



La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado

- Science Education in Context: Contributions to Teacher Training
- Educação científica em contexto: contribuições para a formação de professores

Resumen

En los últimos años, la penetrante influencia social de los medios digitales populariza metodologías, propuestas y recetas de enseñanza, que, en muchos casos, carecen de credenciales académicas para justificar su validez, o incluso, han sido refutadas ya por la comunidad científica, convirtiéndose en meros bulos educativos. Ante esta realidad actual, este artículo de investigación revisa y reflexiona sobre la formación del profesorado, general y de ciencias, proponiendo que debe basarse en resultados acreditados de la investigación, para lograr altos estándares educativos. La propuesta se articula en torno a varios elementos educativos: unos, aportados por la didáctica de la ciencia, tales como alfabetización científica y tecnológica, educación en contexto y modelo de formación del profesorado de ciencias, y otros, aportados por la investigación educativa general, tales como conocimiento profesional docente, investigación basada en pruebas, cogniciones y neurociencia educativa y pensamiento crítico. La reflexión enfatiza los temas y necesidades compartidos entre esos elementos, proponiendo el concepto de alfabetización crítica, que se desarrolla en una taxonomía de destrezas de pensamiento crítico, considerada esencial para la formación del profesorado en el espacio digital de información, común a toda la educación actual. Finalmente, se sugiere un modelo empírico y algunos rasgos generales, como la integración de conocimientos y el desarrollo de destrezas de pensamiento crítico de la formación del profesorado, para atender los requerimientos de enseñanza y aprendizaje actuales en relación con la alfabetización crítica en ciencia y tecnología.

Palabras clave

Formación del profesorado; educación; contexto; conocimiento profesional del profesorado; educación basada en evidencias; pensamiento crítico; alfabetización crítica

Abstract

In recent years, the penetrating social influence of digital media popularizes teaching methodologies, proposals and recipes, which, in many cases, lack academic credentials to justify its validity, or even, have already been refuted by the scientific community, becoming in mere educational hoaxes. Given this

Ángel Vázquez-Alonso*
María Antonia Manassero-Mas

* Universidad de las Islas Baleares, Palma de Mallorca, España
angel.vazquez@uib.es

Fecha de recepción: 29/09/2018
Fecha de aprobación: 15/05/2019

current reality, this research article reviews and reflects on the training of teachers (general and of science) proposing that it should be based on accredited research results, to achieve high educational standards. The proposal is articulated around several educational elements: some, contributed by the didactics of science, such as scientific and technological literacy, education in context and training model of science teachers, and others, contributed by general educational research, such as professional teaching knowledge, test-based research, cognitions, educational neuroscience and critical thinking. The reflection emphasizes the themes and needs shared between these elements, proposing the concept of critical literacy, which is developed in a taxonomy of critical thinking skills, considered essential for teacher training in the digital information space, common to all current education. Finally, an empirical model and some general features are suggested, such as the integration of knowledge and the development of critical thinking skills during teacher training, to meet current teaching and learning requirements in relation to critical literacy in science and technology.

Keywords

Teacher training; education; context; professional knowledge of teachers; evidence-based education; critical thinking; critical literacy

Resumo

Nos últimos anos, a penetrante influência social da mídia digital populariza metodologias, propostas e receitas de ensino, que, em muitos casos, carecem de credenciais acadêmicas para justificar sua validade, ou mesmo já foram refutadas pela comunidade científica, tornando-se em meras fraudes educacionais. Diante dessa realidade atual, este artigo de pesquisa revisa e reflete sobre a formação de professores, geral e de ciências, propondo que se baseie em resultados de pesquisa credenciados, para atingir altos padrões educacionais. A proposta articula-se em torno de vários elementos educacionais: alguns, contribuídos pela didática da ciência, como alfabetização científica e tecnológica, educação em contexto e modelo de formação de professores de ciências, e outros, aportados por pesquisas gerais em educação, tais como conhecimento profissional de ensino, pesquisa baseada em testes, cognições e neurociência educacional, e pensamento crítico. A reflexão enfatiza os temas e necessidades compartilhadas entre esses elementos, propondo o conceito de alfabetização crítica, desenvolvido em uma taxonomia de habilidades de pensamento crítico, consideradas essenciais para a formação de professores no espaço da informação digital, comum a toda a educação atual. Finalmente, sugere-se um modelo empírico e algumas características gerais, como a integração do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico da formação de professores, para atender aos requisitos atuais de ensino e aprendizagem em relação à alfabetização crítica em ciências e tecnologia .

Palavras-chave

Formação de professores; educação; contexto; conhecimento profissional de professores; educação baseada em evidências; pensamento crítico; alfabetização crítica

Introducción

Desde hace décadas, un problema recurrente en la investigación educativa es la dificultosa transferencia de los resultados de investigación hasta las comunidades de docentes en las aulas, denominada la brecha investigación-práctica. Los investigadores tienen escaso acceso al profesorado en las aulas, mientras el profesorado tiene escaso acceso e interés por leer estudios de investigación educativa.

En los últimos años, la poderosa influencia de medios digitales ha venido a llenar este vacío de comunicación entre investigadores y profesores con aludes de propaganda educativa en la red digital, pero, con frecuencia espurios. La propaganda digital populariza multitud de propuestas, recetas y metodologías de enseñanza que, en el mejor de los casos, carecen de credenciales académicas para justificar su validez, o incluso en el peor, han sido refutadas ya por la comunidad científica, convirtiéndose en meros bulos educativos (*fake news*) por una propaganda para el beneficio económico o el halago académico. Esta corrosiva propaganda educativa está diseñada con mucho cuidado para ocultar la ausencia de fundamentos científicos, elaborar una imagen de modernidad, amplificar su difusión acrítica y festiva en las redes y crear un ficticio apoyo social mayoritario el cual actúa como paraguas que inculca ideas equívocas corruptoras de las prácticas y mentalidades de muchos profesores.

Ante esta realidad, se pretende argumentar y razonar que la formación del profesorado (FdP) debe basarse en resultados acreditados de la investigación educativa, que sirva para lograr altos estándares de calidad y validez (transversal, transcultural y transnacional) y fundamentar prácticas y mentalidades docentes que, desde las evidencias y pruebas, busquen también los instrumentos docentes

más eficaces y productivos para aprender. Esta formación debe innovarse con la disseminación de investigación al profesorado y, de modo paralelo, que el profesorado tenga un pensamiento crítico claro sobre metodologías de investigación, que les permitan tener criterios sólidos para discernir en educación cómo sabemos lo que sabemos, por qué algunas cosas funcionan mejor y distinguir las pruebas de la propaganda. La FdP debería centrarse en estos principios metodológicos, y para el profesorado de ciencias con mayor razón, pues también tiene que enseñar a sus estudiantes los aspectos de la metodología y pensamiento científicos, como contenidos específicos del currículo.

Para los escépticos ante esta propuesta, planteamos una pregunta para la reflexión: ¿no estaríamos horrorizados, como pacientes, de que nuestro médico no utilizase las pruebas existentes sobre lo que funciona mejor para nuestra salud? El mismo patrón debería seguirse para tomar las mejores decisiones docentes sobre la enseñanza y en el aprendizaje, pero la realidad muestra que esto no es así. En esta reflexión seguiremos varias líneas claves para la FdP: el marco de la educación en ciencias en contexto, el conocimiento didáctico del contenido, las variables de la enseñanza con impacto más significativo sobre el aprendizaje, algunas aportaciones recientes de la neurociencia y la concreción para la educación de la competencia y pensamiento críticos.

La educación científica en contexto

La educación en contexto (también denominada aprendizaje situado) tiene larga tradición en la investigación didáctica en ciencias. Quizá la orientación más universalizada de esta tradición nace de reconocer la interacción entre ciencia, tecnología y sociedad, también denominada orientación o movimiento CTS. Aunque desde la perspectiva educativa la

propuesta innovadora CTS trata de promover en los estudiantes la comprensión del funcionamiento contextual de ciencia y tecnología en la sociedad, como un instrumento de aprendizaje situado en la ciencia, los enfoques y nombres de esta orientación han variado a lo largo del tiempo; antes, era más frecuente encontrar la denominación CTS, pero hoy podemos encontrar en la bibliografía también otras denominaciones, tales como naturaleza de ciencia y tecnología (NdCyT), temas socio-científicos o cuestiones socio-técnicas con impacto social. El objetivo de la innovación de la educación contextualizada es la mejora de la enseñanza de la ciencia, relacionando conocimientos factuales, procedimentales y epistémicos, mediante la transformación de propuestas de investigación didáctica en instrumentos útiles para los profesores en el aula (Vesterinen, Manassero y Vázquez, 2014).

Las mejoras que aporta la educación en contexto al aprendizaje situado de los estudiantes están contenidas en las razones que la literatura ha aportado para justificar este tipo de enseñanza (Bennássar, Vázquez, Manassero y García-Carmona, 2010):

- Razón alfabetizadora. La educación en contexto es educación de calidad (ciencia total), inclusiva y relevante (alfabetización científica y tecnológica para todos).
- Razón utilitaria. Aporta una comprensión básica de la ciencia, y manejar objetos y procesos tecnológicos en la vida cotidiana (funcionalidad para la vida personal).
- Razón democrática. Aporta conocimientos para analizar y tomar decisiones bien informadas en cuestiones tecno-científicas con interés social (funcionalidad para la vida social y la participación ciudadana).
- Razón cultural. Aporta conocimientos para apreciar el valor cultural de la ciencia (y la tecnología) como elementos culturales importantes (funcionalidad para vivir en sociedades actuales impregnadas de ciencia y tecnología).
- Razón axiológica. Aporta comprensión de las normas, los compromisos éticos y valores de la comunidad científica (funcionalidad para apreciar cómo conocemos).
- Razón didáctica. Facilita el aprendizaje de los contenidos científicos (quizá solo cierta si se cumple la siguiente "sentido").
- Razón de sentido (coherencia). Aporta principios epistémicos (conocimiento basado en pruebas, en razonamientos válidos, etc.) que dan sentido global a la educación científica; pero exigen que toda la educación (profesor, materiales, metodologías, contenidos y evaluación) deba ser coherente con ellos.

Un rasgo propio de la educación científica en contexto es la enseñanza de contenidos acerca de la ciencia (cómo funciona la ciencia, junto a la tecnología),

metaconocimientos epistémicos que son difíciles de enseñar. La investigación didáctica en esta área se aplicó a identificar los métodos más eficaces para enseñar estos contenidos, y el metaanálisis de Deng, Chen, Tsai y Chai (2011) sintetiza decenas de estudios en dos factores clave:

- el carácter explícito (directo) de la enseñanza (tratamiento intencional y planificado).
- la realización por parte de los estudiantes de actividades de autorreflexión (metacognitivas).

La importancia de estos dos factores reside en que otras investigaciones educativas coinciden también en apuntar esos mismos factores, en especial el primero. El metaanálisis de Stockard, Wood, Coughlin y Khoury (2018) demuestra que la instrucción directa tiene un impacto significativo y duradero en el aprendizaje, en particular para estudiantes desaventajados, con independencia de otros factores y la materia. La instrucción directa no es lección magistral (el estudiante escucha pasivo), sino que enfatiza una preparación minuciosa de las lecciones (objetivos, materiales), una definición clara de las tareas (presentar el nuevo material, guiar la práctica, evaluar y suministrar realimentación) y el progreso monitorizado en pequeños pasos (práctica continua, independiente, y con revisiones periódicas).

La formación del profesorado (FdP) debería también satisfacer estas dos premisas, que son muy significativas): conciencia de qué se enseña (directa) y actividad práctica (reflexiva, pensar) del alumno.

En una comunicación presentada al III SIEC (2015) Ian Abrahams se preguntaba:

¿Más trabajo práctico motiva a los estudiantes? Él mismo respondía: NO. Razón: la motivación del trabajo práctico es puramente

coyuntural, solo dura en la experiencia agradable de hacer prácticas... Este ejemplo puede ilustrar la situación contra-intuitiva que el profesorado/investigador vive en la enseñanza a la hora de decidir/seleccionar los métodos/variables de investigación con más impacto en el aprendizaje.

Pasando de la anécdota a la categoría, el caso es que la anécdota concreta anterior sobre la falta de significado exacto de la motivación se puede extender a las variables y metodologías de enseñanza de moda hoy entre el profesorado (tales como las metodologías de aprendizaje basado en problemas, resolución de problemas, proyectos, investigación, clase invertida, etc.). La mayoría son variantes de los enfoques abiertos de aprendizaje por descubrimiento (el estudiante construye el aprendizaje; la guía del profesor es mínima), para los cuales la investigación asigna impactos sobre el aprendizaje poco significativos, contra-intuitivos y paradójicos, comparados con su gran popularidad entre los docentes.

En síntesis, la instrucción directa (explícita y planificada) tiene una mediocre imagen docente, pero muchas pruebas empíricas a favor de su impacto significativo en los aprendizajes (ignoradas, por el sesgo de no buscar evidencias), mientras las metodologías de descubrimiento (guía mínima) tienen una buena imagen docente, pero pocas pruebas favorables (Carrier, 2017).

El conocimiento del profesorado

La enseñanza es una actividad profesional que trasforma contenidos científicos de diverso tipo (lingüísticos, históricos, científicos, matemáticos, etc.) en contenidos de enseñanza susceptibles de ser aprendidos por los estudiantes (Chevallard, 1985). Para realizar esta trasposición de contenidos, el profesorado pone en juego un conocimiento profesional

que está determinado e influido, a la vez, por rasgos personales y por el contexto. Por lo general, este conocimiento es integrado y tácito (implícito), de modo que los profesores tienen dificultades para expresarlo y analizarlo con claridad; además, cambia con el tiempo, dando lugar a una evolución que conforma el desarrollo profesional del docente, que está dirigido por las creencias personales.

Hace varias décadas que el constructo dominante para describir el conocimiento profesional del docente es el “conocimiento didáctico/pedagógico del contenido” (CDC o PCK, su sigla en inglés), propuesto y definido por Shulman (1986, p. 8):

“La amalgama especial de contenidos disciplinares y pedagogía, que es el reino único de los profesores y su propia forma especial de comprensión profesional”

Recuperaremos más adelante el concepto de amalgama, que usa esta definición para describir la integración entre conocimientos (pedagógicos y científicos), que permite transformar el contenido científico en contenido de la enseñanza, de modo que sea accesible para los estudiantes y les brinde oportunidades de aprendizaje. El CDC implica un cambio considerable en la comprensión de la enseñanza por los profesores, pasando de estar centrada en la disciplina (conocimientos y creencias), a integrar conocimientos que contribuyen a crear nuevas formas de organización y división educativas (actividades, emociones, metáforas, ejercicios, conductas, ejemplos y demostraciones) que permitan a los estudiantes a superar sus dificultades para aprender.

La literatura ofrece una variedad de modelos diferentes de CDC, y aunque todos poseen grandes coincidencias, sus diferencias permiten intuir que el CDC es un constructo complejo (Garritz, Lorenzo y Daza, 2014).

Según Magnusson, Krajcik y Borko (1999), el CDC es la comprensión del profesor sobre cómo ayudar a los estudiantes a entender una disciplina, e incluiría conocimientos y creencias (personales y epistemológicas) de los problemas, temas, organización, representación y adaptación de la disciplina a los diversos intereses y capacidades de los aprendices y su presentación como enseñanza.

El modelo del CDC elaborado por Vázquez y Manassero (2015) es más sencillo y resalta la idea original de Shulman (1986) sobre la amalgama de distintos conocimientos. El CDC se representa en el centro de un triángulo (Véase figura 1), como fusión de los conceptos representados en los tres vértices, a saber: conocimientos disciplinares (sustancia y sintaxis), conocimientos pedagógicos (instrucción, gestión, objetivos, currículo, evaluación, aprendizaje) y conocimiento de contextos educativos (estudiantes, escuelas, sociedad).



Figura 1. El conocimiento profesional docente centrado en el concepto del conocimiento didáctico del contenido (CDC) como integración de distintos saberes.

Fuente: elaboración propia

Los profesores amplifican o filtran el conocimiento que consideran importante para las decisiones prácticas, y, además, los diferentes conocimientos median las acciones en clase del docente. Gess-Newsome (2015) expresó la naturaleza del CDC como una base de conocimiento utilizada para planificar y para impartir instrucción específica de un tema; y como una habilidad para enseñar.

Sin embargo, aún hay una falta de evidencia acerca de la relación entre el conocimiento de los docentes y el rendimiento del estudiante para el aprendizaje de las matemáticas y las ciencias (Abell, 2008). Como veremos en el

aprendizaje visible (más adelante), esta relación dista mucho de ser significativa.

Las tendencias actuales en la concreción del CDC integran también este constructo con el concepto de desarrollo profesional, dando lugar al modelo del conocimiento profesional (véase figura 2). Este modelo subraya que el conocimiento de los contenidos (disciplina), el conocimiento pedagógico y el CDC son conocimientos diferentes, pero relacionados, siendo los dos primeros condición necesaria para el tercero, que es el activador de la práctica docente, influenciada por las relaciones entre las creencias y orientaciones de los profesores.

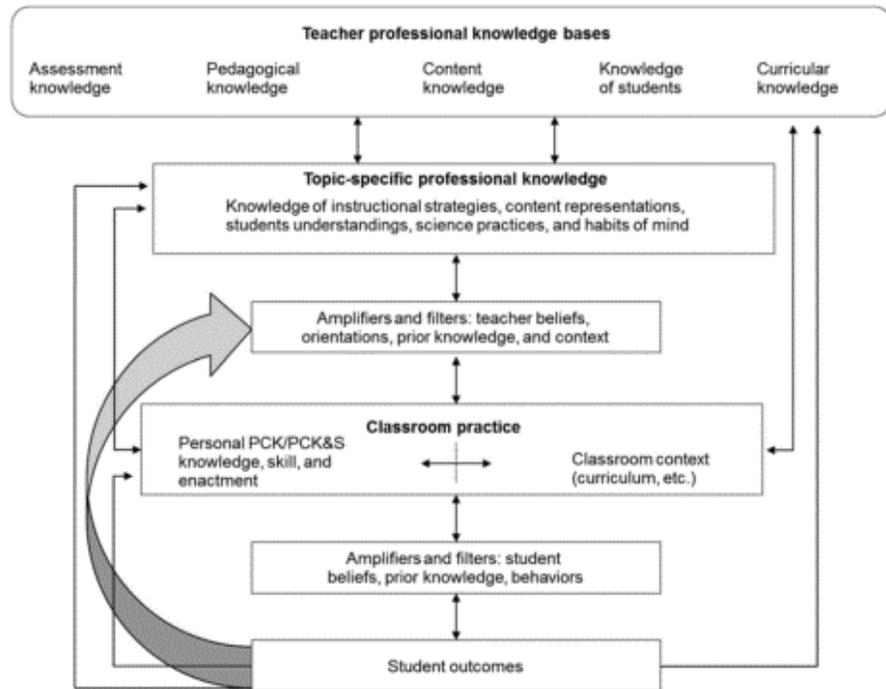


Figura 2. Modelo de consenso del conocimiento profesional del docente según Gess-Newsome (2015).

Fuente: traducido y adaptado de Gess-Newsome, 2015.

Para abordar la variación en las conceptualizaciones de CDC, un modelo de conocimiento profesional docente ha sido consensuado en una cumbre de investigadores internacionales (Berry, Friedrichsen y Loughran, 2015). El modelo combina las configuraciones de CDC anteriores en una estructura de diagrama de flujo de varias capas (Véase figura 2). El conocimiento profesional docente básico es el punto de partida, y se desarrolla en flujo hacia abajo, hasta los resultados de los estudiantes (Gess-Newsome, 2015). El conocimiento profesional específico del tema es la capa siguiente, equivalente a la definición original de CDC (Shulman, 1986), aunque el modelo lo considera aún conocimiento base, a disposición de los docentes, para integrar el CDC. El modelo de consenso coloca el CDC más abajo en el diagrama, dentro de la práctica del aula, como amalgama de los anteriores, con dos versiones, personal y habilidad. El CDC personal (PCK) es conocimiento, razonamiento y planificación para enseñar un tema específico en un contexto concreto (método, objetivos, estudiantes), mientras el CDC habilidad (PCKys, figura 2) es el acto de enseñar el tema específico en el contexto concreto, en un proceso, a la vez, integrador y transformador (amalgama). El proceso hasta llegar a la práctica de aula y resultados de los estudiantes, desde el conocimiento, está influido por amplificadores y filtros (que no son propiamente CDC):

- Creencias, orientaciones, conocimiento previo y contexto del docente
- Creencias, conocimiento previo y comportamientos de los estudiantes.

Para terminar, la inclusión de los resultados de los estudiantes se justifica por la expectativa de que el CDC se considera un requisito para lograr una enseñanza y aprendizaje efectivos. Todas las capas de conocimiento se interconectan entre sí, desde el conocimiento profesional del docente básico hasta el CDC en la práctica de aula, pasando por el conocimiento específico.

El modelo proporciona una guía para investigar cómo interactúan y se relacionan los componentes del conocimiento profesional docente en el desarrollo del CDC que actúa en la enseñanza, para informar mejoras en la formación y profesionalización de docentes, en lugar de continuar el eterno debate sobre los componentes del CDC.

Una consecuencia muy práctica de la línea de investigación sobre CDC es la distinción entre el conocimiento *del* docente (individual) y el conocimiento *para* el docente (formación). La discriminación entre los tres tipos de conocimiento mencionados implica que la formación *para* el docente debe incluir los tres sin excepción, y, además, tener en cuenta la formación para el desarrollo profesional desde la actividad diaria.

La alfabetización científica y tecnológica situada en contexto, en lo que se refiere a conocer qué es y cómo funciona la ciencia, junto a la tecnología (naturaleza de la ciencia), tiene una dimensión natural de integración con otras disciplinas (las más importantes historia, filosofía y sociología de la ciencia). En consecuencia, la FdP debe contribuir al conocimiento profesional del docente de ciencias integrando también esas disciplinas con los saberes anteriores (ciencia, tecnología, didáctica, contextos, etc.).

Además de las citadas, otras razones adicionales para incluir la integración como principio de la FdP surgen de la consideración de las demandas educativas transversales, que trascienden las disciplinas, tales como atender

la equidad y la diversidad, crear personas preparadas para ser ciudadanos y convivir, y fortalecer destrezas de aprender toda la vida y para el empleo (pensamiento crítico, comunicación, trabajo en equipo, decisiones éticas y aplicación de conocimientos).

En suma, el concepto de integración de disciplinas es hoy una necesidad porque es una realidad ineludible para la FdP de ciencias desde la educación en contexto, CDC y demandas transversales, aunque el grado de integración más adecuado a cada situación de enseñanza es adaptable. El concepto de integración tiene tres grados; la multidisciplinariedad es el grado de integración más básico (varias disciplinas aportan ideas, conservando cada una su autonomía); en la interdisciplinariedad, las disciplinas interaccionan para producir algo nuevo; la transdisciplinariedad integra disciplinas de modo profundo para producir una nueva (National Academies, 2018). Algunos modelos de integrar contenidos CTS en el currículo de ciencias evocan estos grados (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001).

La educación basada en evidencias (pruebas)

Afirmar que la educación, en general, y las prácticas docentes, en particular, deberían estar basadas en las mejores pruebas disponibles no debería ser una afirmación novedosa. Sin embargo, si se profundiza en su cumplimiento factual, se observa que la adherencia de la práctica docente real a esta declaración está lejos del estándar marcado por su contenido, es decir, se puede creer en ella, pero no se aplica en la práctica docente. Por ello, su mera consideración podría tener connotaciones revolucionarias.

Diversas razones hacen que los docentes no acudan a fuentes autorizadas de investigación para recoger las pruebas que fundamenten

su práctica educativa. Por brevedad, presentaremos estas causas en dos grupos: un primer grupo de creencias previas acerca de la enseñanza y otro segundo grupo de creencias pseudocientíficas o míticas, que no son coherentes con el conocimiento científico actual. Todas ellas deberían ser afrontadas como elementos claves de la innovación de la FdP (Richardson, 1996).

Entre el grupo de creencias previas acerca de la enseñanza, muy extendidas entre los docentes y la mayoría refutada por la investigación, pueden citarse las siguientes:

- La secular tendencia inercial de los profesores a reproducir los valores, esquemas y métodos tradicionales que han observado en sus propios profesores (Zeichner y Tabachnick, 1981).
- La preferencia de los docentes por educar en la educación obligatoria con un enfoque para formar científicos (serán solo una minoría), en lugar de educar para formar ciudadanos alfabetizados, consumidores de conocimiento (un enfoque más útil para la mayoría). La tensión reside en que ambos polos son necesarios en la educación escolar. El defecto básico de la educación para científicos es que solo es útil para una minoría de estudiantes, que continuarán la formación científica en el futuro (Aikenhead, 2006; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2005).
- La creencia de que los mejores currículos escolares deben cubrir muchos conceptos. Aunque la extensión excesiva de los currículos abruma y desilusiona a profesores y estudiantes (debido al fracaso de la mayoría), las preferencias por la extensión están arraigadas en los profesores. Sin embargo, el actual progreso exponencial de la ciencia hace insensato este mito, de modo que la FdP debe cambiar las creencias docentes sobre extensión y memorización por relevancia y comprensión (Bryan, 2012; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2005).
- La creencia de que la mejor metodología de enseñanza desarrolla actividades de transmisión, memorización y adquisición de algoritmos repetibles por los estudiantes. Esta orientación de la enseñanza garantiza algunos resultados (superar exámenes o pruebas) pero no permite comprender la ciencia (investigación, implicación, reflexión, argumentación, modelización, discusión, etc.). La FdP debe centrarse en seleccionar actividades de enseñanza explícita y directa, atendiendo a la investigación y la reflexión sobre temas interesantes (Rocard et al., 2007).
- Algunas creencias neurocientíficas como las siguientes (Ferrero, Garaizar y Vadillo, 2016):
 - los ambientes ricos en estímulos mejoran el cerebro de los preescolares;
 - las personas aprenden mejor cuando reciben la información en su estilo de aprendizaje preferido, y

- los ejercicios que promueven la coordinación de habilidades perceptivo-motoras mejoran la lecto-escritura.

Algunas de las principales creencias míticas de los docentes relacionadas en particular con la enseñanza de la ciencia son las siguientes:

- El mito de la visión epistemológica de ciencia neutral (hechos objetivos, productos acabados, libres de valores y subjetividad). Como consecuencia de esta visión, la didáctica compatible se reduce a memorizar contenidos (porque son indiscutibles, objetivos y desprovistos de los valores que los produjeron). La sociología y la historia de la ciencia falsan este mito: los procesos y contextos de producción de los hechos científicos están cargados de teorías, culturas, controversias, valores personales, morales y éticos, contextos, intereses, reconocimientos, vinculaciones industriales, beneficios, etc. (Allchin, 1998; Echeverría, 2002).
- Otro mito se refiere a la escasa o nula relación entre ciencia y tecnología o la ingenua visión de tecnología como ciencia aplicada, que la educación tradicional y los libros de texto han ensalzado. Por el contrario, en la actualidad la imbricación entre ambas es tan grande que los especialistas (Echeverría, 2010) hablan de un ente híbrido (tecnociencia) que hace difícil distinguirlas. La consecuencia para la enseñanza es incluir esta integración entre CyT como rasgo didáctico innovador para una educación científica auténtica (no mutilada) que NGSS (2013) basan en el concepto de práctica (científica y tecnológica).
- Otro extendido mito epistemológico es la creencia en el método científico único, cuyo seguimiento y aplicación conduce a resultados seguros. El epitome de este mito es el esquema de etapas, ubicado al comienzo de los libros de texto, como receta del método científico. La filosofía y sociología de la ciencia han falsado este mito: las prácticas de los científicos son impredecibles, iterativas, idiosincrásicas y no siguen estereotipos; al contrario, se reconoce la diversidad y provisionalidad de los procedimientos que validan el conocimiento (Chalmers, 2000; Gauch, 2012)
- Otro mito sostiene que la educación científica enseña a los estudiantes a pensar, solo porque los libros de texto y los docentes manejan razonamientos. Este mito se basa en la atribución de racionalidad absoluta a la ciencia y, por tanto, concluye que los contenidos científicos permiten a los estudiantes aprender a pensar. Piaget ya demostró hace más de 50 años que la mayoría de los estudiantes no alcanzan el estadio de operaciones formales; en el mismo sentido, los estudios del desarrollo epistemológico (Kuhn, 2012) demuestran que una mayoría no supera el pensamiento relativista. Por tanto, la capacidad de la educación científica para desarrollar el pensamiento propio de los científicos es cuestionada; se requiere una enseñanza explícita y directa de esas destrezas (Zoller y Nahum, 2012).
- El profesorado de ciencias cree que la ciencia es interesante por sí misma, de modo que no se innova para interesar más a los estudiantes, enseñando lo mismo, y mediante la misma didáctica

transmisora para todos. Sin embargo, los estudiantes necesitan estudiar temas relevantes, interesantes y funcionales para ellos y sus vidas, y cuando esto no ocurre, el desinterés y la desmotivación los expulsan (Osborne, Simon y Collins, 2003). El profesorado debería estar formado para realizar una enseñanza interesante e inclusiva para todos.

Frente a esta estructura artificial de mitos y creencias previas sostenidos por el profesorado, que según el modelo del conocimiento profesional (Véase figura 2) condicionan tanto el desarrollo del conocimiento profesional docente como la práctica docente, la investigación se acepta hoy como el instrumento más eficaz para probar el valor del conocimiento y prácticas educativas. Sin embargo, la proliferación de investigaciones educativas ha conducido a una inflación en la cantidad de información generada sobre las prácticas educativas eficaces. Es paradójico que el alud de información y evidencias producidos contribuyan a angustiarnos y sentirnos impotentes para discriminar la eficacia de las intervenciones; además, la abrumadora mayoría de los estudios obtienen resultados positivos, lo cual contribuye más aún a la confusión. Por ello, la relevancia de estos resultados para el profesorado y la transferencia práctica en las aulas es cada vez menor (Fernández-Enguita, 2014).

Para superar este inconveniente, la investigación produce estudios de síntesis o metaanálisis que ayudan a poner orden en tanta información. Por ejemplo, la red de profesores basados en pruebas (EBTN, 2012) identificó más de 900 metaanálisis realizados sobre logros educativos y Carpenter (2000) propuso 361 buenas ideas educativas como síntesis de la investigación realizada en la década anterior.

El metaanálisis realizado por John Hattie (2013) es especialmente relevante porque sintetiza más de 800 metaanálisis, que incluyen más de 50.000 investigaciones, las cuales miden los efectos sobre el logro educativo de 150.000 variables educativas y unos setecientos millones de alumnos.

Los resultados de las variables educativas relacionadas con los docentes que tienen un efecto de excelencia sobre el rendimiento de los estudiantes son (entre otras), evitar el etiquetado de los estudiantes, el desarrollo profesional, las prácticas espaciadas, las relaciones estudiante-profesor, la retroalimentación del profesor al estudiante, la claridad del profesor y la evaluación formativa. Entre las variables con impacto casi nulo sobre el aprendizaje se encuentran el conocimiento de la materia por el profesor y el aprendizaje basado en problemas, y con impacto bajo, la enseñanza basada en la investigación y la enseñanza inductiva.

Hattie elabora una teoría de los rasgos de una enseñanza y aprendizaje de éxito, que se sintetizan en 43 atributos publicados en un nuevo libro especial para los profesores (*Visible Learning for Teachers*, 2012), que, además, constituye toda una guía para la formación de profesores.

El conjunto de retos planteados por los mitos y creencias docentes y el olvido de la investigación para la FdP de ciencias es contundente. Muchos de ellos tienen sus raíces en ideas epistémicas ingenuas o alineadas con el positivismo, que sugieren la necesidad de combatirlas con una adecuada formación epistemológica, la cual debe ser equidistante tanto del relativismo como del absolutismo, y, además, debe servir para capacitar al profesorado para enseñar los temas curriculares sobre qué es y cómo funciona la ciencia. La cuestión epistémica básica, ¿Cómo sabemos lo que sabemos?, requiere formación profunda y debe contribuir a eliminar creencias y mitos inadecuados, seleccionar investigaciones relevantes, basadas en evidencia válida frente a las que carecen de ella, y, en general, discriminar la información relevante de la que no lo es. Este es el problema epistémico clave en las hiper-informadas sociedades actuales, tan saturadas de información, para que los profesores puedan seleccionar su enseñanza más eficaz y los estudiantes puedan aprender a seleccionar y distinguir la información adecuada de la que no lo es, la verdad de los bulos. La idea clave es comprender que el conocimiento evoluciona y cambia, y reside en una multiplicidad de fuentes, de modo que como propuesta se desarrolla el concepto de alfabetización crítica para todos (Commission on Fake News, 2018).

Cognición, neurociencia, pensamiento y alfabetización crítica

El desarrollo de las neurociencias en los últimos años ha contribuido a avanzar mucho el conocimiento de diversos procesos neurológicos que tienen una importancia capital para el aprendizaje humano, y, en consecuencia, para una planificación de la enseñanza coherente con esos hallazgos. El seguimiento de las operaciones de procesamiento de la información aporta conocimientos sobre cómo aprendemos, pensamos y resolvemos problemas, sobre la arquitectura cognitiva humana y el papel de la memoria de trabajo (largo plazo) en el aprendizaje, entre otros muchos procesos.

Hoy en día existe un consenso básico acerca de la existencia de dos vías fundamentales a través de las cuales los humanos procesamos la información, que después se transforma en aprendizaje. Según el premio Nobel Daniel Kahneman (2012), la mente procede a través de dos modos de pensamiento básicos, paralelos, superpuestos e interactivos, que denomina sistema 1 (rápido) y sistema 2 (lento), y que otros autores denominan vía periférica o rápida, y vía central o profunda (Véase tabla 1). Desde el punto de vista neurológico, el rasgo más importante es que la vía rápida no utiliza la memoria de trabajo (largo plazo), mientras la vía central recurre a la memoria de trabajo.

Tabla 1. Las dos vías de procesamiento de la información.

Sistema 1 (vía rápida, periférica)	Sistema 2 (vía lenta, central)
Razonamiento inconsciente	Razonamiento consciente
Juicios basados en intuición	Juicios basados en el examen crítico
Procesa información rápidamente	Procesa información lentamente
Razonamiento heurístico	Razonamiento lógico
Gran capacidad	Pequeña capacidad
Prominente en animales y humanos	Prominente solo en humanos
Sin relación con la memoria de trabajo	Relacionado con la memoria de trabajo
Funciona sin esfuerzo y automáticamente	Funciona con esfuerzo y control
Pensamiento involuntario	Pensamiento intencional
Influenciado por experiencias, emociones y recuerdos	Influenciado por hechos, lógica y evidencias
Puede ser modificado por el Sistema 2	Se utiliza cuando el sistema 1 no logra formar una conclusión lógica / aceptable
Prominente desde los orígenes humanos	Desarrollado con el aprendizaje y el tiempo
Incluye el reconocimiento, percepción, orientación, etc.	Incluye observancia de reglas, comparaciones, ponderación de opciones, etc.

Fuente: elaboración propia.

La consecuencia para la enseñanza y el aprendizaje de estas dos formas de procesamiento es la potencial (in)compatibilidad entre vías y conocimientos y aprendizaje. Se afirma que solo cuando hay alteraciones en la memoria de trabajo se puede hablar de aprendizaje (si nada ha cambiado en ella, nada se ha aprendido). Así, los aprendizajes por la vía rápida son fáciles, ya que no requieren conocimientos previos, pero suelen ser menos eficaces, por lo que tardan más tiempo en afianzarse; los aprendizajes por la vía lenta son más difíciles, pero son más eficaces porque implican cambios en la memoria de trabajo. Por ejemplo, el aprendizaje del habla en los humanos no requiere conocimientos previos y se realiza de forma espontánea en los primeros meses de vida, por imitación repetida. En cambio, el contenido académico de los currículos escolares es en su mayoría de conocimiento racional, artificial y ausente en la vida ordinaria, y por ello requiere una enseñanza que facilite la acumulación de información en la memoria a largo plazo y su procesamiento reiterado, objetivo central de la educación para crear aprendizajes (Sweller, Kirschner y Clark, 2007).

Sin embargo, el procesamiento lento de información nueva también tiene límites, pues la memoria de trabajo no puede procesar más de unos pocos elementos de información y no puede mantenerlos en memoria más de unos pocos segundos, si no se recuperan o repasan; más allá de estos límites, la memoria de trabajo deja de funcionar de forma eficaz (no aprende). Por ello, se ha creado la teoría de la demanda cognitiva para analizar las exigencias en las tareas de aprendizaje, de modo que la demanda no colapse la memoria e impida el aprendizaje. En sentido positivo, las limitaciones de la memoria de trabajo, que se aplican a la información nueva, desaparecen cuando se trata de información familiar almacenada en la memoria a largo plazo (Leach y Scott, 2002).

De lo anterior se deduce que la enseñanza explícita (directa) es la mejor para aprender, porque siempre altera la memoria a largo plazo (una condición para producir aprendizaje), mientras los enfoques con guía mínima (constructivistas, aprendizaje autónomo) no son tan eficaces porque no hacen trabajar la memoria a largo plazo. El escaso impacto significativo del aprendizaje por descubrimiento (o basado en proyectos, investigación, problemas, etc.), donde el propio alumno debe construir su aprendizaje, con mínimos conocimientos previos (el alumno debe buscar la información) y poca guía explícita del profesor, se justifica porque el aprendizaje profundo siempre requiere conocimientos de base para procesar en la memoria de trabajo, cosa que no ocurre en los anteriores ejemplos (Stockard et al., 2018).

Otra conclusión importante es que la evaluación del aprendizaje mediante exámenes (a pesar de crear estrés y ansiedad) es fuente de aprendizajes más flexibles y duraderos, porque responder al examen implica recuperar y manejar información de la memoria, lo cual propicia un mejor recuerdo posterior de lo recuperado y favorece el aprendizaje. Por ello, la evidencia demuestra que la evaluación es una herramienta muy valiosa para favorecer el aprendizaje a largo plazo (Adesope, Trevisan y Sundararajan, 2017).

La FdP de ciencias hoy debe enseñar para la alfabetización científica aplicada, donde se incluye afrontar contenidos acerca de la ciencia (cómo funciona la ciencia junto a la tecnología) y ofrecer respuestas a los retos de la sostenibilidad. Ante la actual amenaza planetaria a la verdad, la cultura científica encierra un tesoro de verdades, sobre el mundo natural y artificial (modelos, teorías y leyes) y sobre los procesos para validar conocimiento (o eliminar falsedades), que no llega al público, tales como el conjunto de destrezas de pensamiento científico

(crítico), el escepticismo comunitariamente organizado, el sistema de evaluación por pares de las publicaciones, y el profundo escrutinio de las evidencias y pruebas empíricas y de los métodos aplicados para lograrlas. Estos aprendizajes epistémicos son complejos (metaconocimientos), porque van más allá de una pura memorización de conocimientos declarativos / procedimentales (por ejemplo, la ciencia es X) y requieren procesos críticos de reflexión, argumentación y convicción (estrategias de pensamiento), que constituyen cogniciones de alto nivel (la ciencia es X, pero también es Y... y en situaciones podría ser Z, etc.).

Estos conocimientos y destrezas son hoy de carácter necesario, en los escenarios de sociedades digitales en red, donde se mezclan verdades y falsedades; enseñar a los alumnos competencias críticas que les permitan desenvolverse en contextos caracterizados por la saturación de informaciones, conocimientos validados y burdos bulos, se convierte en un objetivo educativo prioritario. El informe de una comisión del parlamento británico muestra que solo 2% de los jóvenes ingleses tienen desarrollada la competencia de alfabetización crítica y más de la mitad de los profesores ingleses encuestados consideran que el actual currículo inglés no permite desarrollar esta competencia en los estudiantes, además, que el conjunto de destrezas que, según ellos, deberían componer la alfabetización crítica se identifican con la taxonomía del pensamiento crítico de la tabla 2 (Commission on Fake News, 2018).

Por otro lado, la educación científica en contexto (situada) subraya la importancia y el carácter transversal de los procesos y se plantea enseñar a pensar para validar conocimientos (objetivo epistémico). Estos aprendizajes de destrezas de pensamiento implican procesamiento de nueva información y actividad en la memoria de trabajo.

La investigación empírica cualitativa de las destrezas de alto nivel que conforman el pensamiento crítico (psicología) y las destrezas de pensamiento desarrolladas de forma usual en las actividades de investigación científica (pensamiento científico) permite concluir la gran similitud entre ambos constructos. Con base en esta semejanza, se ha desarrollado de modo empírico una taxonomía de síntesis de destrezas del pensamiento crítico (científico) que ofrece un marco teórico aplicable como guía para que profesorado y estudiantes puedan afrontar esta necesidad de educar el pensamiento crítico (Vázquez y Manassero, 2018).

Tabla 2. Taxonomía de síntesis de destrezas de alto nivel del pensamiento crítico

1.	RAZONAMIENTO (justificar conclusiones)
1.1.	Lógico (deductivo)
1.2.	Empírico (explicar, interpretar con datos, información, pruebas)
1.2.1.	Inductivo (predicciones, implicaciones, conclusiones)
1.2.2.	Argumentación (pruebas, justificaciones, conclusiones)
1.2.3.	Estadístico (probabilístico)
1.3.	Falacias y errores del razonamiento
2.	CREATIVIDAD (generar ideas, conclusiones)
2.1.	Observación (comparar, clasificar)
2.2.	Análisis (partes-todo; analogías, modelos)
2.3.	Plantear buenas preguntas
3.	PROCESOS COMPLEJOS
3.1.	Toma de decisiones
3.2.	Resolución de problemas
4.	EVALUACIÓN Y JUICIO
4.1.	Razonamientos
4.2.	Acciones (soluciones, decisiones)
4.3.	Credibilidad de fuentes
4.4.	Supuestos
4.5.	Estándares intelectuales (Claridad, Precisión, Relevancia, entre otros)
4.6.	Comunicación (clarificación de significados)
4.7.	Metacognición
4.7.1.	Autorregulación y autorreflexión
4.7.2.	Actitudes y afectos (disposiciones)

Fuente: elaboración propia.

La taxonomía estructura las destrezas de pensamiento en cuatro dimensiones: razonamiento, creatividad, procesos complejos y evaluación y juicio; y dentro de cada una se encuadran distintas categorías; por ejemplo, dentro del razonamiento se ubican el razonamiento lógico, los razonamientos empíricos y las falacias. A su vez, cada una de las categorías puede dividirse en otras subcategorías (el caso de los razonamientos empíricos), o bien desplegar las destrezas más representativas en cada categoría.

En suma, las destrezas de pensamiento (creatividad, espíritu crítico, toma de decisiones, discusiones, argumentación, etc.) son necesarias para los aprendizajes escolares, en especial para la educación científica en contexto, y, a su vez, la educación científica puede ayudar al desarrollo del pensamiento. Es indudable que, enseñar a pensar requeriría una insistencia y progresión en la enseñanza de estas destrezas desde la escuela elemental hasta la universidad, adaptada a los estadios evolutivos.

Un modelo explícito y reflexivo de formación del profesorado

Los temas planteados en los párrafos anteriores se consideran claves e innovadores para la alfabetización científica en contexto, y, por ello, se plantea la FdP de ciencias sobre con base en estos temas. La investigación didáctica de esta línea ha permitido elaborar un modelo de FdP explícito y reflexivo para profesores de secundaria en formación inicial que sigue las líneas de procesamiento de información por la vía lenta y desarrollo del pensamiento (ver etapas y actividades en la tabla 3). Los profesores realizan unas actividades de aprendizaje explícitas, reflexivas, basadas en el desarrollo

de conocimiento didáctico del contenido sobre un tema específico de NdcYT (investigaciones científicas) y amplían algunas reflexiones autoevaluadoras.

El modelo plantea a los profesores en formación unas actividades de estudio y análisis de los documentos de una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) sobre el tema de investigaciones científicas. A partir del estudio, el profesor realiza una reconstrucción didáctica completa de la SEA (Kattmann y Duit, 1998), llenando de contenido un esquema vacío de la secuencia, que actúa como instrumento de cambio conceptual en el profesor (Duit y Treagust, 2003). Durante y después de la presentación en clase de la SEA elaborada por cada profesor, se suscitan reflexiones y debates sobre los temas implicados acerca de las investigaciones científicas. Parte de estas reflexiones incluyeron presentar y discutir en la clase la lección “¿Cómo funciona la ciencia?” (<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>) sobre pensamiento científico, pruebas y metodología científica. Por último, el docente desarrolla una serie de procesos de autorreflexión adicionales sobre sus respuestas iniciales y finales a las diez cuestiones de evaluación.

Tabla 3. Modelo explícito y reflexivo de formación de profesores de ciencias, aplicado sobre conocimientos de un tema de NdcYT (investigaciones científicas).

Instrumentos	Documentos	Actividades de reflexión del profesor	Orden secuencial		
Intervención didáctica	Currículo de aula	Texto histórico y actividades	Lectura, análisis y reflexión	2	
	Diseño didáctico	Matriz vacía de secuencia	Reconstrucción didáctica de secuencia (resumen, objetivos, contenidos, básicos, criterios de evaluación, etc.)	3	
Evaluación	Cuantitativa	Cuestionario de COCTS	Pretest: Responde cuestiones	1	
			Posttest: Responde cuestiones	4	
	Cualitativa	2 preguntas (Explica... y Compara...)	Resultados de pre y pos test	Reflexiona y compara (reelabora datos)	5
			Escribe respuestas reflexivas	6	

Fuente: elaboración propia.

La eficacia del modelo se ha acreditado con diversos estudios empíricos a través de una metodología de diseño longitudinal cuasiexperimental pre-pos-test, mediante un instrumento de evaluación basado en diez cuestiones con formato de escenarios sobre la investigación científica, los cuales permiten analizar el impacto del modelo sobre la mejora personalizada por profesores y por cuestiones (Vázquez y Manassero, 2016).

Esta misma línea de rdp epistémica es propuesta por otros autores para el profesorado general (no solo de ciencias), e incluye de modo explícito una formación sobre la metodología científica. El objetivo es desarrollar en todo el profesorado una competencia crítica que permita discernir entre las mejores soluciones de la investigación didáctica para su enseñanza personal y evitar las creencias ingenuas y mitos en su conocimiento profesional docente. Con ese objetivo epistémico se proponen actividades de formación concretas, tales como:

- Conocer cómo funciona el método científico en la investigación educativa.
- Analizar literatura basada en pruebas.
- Discriminar las metodologías que gozan de mayor evidencia.
- Leer e interpretar trabajos de investigación (desde los parámetros anteriores).
- Diferenciar un estudio válido de otro que no lo es.
- Identificar los mitos y falacias sobre educación.

En relación con las últimas, el profesorado debe ser especialmente competente para desenmascarar rasgos pseudocientíficos (Lilienfeld, Ammirati y David, 2012), tales como:

- sustraerse a la posibilidad de ser falsadas (uso excesivo de hipótesis *ad hoc*)
- carecer de revisión por pares y de elementos científicos básicos
- no estar basadas en teorías científicas reconocidas (educativas, psicológicas, etc.)
- uso abusivo de:
 - jergas paracientíficas de solo retórica (lenguaje hipertécnico, esotérico).
 - afirmaciones extraordinarias (requieren pruebas extraordinarias).
 - sesgos cognitivos (por ejemplo, sesgo confirmatorio, solo hay casos favorables, o usar como pruebas profusión de anécdotas y testimonios inválidos).
 - falacias del pensamiento como *ad antiquitatem* o recurrir a la tradición (por eso repito lo que aprendí de mis profesores) o *ad populum* o recurrir a la popularidad (la mayoría siempre tiene razón).

El objetivo es construir la competencia crítica del profesorado dentro de su conocimiento profesional docente y que esta competencia, a su vez, ayude a que los estudiantes aprendan y construyan su propia competencia crítica.

Conclusiones

En las actuales sociedades y culturas líquidas (caracterizadas por decisiones inmediatas, desconfianza, división o relativismo epistémico) se ha generado un sentimiento de desilusión y desconfianza en la educación paralelo a procesos evidentes de denigración activa de la razón, la verdad y las pruebas (posverdad). La atención a las evidencias, que justifiquen las decisiones docentes más eficaces y sólidas para el aprendizaje, es una oportunidad para innovar la FdP, de modo que se inserte en el marco de la revolución emergente en la educación del siglo XXI (Goldacre, 2013).

La respuesta a estos desafíos debe aprovechar la investigación para facilitar y fortalecer aprendizajes de éxito educativo para todos mediante una FdP comprometida con:

- La integración de conocimientos (negación de cursos introductorios, aislados, no relacionados, desconectados).
- El desarrollo de habilidades de orden superior (pensamiento crítico, reflexión y juicio).
- La creación de experiencias educativas intencionales (con sentido y significado) coherentes, atractivas e integradas.
- El desarrollo profesional valioso y duradero, orientado al empleo actual y futuro.
- La preparación para el aprendizaje permanente (aprender a aprender).

Los mensajes de la investigación para el docente comprometido con una enseñanza eficaz para el éxito de todos son:

- Basar las decisiones de enseñanza (métodos, evaluación, contenidos, etc.) en pruebas de la investigación, evitando decisiones carentes de ese aval por la presión de las modas o los medios.
- Objetivos claros y transparentes: los estudiantes se implican más en el aprendizaje.
- Planificación directa y explícita: el estudiante es más consciente del criterio de éxito, y realiza mejor las acciones para lograrlo. Los enfoques de enseñanza con guía mínima del profesor (descubrimiento autónomo, proyectos, investigación, resolución de problemas, etc.) no atienden las limitaciones cognitivas de los estudiantes.
- Realimentación formativa inmediata a los estudiantes sobre su ejecución (diaria, semanal o mensual).

En el marco de esta nueva FdP, el docente actúa como pensador crítico sobre su práctica, basa su docencia en pruebas y crea aprendizajes relevantes. Además, es un autoevaluador de su propia práctica, guía activo de cambio (no solo como facilitador), planificador de enseñanza explícita (directa), abierto a recibir realimentación sobre su propia tarea, atento a los resultados de la evaluación, persistente en afrontar los retos educativos, tomador de decisiones de mejora continuas, no etiquetador de sus alumnos, superador del simple “hacerlo lo mejor posible” y con altas expectativas de éxito. El compromiso con una metodología de enseñanza explícita (directa) implica el diseño de lecciones ajustadas a los siguientes rasgos: contenidos administrados en paquetes graduales,

actividades guiadas de los estudiantes, preguntas abundantes y variadas, aportación de modelos, ejemplos, pistas, andamios (para las tareas complejas), verificación continua del progreso, expectativas de éxito elevadas, prácticas abundantes y distribuidas (explicar, explorar, elaborar, extender, evaluar, entre otras), con más diálogos y menos monólogos (incluso la clase invertida), con más atención a los errores y la ignorancia, con revisiones planificadas de los estudiantes (repasa, refuerza, recuerda) y frecuentes (diarias, semanales, etc.).

Esperamos que los marcos teóricos y los principios anteriores puedan resultar inspiradores para los formadores de profesorado en general, y de ciencias en particular. Algunas aplicaciones prácticas en aulas colombianas pueden consultarse en Vázquez, Rodríguez y Vega (2017).

Agradecimientos

Proyecto EDU2015-64642-R (AEI/FEDER, UE) financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Referencias

- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30 (10), 1405–1416.
- Adesope, O. O., Trevisan, D. A. y Sundararajan, N. (2017). Rethinking the use of tests: a meta-analysis of practice testing. *Review of Educational Research*, 87, 1-43.
- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life, Evidence-based practice*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Allchin, D. (1998). Values in Science and in Science Education. En Fraser B.J. y Tobin K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp.1083-1092). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bennáscar, A., Vázquez, A., Manassero M. A., y García-Carmona, A. (Coor.) (2010). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica*. Madrid: OEI.
- Berry, A., Friedrichsen, P.J. y Loughran, J. (Eds.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. New York: Routledge.
- Bryan, L. A. (2012). Research on science teacher beliefs. En B. J. Fraser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 477-495). Dordrecht: Springer.
- Carpenter, W. A. (2000). Ten years of silver bullets: Dissenting thoughts on education reform. *Phi Delta Kappan*, 81 (5), 383-389.
- Carrier, N. (2017). How educational ideas catch on: The promotion of popular education innovations and the role of evidence. *Educational Research*, 59, 228-240.

- Chalmers, A. F. (2000). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique; du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: La Pensée Sauvage.
- Commission on Fake News and the Teaching of Critical Literacy Skills (2018). *Fake news and critical literacy: final report*. London: National Literacy Trust. Recuperado de <https://literacytrust.org.uk/research-services/research-reports/fake-news-and-critical-literacy-final-report/>
- Deng, F., Chen, D-T., Tsai, C-C. y Chai, C-S. (2011). Students' views of the nature of science, a critical review of research. *Science Education*, 95, 961-999.
- Duit, R. y Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688.
- EBTN, Evidenced Based Teachers Network (2012). What is evidenced based teaching? Recuperado de <http://www.ebtn.org.uk/what-is-evidencebased-teaching>
- Echeverría, J. (2002). *Ciencia y valores*. Barcelona: Destino.
- Echeverría, J. (2010). De la filosofía de la ciencia a la filosofía de la tecnociencia, *Daímon Revista Internacional de Filosofía*, 50, 31-41.
- Fernández-Enguita, M. (2014). De la información al conocimiento... pero en serio. *Participación Educativa*, diciembre, 50-57.
- Ferrero, M., Garaizar, P. y Vadillo, M. A. (2016). Neuromyths in education: Prevalence among Spanish teachers and an exploration of cross-cultural variation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 496. Recuperado de <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00496>
- Garriz, G., Lorenzo, M. G. y Daza, S. F. (2014). *Conocimiento didáctico del contenido. Una perspectiva iberoamericana*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- Gauch, H. G. Jr. (2012). *Scientific Method in Brief*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. En A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28–42). New York: Routledge.
- Goldacre, B. (2013). *Building evidence into education*. Recuperado de <http://media.education.gov.uk/assets/files/pdf/b/ben%20goldacre%20paper.pdf>
- Hattie, J. (2013). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Madrid: Debate.
- Kattmann, U. y Duit, R. G.H. (1998). The model of educational reconstruction. En H. Bayrhuber y F. Brinkman (Eds.), *What-Why-How? Research in Didaktik of biology* (pp. 253–262). Kiel: IPN.

- Kuhn, D. (2012). *Enseñar a pensar*. Madrid: Amorrortu.
- Leach, J. y Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, 115-142.
- Lilienfeld, S. O., Ammirati, R. y David, M. (2012). Distinguishing science from pseudoscience in school psychology: science and scientific thinking as safeguards against human error. *Journal of School Psychology*, 50, 7-36.
- Magnusson, W. S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Manassero, M. A., Vázquez, A. y Acevedo, J. A. (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). *The Integration of the Humanities and Arts with Sciences, Engineering, and Medicine in Higher Education*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/24988>
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Osborne, J., Simon, S. y Collins, S. (2003). Attitudes towards science, a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 1049-1079.
- Richardson, V. (1996). The role of attitudes and beliefs in learning to teach. En J. Sikula (Ed.), *Handbook of research on teacher education* (pp. 102-119). New York: Macmillan.
- 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*. Brussels: European Commission.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand, Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14.
- Stockard, J., Wood, T. W., Coughlin, C. y Khoury, C. R. (2018). The effectiveness of direct instruction curricula: A meta-analysis of a half century of research. *Review of Educational Research*, 88, 479-507. doi:10.3102/0034654317751919
- Sweller, J., Kirschner, P. A. y Clark, R. E. (2007). Why minimally teaching techniques do not work: A reply to commentaries. *Educational Psychologists*, 42, 115-121.
- Vázquez, A., Acevedo, J. A. y Manassero, M. A. (2005). Más allá de una enseñanza de las ciencias para científicos, hacia una educación científica humanística.

Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 4, 2. Recuperado de <http://www.saum.uvigo.es/reec/>

- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2015). Hacia una formación inicial del profesorado de ciencias basada en la investigación. *Revista Española de Pedagogía*, 73 (261), 343-363.
- Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2016). Un modelo formativo para mejorar las ideas de los profesores sobre temas de naturaleza de ciencia y tecnología. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 20 (2), 56-75.
- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2018). Más allá de la comprensión científica: educación científica para desarrollar el pensamiento. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 309-336.
- Vázquez Alonso, Á. (Ed.), Rodríguez Cruz, A. M. y Vega Pinzón, A. P. (2017). *Investigación-acción y enseñanza de temas de naturaleza de la ciencia*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- Vesterinen, V-M., Manassero-Mas, M-A. y Vázquez-Alonso. Á. (2014). History, Philosophy, and Sociology of Science and Science-Technology-Society traditions in Science Education: continuities and discontinuities. En M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1895-1925). Dordrecht: Springer.
- Zeichner, K. M. y Tabachnick, B. R. (1981). Are the effects of university teacher education 'washed out' by school experience? *Journal of Teacher Education*, 32, 7-11.
- Zoller, U. y Nahum, T. (2012). From teaching to KNOW to learning to THINK in Science Education. En B. J. Fraser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.) *Second International Handbook of Science Education* (pp. 209-230). Dordrecht: Springer.

Para citar este artículo

- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 46, 15-37.