niveles educativos a través de la resolución de problemas, para lo cual es particularmente útil la propuesta del filósofo inglés S. Toulmin. Aquí se presenta dicha propuesta y se reconocen algunas de sus ventajas sobre la enseñanza tradicional.

---

\* Doctor José Antonio Chamizo Guerrero. Profesor Titular “C” en la Facultad de Química de la UNAM. Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Profesor de la Facultad de Química desde 1977, ha impartido más de 90 cursos desde la secundaria hasta el doctorado y publicado más de 90 artículos arbitrados sobre Química, Educación, Historia y divulgación de la ciencia. Es autor o coautor de más de 30 capítulos en libros y de 40 libros de texto y divulgación. Ha recibido diferentes premios y reconocimientos, entre los que destacan el Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río” otorgado por la Sociedad Química de México en 1994, el Premio Universidad Nacional en el área de docencia en Ciencia Naturales en 1996 y el THIRD WORLD NETWORK OF SCIENTIFIC ORGANIZATIONS en 1997. Sus líneas de investigación se centran en las condiciones curriculares para mejorar el aprendizaje.

\* Maestro en Docencia César Robles Haro. Docente del CCH de la UNAM desde 1998, ha participado en la preparación de alumnos para concursos como la Olimpiada de Química en su versión metropolitana (D.F. y municipios cercanos). Ha colaborado en diferentes cursos de formación de profesores tanto a nivel básico como de bachillerato. Sus principales líneas de investigación son el desarrollo de propuestas de aprendizaje de las ciencias experimentales, en particular los enfoques de aprendizaje basado en problemas, en proyectos y el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje; así como la investigación sobre conocimientos y actitudes hacia la ciencia en docentes y alumnos en los niveles bachillerato y profesional. Actualmente es Profesor de Carrera Asociado “B” en el CCH (Plantel Azcapotzalco) de la UNAM.

*Si nos limitamos a mostrar los descubrimientos y productos de la ciencia –no importa lo útiles y hasta inspiradores que puedan ser– sin comunicar su método crítico, ¿cómo puede distinguir el ciudadano medio entre ciencia y pseudociencia? Ambos se presentan como afirmación sin fundamento*

C. Sagan.

## Introducción

**HOY EN DÍA DIFÍCILMENTE PODRÍAMOS CONCEBIR** a las ciencias sin considerar su historia, llena de luchas, denuncias y vueltas a empezar que han cambiado al mundo. De errores que generaron verdades, de evidencias que dejaron de serlo –o que se reinterpretan y dicen otra cosa diferente de lo que se había pensado–, de esperanzas y frustraciones. Ha sido una larga lucha contra el sentido común y contra el principio de autoridad civil y religiosa a lo largo del tiempo. “Poderosas en su capacidad de transformación y explicación del mundo, las ciencias también son frágiles en la medida que lo son las obras de las sociedades humanas” (Chamizo, 2000).

Así, a pesar de lo que sostiene el empirismo lógico, la corriente de pensamiento hegemónica sobre el quehacer científico, resulta muy difícil, si no es que imposible, discutir sobre las ciencias en las aulas sin considerar su historia. Por ello, como resultado de una profunda y relativamente reciente reflexión filosófico-epistemológica sobre las mismas ciencias, en los últimos años se ha reconocido la importancia de incluir aspectos de su historia y filosofía en su enseñanza (Duschl, 1994; Matthews, 1994; Alambique, 1996; Erduran, 2002; Izquierdo, 2003) donde resulta central la idea que de la ciencia tienen tanto los alumnos como los profesores (McComas, 2000).

Prácticamente a todos los niveles educativos la enseñanza de las ciencias se ha reducido a transmitir “el conocimiento” sin permitir a los estudiantes reconocer cuáles son las actividades propiamente “científicas”, pues muchas veces los propios docentes las ignoran. Recientemente ha quedado claro que las visiones deformadas y parciales de la ciencia (individuos aislados con ideas extraordinarias surgidas de la nada) transmitidas por la enseñanza son muchas, variadas y relacionadas entre sí (Tabla 1). También que si se quiere cambiar esto es fundamental modificar las ideas que tengan los profesores de las ciencias.

Tabla 1. Visiones deformadas de las ciencias transmitidas por la enseñanza (Fernández *et al*, 2002).

• Visión empiroinductivista, ateórica
• Visión rígida (algorítmica, exacta, infalible)
• Visión aproblemática y ahistórica (ergo dogmática y cerrada)
• Visión exclusivamente analítica
• Visión acumulativa de crecimiento lineal
• Visión individualista y elitista
• Visión socialmente descontextualizada

A pesar de las manifiestas diferencias entre las actividades científicas y la ciencia que se enseña en la escuela (Tabla 1) se puede reconocer que muchas de estas ideas se encuentran centradas en el positivismo lógico, en las que el proceso del quehacer científico es ignorado (Allchin, 2000). La aproximación histórica al conocimiento científico tiene, en Kuhn, Lakatos y Toulmin a sus principales protagonistas. Siendo los dos primeros ampliamente conocidos, aquí nos remitiremos a las aportaciones del tercero (Chamizo, 2007) y su propuesta del crecimiento del conocimiento a través de la resolución de problemas.

## Las ciencias como empresas racionales que resuelven problemas

El eje central del pensamiento del filósofo e historiador inglés S. Toulmin es el “concepto” caracterizado a través de una interacción histórico-social específica, es decir, en un contexto determinado (1977, p. 49):

Cada uno de nosotros es dueño de sus pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes... y de lo que creemos somos responsables como individuos; pero el lenguaje en que se articulan nuestras creencias son propiedad pública.

Las ciencias aparecen así como una de las diferentes disciplinas intelectuales que las sociedades humanas han construido a lo largo de su propia historia. La unidad de las disciplinas intelectuales en las que siempre se consideran no sólo los conceptos, sino también las personas que los conciben,

se debe a las ambiciones intelectuales del grupo que trabaja en ellas y les da forma. En pocas palabras, la unidad de una disciplina intelectual refleja la continuidad impuesta a los problemas que aborda. Este punto de vista es compartido por otros filósofos, por ejemplo L. Laudan indica (1986): “El conocimiento científico avanza gracias a la resolución de problemas”. A lo que aquí se podría decir en la línea de una enseñanza racional y razonable (Chamizo, 2007): el “conocimiento científico-escolar” (Izquierdo, 1999) avanza gracias a la resolución de problemas.

Así, basándose en la historia de las ciencias, Toulmin manifiesta de manera muy clara que las razones prácticas –podríamos adelantar que el entorno– influyen en la evolución de los conceptos científicos.

Los conceptos científicos desarrollados a lo largo de la historia integran una complejidad tal que es necesario distinguir en ellos tres aspectos diferentes, características que permitirán utilizarlos particularmente en el espacio educativo de mejor manera:

1. El lenguaje.
2. Las técnicas de representación.
3. Los procedimientos de aplicación de la ciencia.

Sobre estos tres aspectos hay que hacer algunas precisiones. Respecto al primero Toulmin, influido por Wittgenstein, reconoce que cada teoría tiene su lenguaje propio y cuando se adopta un nuevo lenguaje se adopta también una nueva teoría, más allá de que algunas palabras en ambas sean las mismas. Las teorías son una visión del mundo (Echeverría, 2003, p. 76) *buscar una forma de lenguaje común a todas ellas, por muy formalizada que esté, es una tarea vana, porque supondría privarlas de su especificidad, de lo que caracteriza a cada una como concepción del mundo, o al menos del ámbito que es objeto de su estudio*. Por ello, el significado de los términos científicos, contrariamente a lo que indica el positivismo absolutista con su creencia en una base empírica común a todas las teorías, depende de cada teoría.

Cuando Toulmin se refiere a las técnicas de representación opta por los modelos como el lazo entre el mundo y las leyes de la ciencia en una postura que algunos podrían identificar como instrumentalista. Otros filósofos de las ciencias después de él, particularmente R. Giere (1990) continúan trabajando en la misma línea de pensamiento. Por otro lado, la importancia de los modelos en la enseñanza de la ciencia es un asunto aceptado (Gilbert, 2000; Chamizo, 2010).

Estas dos características de los conceptos se refieren a aquellos aspectos simbólicos de la explicación científica –esto es, la actividad científica que llamamos explicar–, una de las formas en las que hacemos públicos nuestros pensamientos, una de las formas en las que una generación le transmite a otra el contenido de una ciencia, una “enculturación”.

Aquí Toulmin considera que uno de los objetivos principales de las ciencias es: explicar el mundo. Así indica (1977, p. 167):

Un enfoque de la explicación basado en los procedimientos facilita la comprensión del proceso histórico por el cual los conceptos científicos se transmiten de una generación a la siguiente... el contenido de una ciencia se transmite de una generación a la siguiente por un proceso de enculturación. Este proceso supone un aprendizaje, por el cual ciertas habilidades explicativas se transfieren, con o sin modificación, de una generación más vieja a otra más joven. En este aprendizaje, el núcleo de la transmisión –el elemento primario que debe ser aprendido, probado, aplicado, criticado y cambiado– es el repertorio de técnicas, procedimientos, y habilidades intelectuales y métodos de representación que se emplean para dar explicaciones de sucesos y fenómenos dentro del ámbito de la ciencia involucrada. Para mostrar públicamente –y probar– su comprensión de los poderes explicativos de su ciencia, el recién llegado debe, ante todo, aprender cómo y cuándo aplicar esas técnicas y procedimientos de modo de explicar.

Así, son los procedimientos y técnicas de una disciplina científica los que forman sus aspectos comunales –y aprendibles– y, por ende, los que definen el conjunto representativo de conceptos que constituyen la transmisión colectiva de la ciencia. Por ello, los conceptos sólo tienen un uso genuinamente explicativo cuando se aplican en el mundo, lo cual es relevante en la educación. Considerar como innovador que la ciencia siempre se desarrolla en contexto (por ejemplo, la corriente Ciencia y Tecnología en Sociedad [CTS]) sólo tiene sentido desde una postura filosófica (positivista-lógica) en la que las ciencias se consideran separadas de la sociedad que las construye y en la que se manifiestan culturalmente (Chamizo, 2005). Así, el tercer aspecto (los procedimientos de aplicación de la ciencia) comprende el reconocimiento de situaciones a las que son apropiadas estas actividades simbólicas: el entorno. En el aprendizaje de una ciencia el aprendiz debe aprender también dónde aplicar los aspectos simbólicos de los conceptos, a construir (y reconocer y aplicar en situaciones pertinentes) aquellos modelos que encajen mejor con el mundo (1977, p. 194):

La reorganización conceptual de nuestra comprensión científica nos exige prestar atención a los hechos empíricos, sin duda; pero no meramente con la intención de informar sobre hechos o siquiera generalizar acerca de ellos. Nuestra meta es, en cambio, construir una representación mejor, nomenclaturas mejores y procedimientos explicativos mejores para dar cuenta de los aspectos importantes de la naturaleza y discernir con mayor precisión en qué condiciones y con qué grado de exactitud la representación resultante puede aplicarse a la explicación de la naturaleza del mundo tal como lo encontramos.

Finalmente, Toulmin caracteriza un problema a través de la relación:

Problemas = Ideales Explicativos – Capacidades Corrientes

Así, llega a proponer cinco tipos de problemas conceptuales presentes en las disciplinas científicas:

1. Extensión de nuestros procedimientos actuales a nuevos fenómenos.
2. Mejoramiento de las técnicas para abordar fenómenos conocidos.
3. Integración intradisciplinaria de las técnicas en una sola ciencia.
4. Integración interdisciplinaria de técnicas de ciencias vecinas.
5. Resolución de conflictos entre ideas científicas y extracientíficas

La propuesta de problema de Toulmin es consistente no sólo con la actividad científica profesional, sino también con la ciencia escolar y con el aprendizaje, pues al igual que en las comunidades científicas, lo que los alumnos tratan de hacer es explicarse su mundo resolviendo problemas a través de la construcción de modelos. Resolver problemas, en el sentido que aquí se maneja, es lo contrario de aceptar las afirmaciones sin fundamento que en el epígrafe identifica C. Sagan.

## El aprendizaje basado en la resolución de problemas (ABP)

Se han argumentado varias razones por las cuales se ha preferido el uso de los problemas en la educación en diferentes disciplinas, como es el caso de las ciencias, siendo la más socorrida de las explicaciones de su uso el que los problemas permiten “aclarar o movilizar los conceptos” (Gil, 1988; Becerra, 2004; Martínez, 2005); también se les ha utilizado para evaluar el



aprovechamiento de manera “objetiva”, por lo que se les ha preferido sobre otras formas de evaluar y se les usa de manera indiscriminada en los exámenes (Izquierdo, 2005). Queda sin embargo la duda sobre si, tomando en cuenta las características de lo que se plantea como un problema, las actividades que hacemos los docentes y los alumnos en clase corresponden realmente con lo que en esencia son los problemas y si realmente estamos con ello ayudando a que los alumnos construyan sus propios modelos lo más cercanos posible a aquellos aceptados por las comunidades científicas.

El aprendizaje basado en la resolución de problemas (ABP) aparece en su versión moderna en la Universidad Canadiense de McMaster (en su Facultad de Medicina) y después ha ido cobrando importancia por sus resultados, en particular en la adquisición de destrezas y conocimientos y el desarrollo de capacidades (Everwijn *et al*, 1993), en concordancia con una posición constructivista (Savery, 1995) aplicándose a diferentes especialidades como ingeniería, ciencias económico-administrativas, ciencias sociales y aun en la educación media (Barojas, 2002; Robles, 2008). En México el aprendizaje basado en la resolución de problemas ha sido abordado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) (Font, 2004), la Universidad Iberoamericana (UIA) (Rugarcía, 2005), en la UNAM en los Núcleos de Calidad Educativa (Morales, 2004) y en el bachillerato (Barojas, 2002; Sierra, 2002; Robles, 2008), además de su incipiente y parcial incorporación en los cursos de ciencias en la educación básica secundaria en los proyectos de final de cada tema al interior del plan de estudios con el objetivo de promover el aprendizaje activo de los alumnos y el desarrollo de capacidades que les permitan aprender a lo largo de la vida (SEP, 2006). Esta propuesta de docencia ha recibido en los últimos años una creciente atención, pues presenta varias ventajas sobre la enseñanza tradicional, siendo algunas de las más importantes las siguientes:

- La actividad está centrada en el alumno. El maestro actúa como tutor, y los alumnos, con las consideraciones de cada circunstancia específica, son los que regulan su ritmo de aprendizaje identificando sus necesidades (qué temas deben estudiar, dónde conseguir la información, comparar y contrastar esta información con otras fuentes). Estas necesidades están guiadas por los propios intereses de los alumnos, con lo que cada estudiante puede personalizar su aprendizaje.
- Redefine el papel del profesor. En el aprendizaje basado en problemas el maestro actúa como un tutor, les ayuda a los alumnos a plantearse

las preguntas clave para el desarrollo de las actividades de aprendizaje que les permita encontrar por ellos mismos la mejor manera de entender y manejar el problema. Aunque hay una gran tentación en dar guías o información que les ayude a los alumnos a trabajar con el problema, el docente debe estar atento a que esta práctica, en lugar de favorecer el aprendizaje y la creatividad del alumno, lo que hace es reforzar de un modo si se quiere más sutil la dependencia de los alumnos. El docente debe mostrar al alumno un genuino interés en la forma en la cual acomete el problema y propiciar un ambiente que favorezca la indagación, se debe valorar el reto intelectual ante el que se encuentra el alumno y a diferencia del método socrático (el maestro sabe cuál es la respuesta correcta y guía al alumno hacia la obtención de la misma), la interacción social es la que promueve el aprendizaje. Debe promover en los alumnos el desarrollo del pensamiento y de sus capacidades de razonamiento mientras aprenden y ayudarlos a ser independientes y aprendices autodirigidos.

- Promueve el trabajo colaborativo para alcanzar la solución del problema. Los problemas forman el foco de organización y estímulo para el aprendizaje. Es a través del entendimiento del problema, de la clarificación de lo que se quiere hacer, que se obtiene una propuesta de solución que guía las necesidades de aprendizaje de los alumnos. Si son los alumnos los que hacen su aprendizaje, el problema define hacia dónde va el aprendizaje, es por ello que es sumamente importante el diseño del problema, que no sea un mero ejercicio de cálculo o que promueva el uso de heurísticas sesgadas. Además, debe retar a la imaginación y las concepciones de los alumnos de manera que las ideas y preconcepciones de los alumnos sean retadas “desde adentro”, promoviendo un cambio conceptual inequívoco. El problema debe ser real y pertenecerles genuinamente a los alumnos. Puesto que ellos están abiertos a explorar todas las dimensiones del problema, hay una dificultad clara en crear problemas artificiales con información consistente; los alumnos se comprometen más si hay un contexto de familiaridad con él y deben tener la posibilidad de explorar otras posibles respuestas que se hayan formulado y que les permitan comparar sus resultados. Puesto que el conocimiento es socialmente negociado, es importante promover la discusión y el debate de las ideas alternativas propias y ajenas, y su aplicación en ambientes diferentes. La profundidad del entendimiento se prueba en el debate y la argumentación.

En suma, debemos considerar entonces a los problemas para aprender como una posibilidad de generar una ciencia escolar, no el sentido de la enseñanza por descubrimiento -que también ha mostrado más desventajas que virtudes, asociadas a un inductivismo extremo en el que si bien se fomenta en el alumno el aprender a conocer, lo cierto es que se aprenden “un conjunto de adquisiciones dispersas” (Gil, 1983, p. 30)- sino en el sentido de que los alumnos puedan aprender algunas de las habilidades que ejercitan los científicos en su trabajo (Gil, 1983; Izquierdo, 1999; Chamizo, 2005).

A pesar de las coincidencias antes mencionadas sobre las ventajas del ABP (no necesariamente compartidas por todos los que apoyan este tipo de propuesta didáctica), la conceptualización de lo que es un problema y su contribución en la construcción del conocimiento científico (Chamizo 2007a; Chamizo, 2005; Colombo, 1997), y en específico qué características debe tener un problema para aprender, ha tomado diferentes caminos. Además de lo indicado por Toulmin, un problema se ha conceptualizado como una situación no familiar (Bodner, 2005), como una limitación individual inherente al procesamiento de la información (Stamovlasis, 2000; Tsarpalis, 1998), o mas poéticamente, como un obstáculo que bloquea la marcha normal de la inteligencia (Córdova, 2005). Más aún, el término problema remite generalmente al trabajo con los enunciados “de fin de capítulo” (Gil, 1983; Izquierdo-Aymerich, 2005). Para nosotros, el trabajo con la solución de problemas no se remite a este único aspecto de la actividad escolar, sino que contempla -de manera análoga a como trabajan los científicos- actividades de investigación, discusión en el grupo y reflexión individual y también la ejecución y diseño de actividades experimentales. En este sentido creemos que es válido el planteamiento de Gil y colaboradores al respecto de si tiene sentido seguir distinguiendo entre las diferentes actividades de aprendizaje (resolución de problemas, prácticas de laboratorios, investigaciones, etcétera) como si se tratara de diferentes entidades (Gil, 1999); durante el ejercicio cotidiano de su trabajo los científicos no hacen ninguna distinción entre estas actividades, por lo que esta separación artificial es perniciosa, puesto que induce a la compartimentalización de los conocimientos.

## A manera de conclusión

A finales del siglo XIX el cubano José Martí escribió en Nueva York *La edad de oro*, un libro acerca de la tarea de formar un hombre nuevo en América Latina. Allí se recoge una carta que le envió a un profesor mexicano, en la que indica:

Verá por la circular que lleva pensamiento hondo y ya que me la echo a cuentas, que no es poco peso, ha de ser para que ayude a lo que quisiera yo ayudar, que es a llenar nuestras tierras de hombres originales, criados para ser felices en la tierra en que viven, y vivir conforme a ella, sin divorciarse de ella, ni vivir infecundamente en ella, como ciudadanos retóricos, o extranjeros desdeñosos nacidos por castigo en esta parte otra del mundo. El abono se puede traer de otras partes; pero el cultivo se ha de hacer conforme al suelo. A nuestros niños los hemos de criar para niños de su tiempo, y hombres de América. Si no hubiera tenido a mis ojos esta dignidad, yo no habría entrado en esta empresa.

En México y en América Latina enfrentamos una enorme cantidad de problemas en un tiempo caracterizado por la incertidumbre y sólo si los entendemos por nosotros mismos a cabalidad podremos estar en condiciones de resolverlos. La presente propuesta didáctica va en ese camino.

## Referencias bibliográficas

- ALAMBIQUE (1996): *Naturaleza e historia de la ciencia*, Barcelona, Graó.
- ALLCHIN D. (2000): "How Not to Teach History in Science", *Journal of College Science Teaching*, 30, 33-37.
- BAROJAS W., J., Sierra V., F. J. (2002): "Desarrollo de comunidades de aprendizaje con alumnas de física del Colegio Francés del Pedregal." *XVIII Simposio Internacional de Computación en la Educación*. Zacatecas: 9.
- Becerra C., Gras-Martí A., Martínez Torregrosa J. (2004): "Análisis de la solución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile." *Enseñanza de las ciencias*, 22, 275-286.
- BODNER G., M., Bhattacharyya G. (2005): "A Cultural Approach to Problem Solving." *Educación Química*, 16, 222-229.
- CHAMIZO J. A. (2000): "La enseñanza de las ciencias en México. El paradójico papel central del profesor." *Educación Química*, 11, 132-136.
- CHAMIZO, J. A., Izquierdo-Aymerich., M. (2005): "Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía." *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 46, 9- 17.
- CHAMIZO, J. A., Izquierdo, M. (2007a): "La evaluación de competencias de pensamiento científico." *Educación Química*, 18, 6-11.
- CHAMIZO J. A. (2007): "Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias." *Enseñanza de las ciencias*, 25, 133-146.
- COLOMBO, L. (1997): "Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias." *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 327-331.
- CÓRDOVA, J. L. (2005): "El arte de resolver problemas." *Educación Química* 16, 260-283.
- DUSCHL, R.A. (1994): "Research on the History and Philosophy of Science." En: Gable D and Bunce D. (eds), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: MacMillan.
- ECHVERRÍA J. (2003): *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid, Cátedra.
- ERDURAN S., y Scerri E. (2002): "The Nature of Chemical Knowledge and Chemical Education." En: Gilbert J.K. *et al*, *Chemical Education: towards Research-based Practice*. Dordrecht, Kluwer.
- EVERWIJN S. E. M., Borners G. B. J., Knubben J. A. (1993): "Educación basada en la capacidad o en la competencia: cierre de la brecha entre la adquisición de conocimiento y capacidad para aplicarlo." *Higher Education*, 25, 425-438.

- FERNÁNDEZ I., Gil D., Carrascosa J., Cachapuz A. y Praia J. (2002): "Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza." *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 477-488.
- FONT RIVAS A. (2004): "Líneas maestras en el aprendizaje por problemas." *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 49, 79-96.
- GIERE R. (1990): *Explaining Science, a cognitive approach*. Chicago, University of Chicago Press.
- GIL D., Martínez J. (1983): "A Model of Problem-solving in Accordance with Scientific Methodology." *European Journal of Science Education*, 5, 447-455.
- GIL D., Dumás A., Caillot M., Martínez J., Ramírez L. (1988): "La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación." *Investigación en la escuela*, 6, 3-19.
- GIL D., Furió C., Valdéz P., Salinas J., Martínez J., Guisasola J., Gonzales E., Dumás A., Goffard M., Pessoa A. M. (1999): "¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?" *Enseñanza de las ciencias* 17, 311-320.
- GILBERT J.K., Boulter C.J. (2000): *Developing Models in Science Education*. Dordrecht, Kluwer.
- IZQUIERDO M., Sanmartí N., Espinet M., García M. P., y Pujol R.M. (1999): "Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar", *Enseñanza de las ciencias*, Número extraordinario, junio, 79-92.
- IZQUIERDO M. y Aduriz A. (2003): "Epistemological Foundations of School Science," *Science & Education*, 12, 27-43.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2005): "¿Para qué se inventaron los problemas de química?" *Educación Química*, 16, 246-259.
- MARTINEZ-TORREGROSA, J., Gil-Pérez D., Becerra L. C., Guisasola, J. (2005): "¿Podemos mejorar la resolución de problemas de 'lápiz y papel' en las aulas de física y química?" *Educación Química*, 16, 230-245.
- McCOMAS, W.F. (2000): *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Dordrecht, Kluwer.
- MATTHEWS M.R. (1994): *Science teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York, Routledge.
- MORALES P., Landa V. (2004): "Aprendizaje basado en problemas problem-based learning", *Theoria*, 13, 145-157.

- ROBLES C. (2008): "Aprendizaje basado en la solución de problemas: una propuesta de aplicación de la definición de problema de Toulmin en la segunda unidad del curso de Química II del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM", *Tesis de Maestría*, Facultad de Química-UNAM, México.
- RUGARCÍA A. (2005): "Mas allá de la resolución de problemas." *Educación Química*, 16, 284-303.
- SAGAN C. (1997): *El mundo y sus demonios. La ciencia como una luz en la obscuridad*. México, Planeta.
- SAVERY J. R., DUFFY T. M. (1995): "Problem based Learning: an Instructional Model and its Constructivist Framework." *Educational Technology*, 35, 31-38.
- SEP, (2006): *Reforma de la educación secundaria. Fundamentación curricular. Ciencias*. México, Comisión del libro de texto gratuito.
- SIERRA J., BAROJAS J. (2002): "Planeación y evaluación del trabajo colaborativo." XX Simposio Internacional de Computación en la Educación. Zacatecas, 20.
- TOULMIN S. (1977): *La comprensión humana. El uso colectivo y evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza Editorial.
- TSARPALIS G., KOUSATHANA M., NIAZ M. (1998): "Molecular-equilibrium Problems: Manipulation of Logical Structure and of M-demand, and their Effect on Student Performance." *Science Education*, 82, 437-454.





# El trabajo experimental de Física en las aulas y laboratorios de enseñanza secundaria

Adolf Cortel Ortuño\*

IES POMPEU FABRA, MARTORELL, BARCELONA

## Resumen

A pesar del gasto y de la sobrecarga en la dedicación de los profesores, algunos países consideran que el trabajo experimental ha de tener un papel esencial en el aprendizaje de las ciencias. Ello les ha llevado a evaluar la eficacia de este trabajo, valorar las distintas alternativas y diseñar estrategias para sacar mejor partido al trabajo experimental. Algunas de sus conclusiones pueden aplicarse a sistemas como el nuestro, en los que dicho trabajo tiene una contribución mucho más modesta, para aprovechar mejor los recursos y diseñar estrategias más eficaces que optimicen los escasos recursos puestos en juego. De acuerdo con ello, a continuación se discute la eficacia del trabajo práctico y distintas posibilidades de implementarlo en el ámbito de la enseñanza de la Física a nivel de enseñanza secundaria.

## La utilidad del trabajo experimental en la enseñanza de las ciencias

**CUALQUIER DISCUSIÓN SOBRE LA NECESIDAD DEL** trabajo experimental en la enseñanza de las ciencias debería partir de la valoración de la efectividad de este tipo de trabajo comparado con un enfoque basado únicamente en clases

---

\* Adolf Cortel Ortuño (Olesa de Montserrat, 1953). Doctor en Ciencias Químicas, Catedrático de Física y Química del IES Pompeu Fabra, Martorell, Barcelona. Colabora en el diseño de talleres y montajes para museos de la ciencia, cursos para profesores y divulgación de la ciencia. Ha sido honrado con los premios “European Science Teaching Award” (Euroforum, 2003), “Física en acción” (Real Sociedad Española de Física, 2001 y 2002) y “Experiències” (Museu de la Ciència de Barcelona, 1985). Miembro de la Comisión Académica de la Olimpiada Española de Física (OEF) y de la Olimpiada de Ciencias de la Unión Europea (EUSO).

teóricas. Suponiendo que se dispone de los medios humanos y materiales para llevar a cabo una enseñanza de las ciencias de tipo experimental ¿hay mejores resultados?

Los recuerdos y valoraciones personales del alumnado, al cabo de los años, tienden a sobrevalorar los experimentos, ya que para ellos es muy probable que hayan constituido una fuente importante de episodios memorables, especialmente si se considera que probablemente realizaron este tipo de actividades por primera vez en la escuela secundaria. Al margen de que se recuerden con agrado ¿las actividades prácticas fueron eficaces y les ayudaron a aprender mejor?

El modelo tradicional consiste en la realización de *experiencias prácticas* asociadas a la teoría “correcta”, en las que el trabajo transcurre de acuerdo con algún protocolo, receta o instrucciones verbales del profesor. Hay evidencias de que este trabajo, llevado a cabo de un modo rutinario, no aumenta la comprensión de los conceptos ni de los métodos de la ciencia, en buena parte debido a que muchos elementos accesorios (funcionamiento de aparatos, muchos fenómenos simultáneos, preocupación por seguir el protocolo y por la realización de medidas) no dejan espacio a la reflexión y oscurecen la comprensión de los conceptos teóricos. Sin embargo, si estas experiencias están asociadas a los conceptos importantes que se conocen a medias y tienen la estructura apropiada, pueden aumentar la comprensión de lo que ya se conoce parcialmente y provocar interés y confianza. Si son lo bastante atractivas, poniendo de manifiesto las aplicaciones y el carácter sorprendente de muchos fenómenos físicos, se puede conseguir que, a pesar de las dificultades, el alumno considere valioso dedicar tiempo al estudio de la materia.

De este modo, las experiencias en las que el alumnado ha de seguir algún tipo de indicaciones pueden ser mucho más eficaces si se diseñan de forma en que se utilicen materiales lo más simples posibles y si están asociadas a los conceptos importantes de aquello que se está estudiando y no a los aspectos anecdóticos. La eficacia también será mayor si las experiencias que se proponen son breves y dejan espacio a la reflexión y a las variaciones. Muy especialmente, el protocolo debería restringirse al mínimo imprescindible, de modo que el solo hecho de comprender las indicaciones y asociarlas a objetos y manipulaciones reales ya suponga un reto para que el alumnado se implique mucho más en la actividad. No sólo es necesario conseguir que se entienda en cada momento qué se hace y para qué sirve aquello que se utiliza, sino por qué se hace de un modo y no de otro. El objetivo no es otro que conseguir que la mayor parte de lo que se observa y se interpreta encaje en

el marco de lo que ya se conoce para que, de este modo, quede de manifiesto la importancia de lo que resulta nuevo o contradictorio o que, simplemente, aún no se comprende.

Los *ejercicios prácticos* son necesarios para que los alumnos desarrollen habilidades, aprendan técnicas elementales y manejen instrumentos y aparatos de un modo correcto y seguro. Estas actividades son el paso previo para que los alumnos puedan funcionar de un modo relativamente autónomo en experiencias de tipo protocolario y puedan conseguir llevar a cabo pequeñas investigaciones. Dentro de este apartado se pueden incluir las experiencias basadas en la realización de medidas utilizando un ordenador y sensores, que requieren el aprendizaje de unos montajes y conexiones, así como el uso de un software. La experimentación asistida por ordenador es especialmente eficaz en algunas áreas, como la cinemática, debido a la rapidez en la toma de un gran número de medidas, su representación gráfica y la búsqueda de las ecuaciones que ajustan a las medidas.

Aquellos aparatos que requieren un especial cuidado o precauciones, como los instrumentos de medidas eléctricas, requieren una dedicación especial. El aprendizaje de su funcionamiento puede ejercitarse sin dificultad mediante experiencias sencillas y atrayentes que eviten el aburrimiento de los estudiantes.

La realización de medidas cuidadosas y la relación entre las medidas de distintas magnitudes constituyen el corazón de la Física. Por ello, dentro de los ejercicios prácticos deberían incluirse técnicas como las representaciones gráficas, el cálculo de errores y la búsqueda de ecuaciones lineales que ajusten a las medidas realizadas, que tienen una importancia especial en Física y requieren un aprendizaje muy específico. Es necesario evitar que las experiencias asociadas al desarrollo de estas habilidades sean tediosas, y para ello deberían basarse en medidas que tengan algún tipo de interés para el alumnado. El aprendizaje de las técnicas mencionadas se debería llevar a cabo gradualmente en los distintos cursos: en primer lugar, de modo manual, con papel milimetrado y calculadora y posteriormente con ordenador, usando un software adecuado al nivel de los alumnos, del estilo de Excel. El uso correcto de las hojas de cálculo, así como el dominio de la representación y tratamiento estadístico de los datos debería ser un objetivo importante en una enseñanza experimental de la Física.

Según los estudios realizados, las *investigaciones prácticas* deberían ser el núcleo de la enseñanza de las ciencias. Todas ellas deben partir de un problema que los alumnos analizarán para desarrollar un plan de trabajo. Dicho plan consistirá en el uso de los aparatos necesarios, medidas, observaciones,

registro e interpretación de los resultados. En cada etapa se replanteará el plan de trabajo de acuerdo con los resultados obtenidos. La descripción de la investigación y sus conclusiones se describirán en la comunicación oral o escrita apropiada. Este tipo de trabajo no sólo es parecido al modo de trabajo de los científicos, sino que es altamente motivador y efectivo.

Lamentablemente, las investigaciones prácticas requieren un tiempo de dedicación considerable, provocando que dichos trabajos no se puedan llevar a cabo dentro del tiempo normal de dedicación a la asignatura. Efectuar esto supone, casi invariablemente, dedicación extra de alumnos y profesor. Únicamente a modo de ejemplo, recientemente se ha introducido en Cataluña la obligatoriedad de que los alumnos de 4o. de ESO realicen un Proyecto de Investigación (*projecte de recerca*). El hecho de realizar el trabajo de una forma autónoma, la presentación oral de los resultados, la realización de experimentos ante el grupo de compañeros, la interacción con el profesor que lo supervisa y con el resto del grupo permiten poner de manifiesto el interés del alumnado hacia este tipo de actividad. Así, el trabajo extra no supone una carga añadida a las dificultades del curso, sino que se hace con agrado y al mismo tiempo se reconoce como algo importante. En cambio, otro trabajo obligatorio en 2o. de bachillerato (*treball de recerca*) requiere una mayor dedicación y, en muchos casos, entra en colisión con la dificultad propia del último curso de bachillerato y las pruebas de ingreso en la universidad, de modo que a menudo se hace con una actitud muy distinta, irregularmente y con prisas.

A medio camino entre lo que se consideran explicaciones teóricas y trabajos prácticos se encuentran las *demonstraciones* (experiencias de cátedra) que lleva a cabo el profesor. Si estas demostraciones permiten la intervención de los alumnos y son lo bastante interesantes y estimulantes, como sucede con muchas de ellas (electrostática con un generador de Van de Graaff, experiencias con un láser, reacciones espectaculares de química, etcétera) resultan muy eficaces para definir *episodios*. Los episodios se integran en la memoria como recuerdos de situaciones en las que el alumno ha participado como protagonista u observador y que constituyen una ayuda poderosa para recordar cualquier tipo de conocimiento verbal asociado a ellos. Cuantos más episodios e imágenes están ligados a un conocimiento, más fácil es recordarlo y darle significado.

## El trabajo experimental que se puede llevar a cabo

En nuestro sistema educativo probablemente la mayor parte del profesorado de Física esté de acuerdo con la importancia de conseguir una enseñanza mucho más experimental. Sin embargo, esta predisposición, en muchos casos, no se concreta en un mayor trabajo experimental dentro de la asignatura.

Una de las causas es la gran disociación entre lo que se pretende y los recursos puestos en juego para conseguirlo. Llevar a cabo un trabajo experimental con un mínimo nivel de eficacia implica unas condiciones con relación a los recursos, organización de las escuelas y formación del profesorado que no suelen ser las habituales en nuestros centros educativos.

Incluso así, muchos profesores llevan a cabo, aunque sea de un modo parcial y modesto, un enfoque experimental de la asignatura. El punto de partida es forzosamente aquello que es posible en cada centro con los medios disponibles, teniendo como referencias a aquellos que pueden hacer un trabajo práctico en mejores condiciones y consiguen mejores resultados, adaptando en lo posible sus ideas.

En primer lugar debemos aceptar que llevar a cabo un trabajo práctico de cualquier tipo requiere medios y dedicación. Por ello, podríamos considerar como muy favorable aquella situación en la que se dispone de: profesorado para desdoblar los grupos numerosos de alumnos para el trabajo individual en el laboratorio, espacios y materiales suficientes para llevar a cabo este tipo de trabajo y para demostraciones, materiales de referencia y documentación relacionados con el trabajo experimental de todo tipo, de probada validez, posibilidad de mantenimiento, reposición y reparación de materiales, profesorado que coopera en la preparación de actividades prácticas.

Aunque la posibilidad de que todas las condiciones anteriores se cumplan sea remota, ello no descarta la posibilidad de hacer un trabajo experimental eficaz, simplemente limita las opciones disponibles. Si no se pueden desdoblar grupos o no hay laboratorio se podrán hacer demostraciones o los alumnos podrán acceder a experiencias y pequeñas investigaciones con materiales simples, incluso en el aula. Sin embargo, la posibilidad de hacer un trabajo experimental eficaz en un medio adverso está absolutamente asociada a unas aptitudes del profesorado que no se dan en todos los casos, esencialmente la disponibilidad para suplir, con dedicación, las carencias organizativas, de conocimientos y de materiales, que inevitablemente van a encontrar.

## Distintas posibilidades de trabajo experimental

Las demostraciones permiten que el profesor controle el ritmo de avance de un modo muy eficaz. Pueden ser muy efectivas si se reservan para aquellas experiencias peligrosas o espectaculares que los alumnos no podrían realizar por sí mismos o como actividades puntuales y breves que se realizan en el aula para mostrar aquello de lo que se habla o discute. Por otro lado, constituyen una alternativa cuando no se pueden desdoblar grupos numerosos, cuando los medios materiales son escasos o en aquellas situaciones en las que se pretende que los alumnos vean, de una forma ágil y relativamente rápida, un cierto número de aplicaciones o fenómenos asociados a un determinado tema o concepto.

En el laboratorio suelen funcionar bien sesiones mixtas de demostraciones y experiencias. El estudio de la óptica o el sonido se presta de una forma muy apropiada a este tipo de sesiones “mixtas” en las que se mezclan demostraciones y experimentos. Se podrían considerar dentro de este apartado los experimentos que requieren la participación de un cierto número de alumnos y que se hacen en grupo.

Como ya se ha indicado, la utilización de sistemas informatizados de adquisición de datos merece una mención especial, ya que se trata de herramientas poderosas para el estudio de muchos fenómenos físicos, químicos o biológicos. Sin embargo, no suelen ser demasiado convenientes para demostraciones ya que los alumnos suelen desconectarse con facilidad de lo que el profesor hace, en cambio, estos mismos sistemas de adquisición son altamente eficaces y motivadores cuando los alumnos los utilizan en pequeños grupos, por ejemplo, en trabajos de investigación.

Si se usan el ordenador y los sistemas de adquisición de datos, es esencial mantener el interés de los estudiantes haciéndoles participar en los experimentos y, por descontado, disponer de un sistema de proyección en la pantalla. Se puede dinamizar enormemente una sesión basada en el uso del ordenador si se plantean conjuntamente experiencias breves hechas de modo convencional.

Las experiencias prácticas permiten que los alumnos se impliquen en un grado mayor en su propio aprendizaje. Por una parte, tienen la oportunidad de asumir su propia responsabilidad para llegar a “descubrir” fenómenos y corregir sus errores pero, al mismo tiempo, es necesaria una supervisión que es imposible con grupos algo numerosos de alumnos. Son especialmente atrayentes las experiencias basadas en el comportamiento de los materiales simples. Las

ventajas del uso de estos materiales en demostraciones, experiencias o pequeñas investigaciones resultan evidentes, especialmente en Física, ya que casi siempre son mucho más asequibles que los materiales “didácticos”, los alumnos parten de aquello que conocen y su reposición no suele ser problemática.

El uso de guiones de las experiencias supone una innegable ayuda para el profesor pero, a menudo, los alumnos los consideran simples recetas. Como se ha indicado anteriormente, es esencial que el alumno se implique en lo que hace. Para ello, un guión se puede dar con los pasos a seguir desordenados de modo que, antes de empezar, se ha de analizar la experiencia que se propone para implicarse en su realización. De un modo parecido, en las demostraciones resulta útil hacer que los alumnos predigan lo que va a suceder antes de mostrar un fenómeno determinado para observarlo a continuación y justificar las previsiones o, lo que es más interesante, para sorprenderse si no ocurre lo previsto.

Los profesores que quieran llevar a cabo experiencias prácticas de Física disponen de equipos de material didáctico, con guiones preelaborados por los fabricantes que pueden resultar muy valiosos, ya que el profesor puede adaptarlos sin necesidad de hacer todo el trabajo partiendo de cero. Los equipos didácticos de buena calidad, bien diseñados y con materiales robustos pueden resultar algo caros, por ello, en aquellos casos en que las dificultades económicas impidan su adquisición el profesorado podrá tener serias dificultades para realizar experiencias de este tipo. Algo parecido ocurrirá si los equipos son obsoletos o, simplemente, malos. La alternativa supone una gran carga para las espaldas del profesorado ya que, en primer lugar, ha de conocer experiencias con materiales de tipo casero o que se puedan adquirir a bajo coste. No sólo habrá de conseguir estos materiales, sino que tendrá que diseñar los guiones y reelaborarlos para mejorar su eficacia a medida que se utilizan. No hace falta mucha imaginación para entender que en tal situación, excepto en aquellos casos en que puedan formarse equipos estables de profesores que a lo largo de unos cuantos años trabajen en ello generando ideas y adquiriendo conocimientos y materiales, la realización de experiencias de laboratorio no pasará de una mera anécdota.

Las experiencias prácticas se pueden reconducir con facilidad a pequeñas investigaciones si el tema no tiene demasiada complejidad, los materiales son simples y no hace falta una habilidad especial. Si no es así, el profesor tendrá que participar más de lo que sería deseable. Su gran importancia reside en conseguir que el alumnado funcione de una forma autónoma

Los alumnos también deben funcionar de modo autónomo en aquellos ejercicios prácticos en los que se pretende que desarrollen habilidades o técnicas de distinto tipo; por ejemplo, representaciones gráficas o cálculos en la mayor parte de experiencias de cinemática, manejo de instrumentos de medida en electricidad o química, búsqueda y corrección de errores en montajes eléctricos y electrónicos, etcétera. En este tipo de trabajos es importante diferenciar los objetivos asociados a la adquisición de habilidades de los que pretenden la observación de fenómenos vinculados a conceptos teóricos que se deben comprender. Muchas experiencias de cinemática fallan por esta razón: si se estudia la caída de un cuerpo empleando un cronovibrador, resulta evidente que la esencia de la experiencia (independientemente de su peso, un cuerpo cae con una aceleración constante de  $9.8 \text{ m/s}^2$ ) queda totalmente difuminada ante la envergadura del trabajo que supone el análisis correcto de las medidas. Si la experiencia se hace del modo tradicional únicamente se desarrollarán habilidades; su vinculación con los conceptos de cinemática que se pretenden comprender será muy remota.



## Referencias bibliográficas

- WOOLNOUGH B. (1990): *Practical Science*, Buckingham, Open University Press.
- WHITE R.T. (1979): "Relevance of Practical Work to Comprehension of Physics", *Physics Education*, Vol. 14, pp. 384-387.
- EDGE R.D. (1981): *String and Sticky Tape Experiments* College Park, Maryland, American Association of Physics Teachers. Traducción al español: *Experimentos con hilos y cinta adhesiva*.
- LIEM T.L. (1987): *Invitations to Science Inquiry*, Chino Hills, California, Science Inquiry Enterprises.
- SUTTON R.M. (1938): *Demonstration Experiments in Physics*, New York, McGraw-Hill.
- MEINERS H.F. (1970): *Physics Demonstration Experiments*, New York, The Ronald Press Company.
- EHRlich R. (1990): *Turning the World Inside out*, Princeton, Princeton University Press.
- EHRlich R. (1997): *Why Toasts Land Jelly-side Down*, Princeton, Princeton University Press.
- CORTEL A. (1997): *El laboratorio de Física en la enseñanza secundaria: Las ondas. La luz y el sonido*, Horsori-ICE de la Universidad de Barcelona.







### **Cuadernos México Núm. 2**

Se terminó de imprimir durante el mes de noviembre de 2010 en los talleres de estirpe, concepto e imagen, ubicados en Lucas Alamán núm. 30, col. Obrera; con un títise de quinientos ejemplares más sobrantes para reposición.

