


Construyendo la Didáctica de las Ciencias: hacia una Educación Científica basada en Evidencias

Jordi Solbes ¹ 

¹ Universidad de Valencia,
Valencia, España
jordi.solbes@uv.es 

Recibido: 04/Abril/2024
Revisado: 12/Junio/2024
Aprobado: 07/Julio/2024
Publicado: 28/Agosto/2024



Resumen

En este trabajo mostramos, en primer lugar, que en los sistemas educativos prevalece una enseñanza transmisora o tradicional que aparece como natural al profesorado. A continuación, se presentan tres modelos de formación del profesorado de ciencias y el papel de la didáctica de las ciencias en los mismos. Se sigue el proceso que llevó a la consolidación de dicha ciencia como disciplina emergente cumpliendo las exigencias de Toulmin: conjunto de problemas específicos; existencia de una comunidad crítica; metas e ideales compartidos; metodologías aceptadas; poblaciones conceptuales en evolución y medios de difusión. Este escenario puede contribuir a la formación de un profesorado crítico, que base su praxis profesional en saberes, en evidencias y no en la sola experiencia particular, y que contribuya así a una educación científica crítica. Por último, hemos mostrado cómo la didáctica de las ciencias es un programa de investigación progresivo, en el sentido lakatosiano del término.

Palabras clave: formación del profesorado, didáctica de las ciencias, pensamiento crítico



Building Science Didactics: Toward Evidence-Based Scientific Education

Abstract

In this work, we first demonstrate that transmissive or traditional teaching prevails in educational systems and is often perceived as natural by educators. Next, we present three models of science teacher training and explore the role of science didactics within these models. We trace the process that led to the consolidation of science didactics as an emerging discipline, meeting Toulmin's criteria: a set of specific problems, the existence of a critical community, shared goals and ideals, accepted methodologies, evolving conceptual populations, and means of dissemination. This scenario can contribute to the development of critical educators who base their professional practice on knowledge and evidence rather than solely on personal experience, thus promoting critical scientific education. Finally, we highlight how science didactics operates as a progressive research program, following the Lakatosian perspective.

Keywords: teacher training, science didactics, critical thinking

Construindo a Didática das Ciências: Caminhos para uma Educação Científica Baseada em Evidências

Resumo

Este trabalho discute, primeiramente, a predominância do ensino tradicional ou transmissivos nos sistemas educativos, que são frequentemente percebidos como naturais pelos professores. Em seguida, são apresentados três modelos de formação de professores de ciências e o papel do ensino de ciências em cada um deles. O artigo acompanha o processo que levou à consolidação da didática da ciência como uma disciplina emergente, em resposta às demandas de Toulmin: um conjunto específico de problemas, a existência de uma comunidade crítica, objetivos e ideais compartilhados, metodologias aceitas, e a evolução das populações conceituais e da mídia. Este contexto pode favorecer a formação de professores críticos, que fundamentem sua prática profissional no conhecimento e em evidências, em vez de se basearem apenas na experiência individual, promovendo assim uma educação científica crítica. Por fim, demonstra-se que o ensino de ciências se configura como um programa de pesquisa progressista, conforme o entendimento lakatosiano do termo.

Palavras-chave: formação de professores, ensino de ciências, pensamento crítico

Las inercias del sistema educativo

En este trabajo¹ el punto de partida es la constatación de que el sistema educativo tiene un gran tamaño, implica a muchos actores (profesorado, alumnado, familias, administración, entre otros), y por ello tiene mucha inercia al cambio. Si observamos aulas de diferentes periodos históricos, algunas de ellas conservadas por ser patrimonio cultural, como la de Fray Luis de León en la Universidad de Salamanca (siglo XVI), o la de Antonio Machado en el Instituto de Baeza (principios del siglo XX), y las comparamos con una actual, veremos que no hay tanta diferencia entre ellas. Unos bancos para el alumnado y un espacio en la parte frontal para el profesorado, con una cátedra en el primer caso y pizarras en los otros dos. Harari (2014) señala que si una persona del siglo XVI se pudiese trasladar al presente, se encontraría con un mundo transformado, con avances tecnológicos, cambios sociales y una diversidad de creencias y culturas que no existían en su época. Solo las iglesias y las escuelas seguirían siendo puntos de referencia. Y añade que estos cambios en la sociedad se han producido por lo que denomina “tercera revolución de la humanidad”, la revolución científico técnica, es decir, por la influencia de la I+i+D (Investigación + innovación + Desarrollo) en el cambio social. Y esto nos lleva a preguntarnos si la I+i en educación, puede producir cambios en sistema educativo.

Esta resistencia al cambio quizá se deba a que toda la población está unos 12 años en el sistema educativo (primaria y secundaria obligatoria), y los que van a formar a la ciudadanía 6 o 7 años más (secundaria superior y universidad). Así, la “enseñanza tradicional” nos ha impregnado profundamente, a lo largo de esos muchos años en que hemos seguido, como alumnos, las actuaciones de nuestros profesores. Se trata de una formación ambiental que ha tenido un gran peso por su carácter reiterado y no estar sometida a una crítica explícita, apareciendo por ello como “natural”, sin que llegue a ser cuestionada efectivamente (Furió & Carnicer, 2002). Por eso todo el mundo tiene una opinión (no una evidencia) de lo que tiene que saber y hacer el profesorado.

Y es por eso que el profesorado prefiere los métodos que le gustaban cuando eran alumnos; enseñan de la misma forma que fueron enseñados; tienen creencias e imágenes pedagógicas formadas a lo largo de su etapa escolar, implícitas, muy estables y resistentes al cambio. Utiliza como evidencia el hecho de que con él haya funcionado alguna práctica docente (sesgo de confirmación), olvidando que forma parte de la minoría que ha llegado a la graduación universitaria, y que lo que funcionó con él, fracasó con el resto del alumnado que no pasó de la enseñanza obligatoria. Y si algún día decide implementar una innovación, que le han enseñado sus compañeros o la formación permanente, lo hace a título de ensayo y error. ¿Qué pensaríamos de un profesional de la medicina que actuara así, que se limitara a su observación visual para diagnosticar y recetase los medicamentos que se utilizaban hace muchos años?

Los sesgos en educación

Un sesgo cognitivo es un efecto psicológico que produce una desviación en el procesamiento mental, lo que lleva a una distorsión, juicio inexacto o una interpretación ilógica. Fue

¹ Este trabajo, que desarrolla una conferencia previa en los seminarios de didáctica de la Uptc, está basado en mi experiencia de los inicios de la didáctica de las ciencias y, para evitar los sesgos de la misma, en una muy amplia bibliografía.

introducida por Kahneman y Tversky (1972) para explicar la imposibilidad de las personas de razonar intuitivamente con órdenes de magnitud muy grandes, o anumerismo. No se ven como errores, sino como atajos empleados por los humanos a la hora de predecir y tomar decisiones, sobre todo cuando no hay mucha información. Pueden ser utilizados en nuestra contra por quienes los conocen y nos ofrecen productos a 49 €, que parecen mejor que 50 €. Muchas falacias los utilizan. Ruiz (2023) menciona los siguientes:

- *Sesgo de confirmación*, que busca solo la información o los datos que confirman las creencias o hipótesis propias, sin tener en cuenta si son verdaderas y pasando por alto las pruebas que podrían refutarlas. Permite resolver las disonancias cognitivas.
- *Sesgo de causalidad*, atribuir relación causa-efecto a las asociaciones entre acontecimientos o correlaciones (p. e. atribuir un mejor rendimiento académico a una TIC, cuando en realidad se debe a nivel socioeconómico).
- *Sesgo de arrastre*, la tendencia de creer algo porque muchas personas lo hacen o lo creen.
- *Sesgo de falso consenso*, creer que las propias opiniones, creencias, valores y hábitos están más extendidos entre el resto de la población de lo que realmente lo están.

Pero hay otros que también influyen en la educación como:

- *Sesgo retrospectivo*: es la inclinación a ver los acontecimientos pretéritos como predecibles o predichos, intenta justificar a posteriori lo ocurrido. Conocida también como el efecto “¡Siempre supe que iba a pasar!” o “ya lo había supuesto”. Los individuos están sesgados por el conocimiento de lo que realmente ha ocurrido cuando evalúan su probabilidad de predicción. Similar a la falacia del historiador.
- *Sesgo de la identidad social*: Las personas tienden a anteponer la importancia de pertenencia a un grupo frente a los argumentos y adoptan juicios erróneos o falsos solo por permanecer dentro del grupo, que puede influenciar así la conducta de una persona.

Ahora bien, para poner en cuestión la propia experiencia particular, que algunos consideran evidencia, así como los sesgos, hay que someterla a crítica. En temas de medicina, una práctica social y un campo de conocimiento como la educación, la tradición y la experiencia, apoyadas por el sesgo de confirmación, habían utilizado durante siglos las sangrías. Hasta que en 1830 el Dr. Louis hizo un estudio con un grupo en el que utilizaba la sangría como tratamiento de la neumonía y otras fiebres y otro en el que no (grupo control y experimental), probando que era absolutamente ineficaz. Se le considera el padre de la medicina basada en evidencias. Como las ciencias son metodológicamente críticas y se basan en evidencias (pruebas), son un remedio contra la sola experiencia individual y los sesgos (así como contra las pseudociencias, actitudes como el negacionismo, las conspiranoias, y diversas falacias, entre otras) (Torres & Solbes, 2016; Solbes, 2019).

Conocimientos para la formación del profesorado

Cuando se inician los sistemas educativos en el siglo XIX se consideraba que el profesorado debería conocer únicamente la materia o materias a impartir. En la primera mitad del siglo XX

empieza a ponerse en cuestión la idea de que basta con el conocimiento de los contenidos (CC) de las ciencias (Dewey, 1945). Surge un nuevo modelo que considera que la formación se basa en la suma de conocimientos del contenido (CC) y conocimientos pedagógicos (CP).

Este segundo modelo es puesto en cuestión en 1987 por Shulman, cuando introdujo el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) como un componente central del conocimiento base del profesorado para referirse a esa “combinación entre contenido y pedagogía por la que comprendemos cómo organizar, representar y adaptar ciertos temas o problemas a los diversos intereses y habilidades de los alumnos” (1987, p. 8). De hecho, señala que el CDC es la categoría que permite distinguir entre el conocimiento de un especialista en la materia disciplinar, el de un pedagogo y el del profesorado de la materia.

De estos conocimientos se ocupan diferentes materias: del conocimiento didáctico del contenido (CDC), las didácticas específicas; del conocimiento pedagógico en un sentido amplio (CP), la pedagogía, la psicología y la sociología educativas; y del conocimiento del contenido (CC), en España en los grados de maestro/a corresponde a los departamentos de didácticas específicas y en el máster de profesorado de secundaria a los grados de contenidos previos al mismo. Todas ellas contribuyen al conocimiento profesional del profesorado. Pasamos a continuación a ocuparnos de la génesis de ese nuevo saber, la didáctica de las ciencias.

La génesis de un saber

Toulmin (1972) señaló las siguientes exigencias que caracterizan la formación de disciplinas profesionalizadas (sean o no científicas):

- conjunto de problemas específicos, conceptuales o prácticos
- existencia de una comunidad crítica
- metas e ideales compartidos
- metodologías aceptadas
- poblaciones conceptuales en evolución vinculadas a los problemas específicos.

Y aunque Toulmin no los menciona, otra exigencia son los medios de difusión del conocimiento (revistas, congresos).

Situación de partida

En España, a finales de los años setenta del siglo XX, los profesores de ciencias preocupados por mejorar sus prácticas educativas constituían un colectivo reducido que contaba con pocos recursos a su alcance. Cuatro décadas de franquismo sumieron prácticamente en el olvido todo el esfuerzo innovador realizado hasta 1936: la Escuela Moderna de Ferrer y Guardia, la Institución Libre de Enseñanza de Giner de los Ríos, el Instituto Escuela de Edmundo Lozano, entre otras, son algunas instituciones cuyos miembros habían sido encarcelados, depurados o se habían exiliado, mayoritariamente a países latinoamericanos. La innovación educativa solo era promovida entre el profesorado por algunos Institutos de Ciencias de la Educación (ICES) de las universidades y por los Movimientos de Renovación Pedagógica (MRPs).

Antes de la década del setenta del siglo XX los maestros se formaban en escuelas normales no universitarias. Estas se integran en la Universidad con la Ley General de Educación (1970) como Escuelas Universitarias de Magisterio, con carreras de tres años. Los profesores de secundaria eran físicos, químicos, historiadores, etc., con carreras de cinco años que se completaban con un Curso de Aptitud Pedagógica (CAP), de unos dos meses de duración. La formación del profesorado se basaba en el segundo modelo de suma de los contenidos científicos (CC) y de los psicopedagógicos (CP), aunque para el de secundaria estos eran muy reducidos.

En las Escuelas Universitarias de Magisterio no había doctores, y para conseguirlos se permitió el acceso de catedráticos de secundaria con doctorados en ciencias y otras áreas de conocimiento. No había tesis de didáctica de las ciencias. Una de las primeras es la de Pro (1984), que evaluaba dos metodologías de enseñanza de la física.

El impacto que produjo la capacidad de los soviéticos para adelantarse en la carrera espacial con el lanzamiento del Sputnik en 1957 fue una de las causas de los intentos de renovación en la enseñanza de las ciencias a partir de los años sesenta en los países anglosajones. Se cuestionaron los objetivos, contenidos y métodos de enseñanza de las ciencias. Se puso en cuestión la enseñanza basada en la simple transmisión verbal y se buscó en la utilización del “método científico” y en la realización de trabajos prácticos, la superación de las dificultades en el aprendizaje de las ciencias. Con estas prácticas se pretendía que los estudiantes fuesen descubriendo las cosas por sí mismos. Estas ideas influyeron en la elaboración de proyectos en los años sesenta y setenta para la enseñanza de las ciencias: el *CHEM Study*, el *Physics Science Study Committee* (PSSC), y los de la fundación *Nuffield* de biología, física, química. Aunque varios de estos libros se tradujeron al español, no llega nada de esto a la educación científica en España durante el franquismo.

A este contexto me incorporo, como físico que ha ganado la oposición a cátedra de secundaria de física y química en 1982. Me gusta enseñar y soy crítico con la enseñanza tradicional, influido por Freire (1970) y sus ideas sobre educación bancaria y dialógica, propuestas muy generales y alejadas de la enseñanza de las ciencias. Hablando con diversos profesores sobre cómo seguir investigando, el profesor Senent, de física nuclear, me dijo: “Va a ser catedrático de secundaria, investigue sobre la enseñanza” y me puso en contacto con el profesor Gil, con quien codirigió mi tesis, que se inicia en 1982.

Conjunto de problemas específicos

El profesor Gil tenía un programa de investigación de un conjunto de problemas de la práctica educativa y de las posibles soluciones a los mismos. En concreto, una investigación sobre la enseñanza de conceptos básicos, como la física moderna o la nutrición, que dio lugar respectivamente a las tesis doctorales de Solbes (1986) y Cañal (1990). Sobre los trabajos prácticos de laboratorio en biología (Gené, 1986) y en física y química (Payá, 1991). Sobre las ideas alternativas de los estudiantes (Carrascosa, 1987), la resolución de problemas como investigación (Martínez-Torregrosa, 1987, Ramírez, 1990) y la evaluación (Alonso, 1994). En la Universidad de Valencia el profesor Furió dirigió tesis sobre la enseñanza del campo eléctrico (Guisasola, 1996) y el profesor Solbes sobre el uso de las relaciones entre ciencia, tecnología

y sociedad (CTS) (Vilches, 1993) y de la historia de la ciencia (Traver, 1996) en la enseñanza de las ciencias. La mayoría, salvo los profesores Gil y Furió, éramos profesores de secundaria y miembros del seminario de física y química del Servicio de Formación Permanente de la Universitat de València, en el que elaborábamos materiales didácticos para el aula que incorporaban nuestras investigaciones e innovaciones.

Y sin ánimo de ser exhaustivo, en otras universidades se realizaron tesis sobre la enseñanza de la evolución (Jiménez-Aleixandre, 1990), de la mecánica (Oliva, 1994), de la química (Sanmartí, 1990; Martín del Pozo, 1995) y sobre formación del profesorado (Porlán, 1991; Mellado, 1994). Casi una veintena de tesis en una década. Esto crea una masa crítica para que se inicien programas de doctorado (PD), como el de la Universitat de València: PD 90A “Investigación en didáctica de las ciencias experimentales”, que dura desde 1993 a 2009, año en que se integra en el PD Investigación en didácticas específicas. Hasta la constitución de los mismos, las tesis se defendían en facultades de física, química o biología.

Todo esto planteaba problemas, ¿Cómo fundamentar teóricamente las tesis? No había otras tesis que pudiesen servir de modelo y no eran fácilmente accesibles, al depositarse sólo un ejemplar en las bibliotecas universitarias. Tampoco había muchas revistas y muchas veces no estaban disponibles en las bibliotecas. Y ¿con qué metodología comprobar las hipótesis? Y esto nos lleva a los otros puntos que según Toulmin (1972) caracterizan la formación de disciplinas profesionalizadas.

Una comunidad crítica

Martínez Terrades (1998) investigó en su tesis los autores más citados en los inicios de la didáctica de las ciencias, viendo que a principios de los años ochenta del siglo XX los autores más citados eran psicólogos y pedagogos, como la taxonomía de Bloom, los estadios y aprendizaje por acomodación y asimilación de Piaget, o el aprendizaje memorístico y significativo de Ausubel, entre otros. También se citan muchos autores de filosofía de la ciencia, en especial Kuhn (1971), Lakatos (1983) y Toulmin (1972). La idea kuhniana de paradigma lo impregna todo; tres paradigmas en la enseñanza de las ciencias: transmisor, descubrimiento autónomo e investigación dirigida (Gil, 1983), tres paradigmas de la física: el aristotélico-escolástico, el clásico y el moderno (Solbes, 1986); etcétera. También se mencionan, aunque en menor cuantía, diversos autores de métodos de investigación en educación (Serramona, 1980; Fox, 1981; Welkowitz et al., 1981).

La didáctica de las ciencias, en cambio, es poco citada, porque se inicia en los años setenta con las tesis pioneras de 1973 de Rosalind Driver y de 1976 de Laurence Viennot, que ponen en cuestión la efectividad de la enseñanza usual allí donde sus resultados parecían más positivos: un gran porcentaje de estudiantes no habían logrado comprender los conceptos científicos más básicos, a pesar de la insistencia y repetición con que habían sido enseñados. Ello dio origen a la línea de investigación en “errores conceptuales”, como fueron denominados inicialmente.

En cambio, pocos años después, en la década de los 90 son investigadores en didáctica de las ciencias como Driver, Osborne, Aikenhead, Yager, Linn, Hodson, Duschl, Solomon, Viennot, Duit, Giordan, Posner, Hewson, Martinand, Gil, entre otros, quienes ponen de manifiesto una

comunidad científica diferenciada ya constituida (Martínez-Terrades, 1998). Se observa un notable predominio de los autores angloparlantes en las revistas de lengua inglesa, lo que resta impacto a autores de otras procedencias lingüísticas.

Medios de difusión del conocimiento

El número de publicaciones desde 1916 hasta 1973 se limita a cuatro revistas: *Science Education* (USA, 1916), *Journal Research in Science Teaching* (USA, 1963), *Research in Science Education* (UK, 1970) y *Studies in Science Education* (UK, 1972).

Desde finales de los setenta se registra un crecimiento espectacular con el *European Journal of Science Education* (UK, 1979), que pasa a denominarse en 1986 *International Journal of Science Education*, *Aster* (Francia, 1985), *Science & Education* (Australia, 1991) y un largo etcétera.

En España aparece en 1983 *Enseñanza de las ciencias*, en 1987 *Investigación en la escuela*, en 1994 *Alambique* y otras. En Argentina en 1986 aparece la *Revista de enseñanza de la física*, en 1989 en México *Educación química*, entre otras. En Colombia tenemos posteriormente: *Tecné*, *Episteme* y *Didaxis TED*, de 1991 a 1992, y reapareciendo en 1998; *Góndola*, en 2006, *Praxis & Saber*, en 2011.

Todo esto puede incrementarse aún más con la aparición de las revistas electrónicas, como la *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias* en 2002, *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* en 2003 y un largo etcétera, que abaratan los costes de publicación. Las revistas no solo tienen importancia como vehículo de comunicación entre la comunidad científica y la profesional, sino sobre todo en la medida en que actúan en tales comunidades, mediante el reconocimiento de sus miembros que supone la publicación, y mediante la selección de los problemas a estudiar y de los métodos de estudio, lo que delimita el campo.

También hay que remarcar la aparición de los primeros *Handbooks* especializados exclusivamente en investigación en didáctica de las ciencias (Gabel, 1994, Fraser & Tobin, 1998). El primer *Handbook* que se publica en español es el de Perales y Cañal (2000).

Y por último los congresos, siendo uno de los más antiguos y continuos en el área iberoamericana (primera edición en 1985) el Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, vinculado a la revista *Enseñanza de las ciencias*, cuya duodécima edición se celebrará en 2025 en Valencia con el lema “Enseñanza de las ciencias y pensamiento crítico: desafíos y necesidades de la sociedad democrática”, en formato presencial y on-line.

Metodologías aceptadas

La investigación en didáctica de las ciencias trata de diagnosticar los problemas de aprendizaje y enseñanza que aparecen en las mismas. No puede elaborarse una propuesta efectiva si previamente no se conoce, en profundidad, la situación problemática de partida. Y, a continuación, trata de elaborar, implementar y evaluar propuestas didácticas para resolver los problemas que se identifican (tratamiento o intervención). Para algunos autores, la investigación debería limitarse a investigar algún problema sin “descender” a elaborar propuestas de actuación

en el aula, pues ello ya no constituiría investigación, sino “simple” innovación. Detrás de esta idea se encuentra la percepción de la innovación como mera aplicación de la investigación; ello introduce una forma de separación entre ambas, puesto que se considera que el papel de los investigadores es la construcción de conocimientos que otros (los profesores de aula) deben aplicar después (Carrascosa & Domínguez, 2017).

Lo anterior se plantea con base en el método de trabajo científico propuesto por Bunge (1973): planteando problemas, formulando hipótesis, fundamentándolas teóricamente, ofreciendo diseños para contrastarlas, inicialmente en su mayoría cuantitativos (cuestionarios, estadística). Más adelante, desde un “diseño de aborde múltiple convergente”, ningún resultado es aceptado si no va acompañado de otros resultados obtenidos con planteamientos diversos que se muestren coherentes entre sí, lo que lleva a completar los métodos cuantitativos con métodos cualitativos (entrevistas, grabaciones, etcétera).

Bunge además señala que esto es una condición necesaria pero no suficiente, ya que se debe tener en cuenta las disciplinas cercanas y ver la coherencia entre los resultados. ¿Qué pasaría con unas conclusiones en medicina que no tengan en cuenta los resultados de la biología, la química o la física? Pero esto tan evidente en las ciencias naturales, lo es menos en las sociales, y a veces no se tienen en cuenta los resultados de la psicología del aprendizaje o de la neurociencia.

Poblaciones conceptuales en evolución

La línea de investigación que se inicia en el trabajo de Driver (1973) y Viennot (1976) sobre errores conceptuales, es decir, respuestas incorrectas en las situaciones en que tienen que utilizar dichos conceptos, permitió mostrar que estos no son simples olvidos o equivocaciones, sino ideas inconsistentes, seguras y arraigadas, con notable resistencia a ser sustituidas por los conocimientos científicos en la enseñanza usual y similares para alumnos de distintos países. Esto último hizo que se publicasen miles de trabajos sobre el tema, recopilados por Duit (2009), que contribuyeron a la consolidación del campo de conocimientos y a la población conceptual. Dichos errores fueron designados de múltiples formas: preconcepciones, ideas previas, *ideas alternativas* (denominación más aceptada), ciencia de los niños, etcétera, y dieron origen a estrategias educativas para la sustitución de esos conceptos (o esquemas) previos por otros nuevos: el *cambio conceptual*.

Se puede hablar así de la emergencia de un *modelo constructivista* de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Una de las revistas científicas más importantes, *Science*, se hizo eco de este concepto al publicar el trabajo de Resnick (1983) que resume las principales características del mismo: quienes aprenden, *construyen* activamente significados, no *reproducen* simplemente lo que leen o se les enseña; comprender algo supone establecer relaciones, los fragmentos de conocimiento aislados son olvidados; todo aprendizaje depende de conocimientos previos.

Vygotsky (1979), afirmaba que el alumno no puede aprender solo y necesita mediaciones sociales (contextos, profesor, compañeros, etcétera), es decir, que las operaciones cognitivas se desarrollan por medio de la internalización de instrumentos culturales que existen fuera del individuo, evidenciando la influencia de la cultura y el lenguaje sobre la cognición personal.

Esto dio origen al *modelo socioconstructivista*.

En resumen, han aparecido términos y conceptos propios como los antes mencionados de ideas alternativas, cambio conceptual y otros, como trasposición didáctica, indagación, modelización, e incluso acrónimos como Ciencia, Tecnología, Sociedad (CTS) o cuestiones sociocientíficas (CSC).

Metas e ideales compartidos

Así, la didáctica de las ciencias puede contribuir a la formación de un profesorado crítico, que base su praxis profesional en saberes, en evidencias, y no en la sola experiencia particular, y que contribuya a la alfabetización científica de la ciudadanía mediante una educación científica crítica. Como señala la UNESCO en su Informe Científico (Schneegans, Lewis y Straza, 2021): “La alfabetización científica puede ser un amortiguador eficaz contra los movimientos anticientíficos que buscan sembrar la duda en la mente del público mediante la difusión de información que saben que es falsa”.

Para ello, en primer lugar, dicho profesorado debe conocer las evidencias científicas sobre la educación que afirma la didáctica de las ciencias. Y una de las principales es que el profesorado de ciencias tiene que familiarizar al alumnado con la indagación, es decir, tiene que ser un profesor investigador, que plantea la enseñanza de las ciencias como indagación (Rocard et al., 2007).

La investigación también ha mostrado que la estrategia que parece más fructífera para mejorar la enseñanza consiste en implicar al profesorado en la investigación de los problemas de enseñanza/aprendizaje de las ciencias que les plantea su actividad docente (profesor investigador, en una segunda acepción), para tener pruebas y superar sesgos cognitivos (Solbes et al., 2018). La investigación realizada por y con los profesores tienen un efecto transformador muy superior a la llevada a cabo en ámbitos académicos para y sobre los profesores (Carrascosa & Domínguez, 2017).

Consenso sobre la consolidación de un saber

Este consenso se puede apreciar en las líneas de investigación. Así, en la tesis doctoral de Martínez Terrades (1998) se destacan las siguientes: 1. Preconcepciones, 2. Trabajos prácticos de laboratorio, 3. Resolución de problemas, 4. Historia y filosofía de la ciencia. Naturaleza de la ciencia, 5. Actitudes, aspectos afectivos, clima de aula, 6. Actividades Ciencia, Tecnología, Sociedad (CTS), 7. Evaluación, 8. Diseño curricular, 9. Investigaciones sobre formación docente, 10. Investigaciones sobre didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos, 11. Paradigmas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y estrategias instruccionales.

En trabajos posteriores, Pro (2009) insiste en lo anterior, al señalar, a partir del análisis bibliográfico, que las principales líneas de investigación e innovación en nuestro contexto educativo son: resolución de problemas, libros de texto, currículo, proyectos curriculares, evaluación, trabajos prácticos, ideas del alumnado, educación ambiental, formación del profesorado, contenidos procedimentales y actitudes, la ciencia fuera del aula, el uso de Internet, entre otros.

Otra prueba del mismo es la publicación de libros sobre didáctica de las ciencias que están siendo utilizados en la formación inicial de profesores de ciencias (Duschl, 1990; Gil et al., 1991; AAVV, 1992; Porlán, 1993; Sanmartí, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2003; Caamaño et al. 2011; Solbes, Domínguez y Furió, 2011) y convergen bastante en los temas tratados. Pero esta convergencia no es, ni mucho menos, la que se puede encontrar en libros de textos de física como los clásicos Halliday y Resnick, Tipler y Mosca, Sears y Zemansky, etcétera, lo cual es lógico ya que la física tiene casi cuatro siglos como disciplina establecida. A título de ejemplo, en Solbes, Domínguez y Furió (2011) podemos encontrar temas como:

1. La formación del profesorado de ciencias
2. El trabajo científico y los procedimientos en la enseñanza de las ciencias
3. La resolución de problemas y procedimientos en la enseñanza de las ciencias
4. El aprendizaje de los conceptos científicos
5. Aspectos axiológicos y actitudinales en la enseñanza de las ciencias. Clima del aula
6. Pensamiento crítico y cuestiones socio-científicas
7. Educación CTS y para la sostenibilidad
8. La evaluación como un instrumento de mejora del aprendizaje y la enseñanza
9. Una propuesta de unidad didáctica: el programa de actividades

Sin embargo, hay autores (Jiménez Aleixandre et al., 2003) que señalaban que la didáctica nos permite formular los problemas que se pretende solucionar de una manera adecuada, pero que:

Es un campo muy reciente en el que el consenso sobre los problemas que hay que abordar y el marco para abordarlos alcanza aún a pocas cuestiones. Sería poco realista afirmar que existen propuestas para resolverlos todos, entre otras cosas porque cada clase es un mundo distinto y no hay soluciones únicas aplicables a esa variedad (p.9)

Además, no hay que olvidar que un cuerpo de conocimientos tiene estatus científico no solo porque cumpla toda una serie de condiciones internas (comunidad científica, publicaciones, etcétera), sino porque es aceptado como tal por la sociedad, lo cual quiere decir que la didáctica de las ciencias debería ser aceptada, al menos, por el profesorado de ciencias de primaria, secundaria y universitario, y por las administraciones educativas. Pero no está claro que esto sea así, entre otras razones, en primer lugar, porque el profesorado investigador universitario no implica al de los otros niveles educativos en la investigación de los problemas de enseñanza/aprendizaje que les plantea su actividad docente. Y, en segundo, porque las administraciones educativas no facilitan dicha implicación (Unidad de didáctica de las ciencias UAB, 2002; Solbes et al, 2004).

Líneas de futuro

En Solbes (2009) se realiza un intento de prospectiva, que nos sirve de punto de partida. Allí se habla del papel de las neurociencias en la educación científica. Ahora está tan de moda, que

muchas empresas y profesionales sacan al mercado productos y programas con prefijos neuro- o brain- (*braingym, sharpbrain*, etcétera), sin que estén avalados por evidencias neurocientíficas. También se han difundido en la sociedad y en los educadores muchos neuromitos, que son creencias erróneas sobre el funcionamiento del cerebro, resultado de simplificar, manipular o malinterpretar resultados neurocientíficos reales. Algunos ejemplos: solo se utiliza el 10% del cerebro; el alumnado aprende mejor cuando utiliza su estilo de aprendizaje preferido, visual, auditivo o cinestésico; se puede aprender mientras se duerme con grabaciones; solo podemos aprender lo que nos emociona; la creatividad depende fundamentalmente del hemisferio derecho; los ambientes enriquecidos (Ruiz, 2023). Pero la neurociencia está hecha por neurocientíficos en laboratorio, así que deberían ser más prudentes antes de hacer prescripciones para el aula, ya que los resultados de las neurociencias se suman o complementan la evidencia empírica de la psicología, las didácticas específicas, la pedagogía y de otras disciplinas. (Carballo & Portero, 2018).

También se hablaba en ese artículo de investigaciones en historia de la ciencia y de CTS en la educación científica. La primera ha frenado algo el empuje inicial que traía, y en la sección dedicada a la misma en la revista *Enseñanza de las ciencias* hay muchos números que quedan sin contribución alguna. Respecto a CTS ha convergido con la línea de argumentación y evolucionado hacia las CSC y el pensamiento crítico; tema relevante porque, a pesar de la influencia de la ciencia en nuestro nivel de bienestar y desarrollo, cada vez es más frecuente encontrarse con posicionamientos personales, políticos e institucionales que ponen en cuestión planteamientos validados desde la ciencia en multitud de temáticas (cambio climático, vacunación...), fomentando actitudes, opiniones y actuaciones negacionistas e irracionales (Solbes, 2019).

También se mencionaba la investigación en educación científica en los medios de comunicación. Esto ha concretado posteriormente en investigaciones sobre educación científica y publicidad (Ezquerro & Fernández-Sánchez, 2014) o el uso del cine en general y el de ciencia ficción en la enseñanza de las ciencias y en el desarrollo de CSC y del pensamiento crítico (Petit, Solbes y Torres, 2021). Con la gran difusión de las TIC en la sociedad, habrá investigaciones centradas en la utilización de recursos digitales y entornos virtuales para la educación científica, en los usos de Internet para la difusión de negacionismo, bulos, etcétera, y en el papel de la Inteligencia Artificial (IA) en la enseñanza de las ciencias.

Así mismo se hablaba en él de la enseñanza/aprendizaje por investigación. Ahora se habla de indagación, con modelización y contextualización.

Por último, la situación de cambio (o emergencia) climático está produciendo múltiples investigaciones en educación para la sostenibilidad y el desarrollo de los ODS.

Conclusiones y perspectivas

Hemos mostrado en primer lugar que en los sistemas educativos hay una gran inercia a los cambios, y prevalece una enseñanza transmisora o tradicional, que aparece como natural al profesorado por los muchos años que ha estado sometido a la misma en su escolarización previa.

A continuación, hemos mostrado tres modelos de formación del profesorado: el primero basado en los conocimientos de los contenidos (CC), el segundo en estos y los conocimientos pedagógicos (CP), superados por el modelo de Shulman, que añade a los anteriores el conocimiento didáctico del contenido (CCP). En el caso de la educación científica este se consigue con el desarrollo de la didáctica de las ciencias.

Se sigue el complejo proceso que llevó a la consolidación de la misma como disciplina establecida cumpliendo las exigencias establecidas por Toulmin: conjunto de problemas específicos, conceptuales o prácticos, existencia de una comunidad crítica, metas e ideales compartidos, metodologías aceptadas, poblaciones conceptuales en evolución vinculadas a los problemas específicos y medios de difusión.

Así, se puede contribuir a la formación de un profesorado crítico, que base su praxis profesional en saberes, en evidencias, y no en la sola experiencia particular, y que contribuya así a la alfabetización científica de la ciudadanía mediante una educación científica crítica, que permita a los ciudadanos cuestionar actitudes, opiniones y actuaciones negacionistas e irracionales que se difunden interesadamente entre el público. Por último, hemos mostrado como la didáctica de las ciencias es un programa de investigación progresivo, con muchas líneas de investigación y retos de futuro abiertos.

Contribución de los autores. Autoría única, responsable de la conceptualización del trabajo, revisión bibliográfica, escritura y edición final

Conflictos de interés. Ninguno

Financiación. Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i “Propuestas de mejora de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en educación infantil y primaria basadas en la indagación y la modelización contextualizadas” PID2022-142019OB-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER

Implicaciones éticas. No aplica

Referencias

- AAVV (1992). *Curso de Actualización científica y didáctica*, 5 vol., Ministerio de Educación y Ciencia
- Alonso, M. (1994). *La evaluación en la enseñanza de la física como instrumento de aprendizaje*. Tesis doctoral, Universitat de València
- Bunge, M. (1973). *La investigación científica*. Ariel.
- Caamaño, A. et al. (2011). *Didáctica de la física y química*. Graó.
- Cañal, P. (1990). *El aprendizaje de la nutrición vegetal como cambio conceptual*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- Carballo, A. y Portero, M. (2018). *Neurociencia y educación. Aportaciones para el aula*. Graó.
- Carrascosa, J. (1987). *Tratamiento didáctico, en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis doctoral, Universitat de València. <https://hdl.handle.net/10550/70836>
- Carrascosa, J. y Domínguez, C. (2017). Problemas que dificultan una mejor utilización de la didáctica de las ciencias en la formación del profesorado y en la enseñanza secundaria. *Revista Científica*, 30(3), 167-180. <https://doi.org/10.14483/23448350.12289>
- Dewey, J. (1945). Methods in Science Teaching. *Science Education*, 29, 119-123. <https://doi.org/10.1002/sce.3730290303>
- Driver, R. (1973). *The representations of conceptual frameworks in young adolescents science students*. PhD, University of Illinois.
- Duit, R. (2009). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE). <https://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>
- Duschl, R. (1990). *Restructuring science education*. Teacher College Press.
- Ezquerro, A. y Fernández-Sánchez, B. (2014). Análisis del contenido científico de la publicidad en la prensa escrita. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 11(3), 275-289. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2884>
- Fox, D. J. (1981). *El proceso de investigación en educación*. EUNSA.
- Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (1998). *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers.
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI Editores.
- Furió, C. y Carnicer, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 47-73. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3979>
- Gabel, D. L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. McMillan.
- Gené, A. (1986). *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 1(1), 26-33. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5408>
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la*

- educación secundaria*. Horsori.
- Guisasola, J. (1996). *Currículo de electrostática para bachillerato*. Tesis doctoral, Universidad de País Vasco.
- Harari, Y. N. (2014). *Sapiens: De animales a dioses: Una breve historia de la humanidad*. Debate.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1990). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (Coord.), Caamaño, A., Oñorbe, A., Pedrinacci, A. y Pro, A. (2003). *Enseñar Ciencias*. Graó.
- Kahneman, D. y Tversky, A. (1972). Subjective probability: A judgment of representativeness. *Cognitive Psychology*. 3(3), 430-454 [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(72\)90016-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(72)90016-3)
- Kuhn, T.S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza.
- Martín del Pozo, R. (1995). *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de los estudiantes de magisterio*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- Martínez Terrades, F. (1998). *La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimiento*. Tesis doctoral, Universitat de València.
- Martínez-Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas de física como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral, Universitat de València.
- Mellado, V. (1994). *Análisis del conocimiento didáctico del contenido, en profesores de ciencias de primaria y secundaria en formación inicial*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/73236>
- Oliva, J. M. (1994). *Influencia de las variables cognitivas en la construcción de conocimientos en mecánica: un estudio empírico y un análisis computacional*. Tesis doctoral, UNED.
- Payá, J. (1991). *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral, Universitat de València.
- Perales, F. J. y Cañal, P. (Eds.) (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Marfil.
- Petit, M.F., Solbes, J. y Torres, N. (2021). El cine de ciencia ficción para desarrollar cuestiones sociocientíficas y el pensamiento crítico. *Praxis & Saber*, 12(29), e11550. <https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n29.2021.11550>
- Porlán, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Diada.
- Porlán, R. (1991). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional (las concepciones epistemológicas de los profesores)*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/85207>
- Pro, A. de (1984). *Diseño, aplicación y evaluación de dos metodologías (Expositivo - Audiovisual y Experimental - Integrada) para la enseñanza de la física en un nivel elemental*. Universidad de Sevilla.

- <http://hdl.handle.net/11441/47887>
- Pro, A. de (2009). ¿Qué investigamos sobre la didáctica de las ciencias experimentales en nuestro contexto educativo? *Investigación en la escuela*, 69, 45-60. <https://doi.org/10.12795/IE.2009.i69.04>
- Ramírez, L. (1990). *La resolución de problemas de física y de química como investigación en la enseñanza media: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- Resnick, L.B. (1983). Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478. <https://doi.org/10.1126/science.220.4596.477>
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. European Commission. Community Research.
- Ruiz, H. (2023). *Edumitos*. International Science Teaching Foundation.
- Sanmartí, N. (1990). *Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la ESO*. Síntesis.
- Schneegans, S., Lewis, J. y T. Straza (Eds.) (2021). *Informe de Unesco sobre la ciencia: La carrera contra el reloj para un desarrollo más inteligente – Resumen ejecutivo*. Unesco.
- Serramona, J. (1980). *Investigación y estadística aplicadas a la educación*. CEAC.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Solbes, J. (1986). *La introducción de los conceptos básicos de física moderna*. Tesis doctoral, Universitat de València. <http://hdl.handle.net/10550/38080>
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II): nuevas perspectivas. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 6(2), 190-212. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i2.02
- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta contra las pseudociencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 46, 81-99. <https://doi.org/10.17227/ted.num46-10541>
- Solbes, J., Domínguez, C. y Furió, C. (2011). *Materials per a l'ensenyament i aprenentatge de la física i química*. Publicacions de la Universitat de València. <http://hdl.handle.net/10550/21429>
- Solbes, J., Fernández, J., Domínguez, C., Cantó, J. y Guisasaola, J. (2018). Influencia de la formación y la investigación didáctica del profesorado de ciencias sobre su práctica docente. *Enseñanza de las ciencias*, 36(1), 25-44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2355>
- Solbes, J., Furió, C., Gavidia, V. y Vilches, A. (2004). Algunas consideraciones sobre la incidencia de la investigación educativa en la enseñanza de las ciencias, *Investigación en la escuela*, 52, 103-110. <https://doi.org/10.12795/IE.2004.i52.08>
- Torres, N. Y. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias*. 34(2), 43-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>
- Toulmin, S. (1972). *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza.

- Traver, M. (1996). *La història de les Ciències en l'ensenyament de la física i la química*, Tesis doctoral, Universitat de València. <http://hdl.handle.net/10550/44760>
- Unidad de didáctica de las ciencias UAB (2002). Conectar la investigación y la acción: el reto de la enseñanza de las ciencias, *Alambique*, 34, 17-30.
- Viennot, L. (1976). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Thèse d'État. Université Paris 7.
- Vilches, A. (1993). *Las interacciones Ciencia, Técnica, Sociedad y la enseñanza de las ciencias físico-químicas*. Tesis doctoral, Universitat de València.
- Vygotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica.
- Welkowitz, J., Ewen, R. B. y Cohen, J. (1981). *Estadística aplicada a las ciencias de la educación*. Santillana.