

ARTIGOS

EL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO EN CIENCIAS: ESTADO DE LA CUESTIÓN

JOSÉ JAVIER VERDUGO-PERONA •
JOAN JOSEP SOLAZ-PORTOLÉS • VICENT SANJOSÉ-LÓPEZ

RESUMEN

En este artículo se lleva a cabo una revisión descriptiva de la literatura que permite dar a conocer qué es el Conocimiento Didáctico del Contenido –CDC– en ciencias y qué se ha investigado sobre el mismo. En concreto, se analiza: a) cómo se define, qué características tiene y cómo se ha determinado en los profesores; b) su relación con el conocimiento de la materia a enseñar y con el aprendizaje de los estudiantes; c) cómo se ha utilizado en la formación y evaluación del profesorado; y d) en qué temas científicos se ha estudiado. Se concluye que el CDC se perfila como una herramienta fundamental para mejorar la calidad de la formación del profesorado.

PROFESORES DE CIENCIAS • EVALUACIÓN DE DOCENTES • FORMACIÓN DE DOCENTES • FORMADOR DE DOCENTES

PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE IN THE SCIENCES: STATE OF THE ART

ABSTRACT

This paper gives a descriptive overview of the literature related to Pedagogical Content Knowledge – PCK – in the sciences. It is expected that this review can contribute to a better understanding of PCK, pointing out what has been investigated about this concept. Specifically, we analyze: a) how PCK is defined, what are its main features and how it has been appropriated by teachers; b) the relationship between PCK, knowledge of the contents to be taught and students learning; c) how PCK was actually used in teachers' training and teachers' evaluation; and, d) the scientific areas in which PCK has been studied. It concludes that PCK is an essential tool for improving the quality of teacher training.

SCIENCE TEACHERS • TEACHER EVALUATION • TEACHER EDUCATION • TEACHER EDUCATORS

CONNAISSANCE PÉDAGOGIQUE DU CONTENU EN SCIENCES: ÉTAT DE LA QUESTION

RÉSUMÉ

Cet article procède à une révision descriptive de la littérature sur la Connaissance Pédagogique du Contenu – CPC – en sciences. L'analyse porte sur: a) comment est définie la CPC, quels en sont les caractéristiques principales et comment les professeurs l'ont déterminée; b) son rapport avec la maîtrise des contenus et les acquis des étudiants; c) comment a été utilisée la CPC dans la formation et l'évaluation des enseignants; et d) les sujets scientifiques où la CPC a été abordée. La conclusion indique que la CPC offre un outil crucial pour améliorer la qualité de la formation des enseignants.

**ENSEIGNANTS DES SCIENCES • ÉVALUATION DE L'ENSEIGNANT •
FORMATION DES ENSEIGNANTS • FORMATEUR D'ENSEIGNANTS**

CONHECIMENTO PEDAGÓGICO DO CONTEÚDO NAS CIÊNCIAS: ESTADO DA ARTE

RESUMO

Neste artigo é efetuada uma revisão descritiva da literatura sobre o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo – CPC – em ciências e sobre a pesquisa realizada sobre o tema. Em suma, analisa-se o seguinte: a) como é definido, quais são suas principais características e a forma como o CPC foi determinado entre os professores; b) sua relação com o conhecimento da matéria a ser ensinada e a aprendizagem dos estudantes; c) como ele foi utilizado para a formação e a avaliação de professores; e d) os tópicos científicos em que o CPC tem sido estudado. Conclui-se que o CPC perfila-se como uma ferramenta fundamental para melhorar a qualidade da formação dos professores.

**PROFESSORES DE CIÊNCIAS • AVALIAÇÃO DE PROFESSORES •
FORMAÇÃO DE PROFESSORES • FORMADOR DE PROFESSORES**

ES BIEN CONOCIDO QUE TENER UN TÍTULO O GRADO ACADÉMICO EN EL ÁREA DE LAS ciencias no es por sí mismo ninguna garantía de poder enseñar ciencias de manera efectiva (KIND, 2009). Se trata de averiguar qué conocimientos son necesarios para la enseñanza, y parece ser necesario abordar esta cuestión desde una doble perspectiva. Por una parte, se han de considerar los estudios que ponen el acento en las características que debería tener un profesor para poder enseñar eficientemente (GIPPS, 1999; PORTER; BROPHY, 1988; WRAGG et al., 1998). Por otra parte, se tiene que incidir en el conocimiento profesional del profesor, esto es, qué deben conocer y hacer los profesores, y qué categorías de conocimiento se requieren para ser competente (BOLÍVAR, 2005).

En línea con las propuestas de cómo mejorar la competencia profesional del profesorado, Shulman (1986) introdujo el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (en adelante CDC), que es la traducción más utilizada en la literatura en castellano de *Pedagogical Content Knowledge*. Para este autor, el CDC recoge lo que los profesores piensan acerca de cómo el contenido se debe enseñar, e incluye las formas de representación y la formulación de la materia que la hacen comprensible a los estudiantes. Shulman (1987, p. 8) describe el CDC como “la especial amalgama de contenidos de la disciplina y didáctica que es exclusiva de los profesores, su propia y particular forma de conocimiento profesional”. Como puede inferirse, el CDC es el tipo de conocimiento que distingue a un profesor de un científico y en su

núcleo está la manera en que transforma los contenidos científicos para enseñarlos.

Desde su introducción, el CDC se ha convertido en una herramienta conceptual muy útil y utilizada en la enseñanza de las ciencias. Así, la organización más importante del mundo dedicada a promover la excelencia y la innovación en la enseñanza de las ciencias, la NAST o *National Science Teachers Association* (2012), y la NCATE o *National Council for Accreditation of Teacher Education* (2008), han subrayado el valor del CDC para la formación docente y desarrollo profesional docente. Es plausible imaginarse que el CDC constituye un constructo vital para la investigación del conocimiento del profesorado. Como veremos posteriormente, dicho constructo ha sido utilizado por multitud de investigadores con diferentes tipos de profesores (en ejercicio o en formación, de primaria, de secundaria, de universidad –formadores o no formadores del profesorado–) y se han empleado para su captación entrevistas, cuestionarios, observación y registro de la práctica del profesor en el aula, listas de control, etc. Un buen ejemplo de investigación sobre el CDC nos lo ofrece el estudio de Hagevik *et al.* (2010). En dicho trabajo, se utiliza el CDC en programas de preparación de profesores de ciencias que siguen los estándares marcados por la NAST.

De la importancia del CDC da idea el abundante número de artículos publicados sobre dicho constructo desde la década de los 90, que pueden leerse en muchas de las revistas de alto índice de impacto de didáctica de las ciencias. En particular, son destacables los artículos de revisión publicados cuyo tema central o colateral es el CDC. De especial relevancia, por su profundidad, actualidad e interés son los de Hashweh (2005), Abell (2008), Park y Oliver (2008) y Kind (2009). También puede representar un índice de la trascendencia de esta cuestión el número de libros publicados sobre el CDC, que hasta la fecha, y en las lenguas inglesa, castellana y portuguesa, son siete. Los editores y/o autores de estos libros son: Gess-Newsome y Lederman (1999); *American Association of Colleges for Teacher Education –ACCTE* (2008), Loughran, Berry y Mulhall (2012); Marcon (2013); Garritz, Lorenzo y Daza-Rosales (2014); Berry, Friedrichsen y Loughran (2015); y Grangeat (2015).

Los investigadores han utilizado el CDC como un objeto conceptual útil tanto para mejorar al profesorado en activo, como para formar a los futuros profesores. También lo han empleado para comprobar su influencia sobre el aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que el CDC es un conocimiento tácito (KIND, 2009) y, consecuentemente, difícil de determinar. Pero resulta innegable que si se quiere mejorar la enseñanza de las ciencias tendríamos que ser capaces de determinar los elementos o la conjunción de elementos del CDC que hacen que un profesor sea más eficiente que otros para poder utilizarlos en la formación del profesorado.

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

Teniendo presente todo lo que se ha dicho anteriormente, que pone en evidencia la oportunidad de integrar toda la información acumulada en la literatura sobre el CDC para ponerla al alcance de los investigadores, y de mostrar las virtualidades de dicha construcción teórica, los objetivos de nuestro trabajo se centran en:

- Definir el CDC, caracterizarlo, conocer sus componentes y cómo interactúan;
- Conocer qué papel desempeña el conocimiento de la materia de la disciplina (contenidos) en el CDC;
- Determinar las relaciones entre CDC y el aprendizaje de los estudiantes;
- Saber con qué instrumentos contamos para captar el CDC;
- Averiguar cómo se ha utilizado el CDC en la formación del profesorado;
- Examinar los temas científicos específicos en donde se ha intentado aprehender el CDC de profesores en formación y/o en ejercicio.

NATURALEZA DEL CDC

DEFINICIÓN DEL CDC

Pensamos que puede ser útil para captar la idea global de qué es el CDC empezar por ofrecer algunas de las definiciones –las más significativas– que se han dado para este constructo. No obstante, se ha de asumir que definir el CDC como conocimiento distinto de otras formas de conocimiento del profesor es difícil, por lo que algunas de las definiciones pueden resultar superficiales (BALL; THAMES; PHELPS, 2008). Comencemos por una de las definiciones que ofreció Shulman (1987, p. 8): “El CDC representa la mezcla de contenido y pedagogía para entender cómo conceptos, temas o problemas se organizan, representan y adaptan para enseñar a estudiantes con diversos intereses y habilidades”. Tras esta definición, hubo bastantes autores que intentaron abreviarla con especial incidencia en el concepto de transformación. En concreto, todos estos autores describieron el CDC como el conocimiento necesario para transformar el contenido (la materia a enseñar) en formas más comprensibles para los aprendices (CARTER, 1990; DE BERG; GREIVE, 1999; GEDDIS et al., 1993; GROSSMAN, 1990; MAGNUSSON; KRAJCIK; BORKO, 1999; MARKS, 1990).

A partir de aquí, se hizo más incidencia en la conceptualización del CDC en su carácter idiosincrático (LOUGHRAN et al., 2001). Un ejemplo de ello lo encontramos en la definición proporcionada por Hashweh (2005, p. 277): “El CDC es el repertorio de contenidos personales y privados, así como de construcciones pedagógicas, que el

profesor ha desarrollado como resultado de la repetida planificación y reflexión sobre la enseñanza de determinados temas”.

La última definición que damos es la de Park y Oliver (2008, p. 264), que puede resultar de mucho interés para comprender el concepto de CDC y, además, pensamos que junto a la anterior dejan entrever a qué nos estamos refiriendo realmente cuando hablamos de CDC:

El CDC es la comprensión y representación de cómo ayudar a los estudiantes a entender cuestiones específicas de la materia usando múltiples estrategias instruccionales, representaciones y evaluaciones, mientras se trabaja en un entorno de aprendizaje caracterizado por un determinado contexto social y cultural.

COMPONENTES DEL CDC

Otra forma de conceptualizar el CDC, que los investigadores han utilizado muy frecuentemente, es considerarlo como un conjunto de componentes que interactúan entre sí. En los trabajos de Van Driel, Verloop y De Vos (1998) y Park y Oliver (2008) se recogen en tablas todas las propuestas de componentes integrantes del CDC formuladas por distintos investigadores desde que lo hiciera por primera vez Shulman (1986). Enumeraremos a continuación todos los componentes del CDC, que sugirieron los autores posteriores a Shulman, reunidos por Van Driel, Verloop y De Vos (1998) y Park y Oliver (2008), sin distinguir a qué autores corresponde (en los trabajos citados puede encontrarse esta información). El conjunto de componentes del CDC lo constituye los conocimientos sobre:

- El propósito de enseñar un determinado tema o cuestión;
- Dificultades que tendrán los estudiantes;
- Currículum;
- Estrategias instruccionales y representaciones de los contenidos;
- Recursos instruccionales;
- Evaluación;
- La materia a enseñar (contenidos);
- El contexto de enseñanza;
- Didáctica de la disciplina.

Se ha de señalar que no para todos los autores dichos componentes están integrados en el CDC, sino que alguno de ellos considera a ciertos componentes como una subcategoría aparte, aunque piensan que forman parte de la base de conocimientos del profesor. Así, por ejemplo, para Grossman (1990) el conocimiento de la materia a enseñar tendría esta consideración.

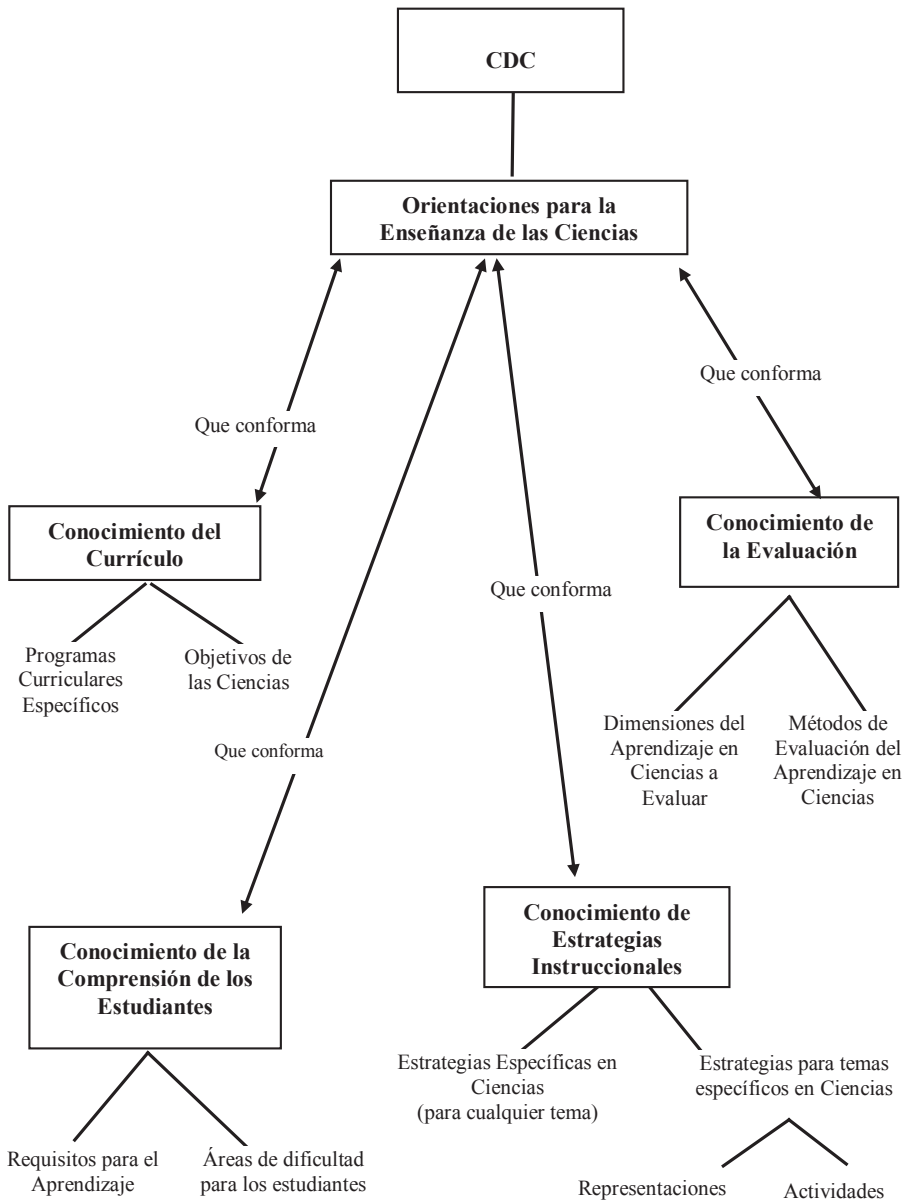
Según Fernandez-Balboa y Stieh (1995), el CDC resulta de la integración de sus diferentes conocimientos (componentes) y tiene una naturaleza genérica; en cambio la posición defendida por otros autores como Cochran, DeRuiter y King (1993), Hashweh (2005), Loughran, Berry y Mulhall (2012) y Van Driel, Verloop y De Vos (1998), pone énfasis en su alto nivel de especificidad con respecto a variables instruccionales tales como: características de los estudiantes, tema, contexto educativo y didáctica empleada.

Se han propuesto algunos modelos de componentes del CDC (GROSSMAN, 1990; MARKS, 1990), pero el modelo propuesto por Magnusson, Krajcik y Borko (1999) es, con mucho, el más utilizado en la investigación en didáctica de las ciencias (podremos comprobarlo posteriormente en los siguientes apartados). Para estos autores, el CDC es un conocimiento integrado de los siguientes componentes:

- Orientaciones para la enseñanza de las ciencias;
- Conocimiento del currículum;
- Conocimiento de los estudiantes;
- Conocimiento sobre evaluación;
- Conocimiento sobre estrategias instruccionales.

En la Figura 1 se recogen, tal y como lo presentaron estos autores, los componentes que integran el CDC.

FIGURA 1
COMPONENTES DEL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS



Fuente: Magnusson, Krajcik y Borko (1999).

Demos unas pinceladas para explicar, de acuerdo con las directrices de los autores, cada uno de los componentes. Orientaciones para la enseñanza de las ciencias alude al conocimiento y creencias del profesorado sobre los objetivos a alcanzar en un determinado nivel académico. Conocimiento del currículum comprende conocimientos sobre los objetivos que, de acuerdo con la normativa aplicable, se deben alcanzar, así como de los programas curriculares específicos. Conocimiento de los estudiantes incluye conocimientos sobre sus

concepciones sobre temas o conceptos científicos, sus dificultades de aprendizaje, su motivación, sus estilos de aprendizaje, sus niveles de desarrollo o sus necesidades. Conocimiento sobre evaluación abarca tanto los conocimientos sobre elementos del currículum que se tienen que evaluar, como los métodos que pueden emplearse (instrumentos específicos, actividades, trabajos...). Conocimiento sobre estrategias instruccionales engloba dos subcategorías: conocimientos sobre estrategias propias de la disciplina y conocimientos sobre estrategias específicas de un tema concreto. A su vez, los conocimientos sobre estrategias específicas de un tema concreto constan de conocimientos sobre representaciones (cómo crearlas y/o usarlas para ayudar a los estudiantes –pueden ser analogías, modelos, ilustraciones o ejemplos–) y sobre las actividades de aprendizaje más adecuadas.

En el modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), la integración de todos los componentes del CDC es muy importante para ser un profesor exitoso en la enseñanza. Sin embargo, tanto este modelo como otros anteriores tienen un gran defecto: no indican cómo interactúan los componentes unos con otros (FRIEDRICHSEN; VAN DRIEL; ABELL, 2011). Varios estudios empíricos se han centrado en encontrar las relaciones entre componentes del CDC y los analizaremos a continuación.

En el estudio de Padilla *et al.* (2008) se observó que cuanto mejores son las estrategias de instrucción y más se conoce a los estudiantes, mejor se les evalúa. También se hallaron concomitancias entre el conocimiento de los objetivos (currículum) y las estrategias instruccionales. Kaya (2009) encontró correlaciones moderadas y significativas entre todos los componentes del CDC, a excepción del conocimiento sobre evaluación, que no fue significativo. Padilla y Van Driel (2011) concluyeron que: a) orientaciones hacia la enseñanza está fuertemente ligada al conocimiento de estrategias instruccionales y al conocimiento de los estudiantes (particularmente sus dificultades), y también está ligado al conocimiento del currículum; y b) el conocimiento sobre evaluación está débilmente asociado con el resto de componentes. Los resultados de Park y Chen (2012) mostraron una fuerte conexión entre conocimiento del estudiante y conocimiento sobre estrategias instruccionales; en cambio, el conocimiento del currículum es el que presenta menor conexión con el resto. Concluyeron, como Henze, Van Driel y Verloop (2008), que la integración entre componentes depende del tema de que se trate. Finalmente, en el trabajo de Aydin y Boz (2013) nuevamente se pone de manifiesto que la integración de componentes es específica para cada tema. Además, constatan que el conocimiento de los estudiantes y de estrategias instruccionales son los principales ejes de las relaciones entre componentes, y que el conocimiento sobre evaluación y currículum es lo que menos influencia tiene en la conformación del CDC.

RELACIÓN ENTRE EL CONOCIMIENTO DE LOS CONTENIDOS -CC- Y EL CDC

Varios de los modelos formulados para el CDC engloban, como un componente integrante del mismo, el conocimiento de los contenidos o materia de la disciplina (BORKO et al., 1992; ERAUT, 1994; GROSSMAN, 1990). En el modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999, p. 96 y p. 108) no se menciona explícitamente el conocimiento de los contenidos disciplinarios, pero tanto cuando los autores se aproximan a la conceptualización del CDC, como cuando hablan del componente del CDC conocimientos sobre evaluación, aparece el conocimiento de los contenidos de la disciplina de forma implícita.

Algunos autores, no obstante, indican que no siempre es posible distinguir uno del otro claramente (MARKS, 1990; TOBIN; TIPPINS; GALLARD, 1994). Otros estudios nos advierten que CC y CDC representan dos dimensiones singulares correlacionadas pero independientes (KLEICKMANN et al., 2015; KRAUSS; BAUMERT; BLUM, 2008; PHELPS; SCHILLING, 2004). Diversos trabajos han analizado las relaciones entre el CC y el CDC en los profesores, veamos qué se concluye en cada uno de ellos.

Sanders, Borko y Lockard (1993) encontraron que aquellos profesores que tenían un CC elevado también tenían un mayor conocimiento de los estudiantes. Además, observaron que las limitaciones en el CC generaban problemas para determinar los objetivos del aprendizaje, los conceptos-clave, las actividades de aprendizaje más idóneas o cómo utilizar las estrategias de enseñanza más pertinentes. Carlsen (1993), por su parte, observó que los profesores con menor CC tendían a llevar a cabo actividades de menor exigencia cognitiva.

Los resultados de Özden (2008) ponen en evidencia que el CC tiene una influencia positiva sobre el CDC del profesor. El estudio de casos llevado a cabo por Rollnick *et al.* (2008) le permitió comprobar la influencia decisiva del CC sobre el CDC. En coherencia con estos resultados, en la investigación de Krauss, Baumert y Blum (2008), se concluye que los profesores con mayor CC tienen un CDC mejor y más integrado. En el estudio cuantitativo realizado por Kaya (2009) se obtuvo una elevada, positiva y significativa correlación ($r = 0.77$, $p < 0.001$) entre el CC y el CDC.

Ingber (2009) halló que el profesorado con un CC más alto era capaz de relacionar más los conceptos de distintos temas y tenía un repertorio más amplio de recursos instruccionales. Por el contrario, el uso de una determinada metodología de enseñanza no estaba condicionado por el CC del profesor. Newton y Newton (2010) confirmaron que tener un potente CC no comporta que el profesor en el aula proponga actividades de alta exigencia cognitiva.

Finalmente, mencionar el trabajo de Rozenszajn y Yarden (2014a) con profesores de biología y matemáticas. El profesorado de

ambas disciplinas consideró el CC como un componente vital en su docencia. La diferencia entre ambos grupos de profesores apareció en la interpretación de la relación entre CC y CDC. Los profesores de matemáticas se decantan hacia un modelo en que ambos están relacionados, mientras que el modelo preferido por los de biología los sitúa separados.

CDC Y APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES

En la investigación de Berg y Brouwer (1991) se vio que en los profesores de física de secundaria canadienses estudiados había un gran desconocimiento de las concepciones alternativas de sus estudiantes; es más, un tercio de ellos sostenía las mismas concepciones que sus estudiantes. Idénticos resultados obtuvieron Smith y Neale (1991) con profesores de la escuela primaria. Caillods, Gottelmann-Duret y Lewin (1997) revelaron en su trabajo el absoluto desconocimiento por parte de profesores con bastantes años de ejercicio profesional de las dificultades de comprensión de sus estudiantes. De hecho, estos profesores creían que las dificultades de sus estudiantes en el proceso de aprendizaje de las ciencias estaban generadas bien por su escaso interés, bien por sus escasos conocimientos matemáticos. Tobin, Tippins y Gallard (1994), en la misma línea que un trabajo anterior de Hashweh (1987), observaron que algunos profesores ofrecían explicaciones, ejemplos y analogías que reforzaban las concepciones erróneas de los estudiantes. Por todo ello, y de acuerdo con Halim y Meerah (2002), no podemos esperar que el profesorado con experiencia en la enseñanza sea capaz, por sí mismo, de mejorar sus conocimientos sobre las dificultades de aprendizaje de sus estudiantes y/o las representaciones de los contenidos que permiten facilitar la comprensión de sus estudiantes (analogías, ejemplos, etc.).

No se necesita ser muy perspicaz para intuir una clara ligazón entre CDC y aprendizaje de los estudiantes. Así, Lange, Kleickmann y Möller (2012), en un estudio de carácter cuantitativo llevado a cabo con profesores de ciencias de primaria, constataron que el CDC de los profesores estaba significativamente relacionado con el rendimiento que los estudiantes alcanzaban en la asignatura de ciencias. Gess-Newsome *et al.* (2010) concluyeron que el conocimiento académico de los profesores explicaba una parte sustancial del logro de los estudiantes. Por su parte, Cross y Lepareur (2015) ofrecieron evidencias empíricas de la clara relación entre el CDC del profesor y su influencia en el aprendizaje de los estudiantes y en su motivación.

Investigaciones en el ámbito de las matemáticas revelan que diferentes componentes del CDC (orientaciones hacia la enseñanza, conocimiento de la comprensión de los estudiantes y de estrategias instruccionales) de los profesores presentan una asociación positiva con

el éxito de los estudiantes (STAUB; STERN, 2002; HILL; ROWAN; BALL, 2005; BAUMERT et al., 2010). En dos tesis doctorales, la de Lenhart (2010) y la de Waller (2012), se analizó la relación entre el CDC del profesorado de primaria de matemáticas y los resultados académicos de los niños. En ambos casos apareció una correlación significativa y positiva entre ambos.

En una investigación muy rigurosa y amplia llevada a cabo en Alemania por Kunter *et al.* (2013) se realizaron múltiples medidas relacionadas con el CDC y los resultados conseguidos por los estudiantes y su motivación. Todo esto repetido varias veces a lo largo de un año. Los modelos de ecuaciones estructurales de dos niveles revelaron los efectos positivos del CDC del profesor, entusiasmo por la enseñanza y estrategias de autorregulación, sobre la calidad instruccional del profesor, que a su vez afectó al logro de los estudiantes. Olfos, Goldrine y Estrella (2014) estudiaron cuantitativamente el efecto del CC y del CDC, así como de la experiencia profesional del profesor, sobre el aumento del rendimiento de los estudiantes. Obtuvieron que un componente del CDC (en concreto conocimiento de estrategias instruccionales, en este caso las de orientación constructivista) y la experiencia profesional estaban significativamente asociados a la mejora del rendimiento.

INSTRUMENTOS PARA CAPTURAR EL CDC

La complejidad del constructo que hemos denominado CDC ha comportado que los investigadores hayan utilizado metodologías diversas con el objetivo de aproximarse a un esquema estructurado del CDC. No es tarea fácil intentar una clasificación de los mismos, Kind (2009, p. 193) lo intentó con los trabajos publicados hasta la fecha en que su artículo vio la luz. Propuso dos grupos que llamó “estudios que exploran el CDC *in situ*” y “estudios que utilizan *prompts* estandarizados” para acceder al CDC. En el primer grupo se investigan cómo los profesores enseñan en el aula o en el laboratorio y se analizan, bien mediante las metodologías propias de la investigación social, bien mediante rúbricas diseñadas al efecto. En el segundo se examinan tanto grabaciones de vídeo o transcripciones de una lección, como los cambios que se producen como resultado de alguna intervención (asistencia a un curso de formación, taller o seminario).

A tenor de los trabajos que han ido apareciendo desde entonces, nos parece más conveniente proponer una nueva clasificación de las investigaciones que han intentado acceder al CDC del profesorado según estén basadas en:

- a. Cuestionarios de lápiz y papel (con preguntas abiertas, cerradas o ambas), como es el caso de los trabajos de: Krauss, Baumert y Blum (2008); Mavhunga y Rollnick (2012); Manizade y Mason (2011);

- Jüttner y Neuhaus (2013); Jüttner *et al.* (2013); Malcolm y Mavhunga (2015); y Brines, Solaz-Portolés y Sanjosé (2016).
- b. Entrevistas y/o técnicas de observación, como pueden verse en: Park, Chen y Jang (2008); Henze, Van Driel y Verloop (2008); Gardner y Gess-Newsome (2011); Alonzo, Kobarg y Seidel (2012); Park y Chen (2012); Faikhamta y Clarke (2013); Hanuscin (2013); y Aydin y Boz (2013).
 - c. La conjunción de los dos anteriores, que puede encontrarse en: Abd-El-Khalick (2006); Käpylä, Heikkinen y Asunta (2009); y Morrison y Luttenegger (2015).

CORE, CONTENT REPRESENTATION

Dedicaremos un apartado a una herramienta para captar el CDC que ha adquirido una significación destacada en la investigación en didáctica de las ciencias, la CoRe –*Content Representation*. Con el objetivo de representar el CDC de los profesores de ciencias sobre un determinado tema o cuestión, Loughran, Mulhall y Berry (2004 y 2008) propusieron dos elementos diferentes, aunque complementarios. Estos elementos son la representación del contenido o CoRe y el repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas o PaP-eRs –*Pedagogical and Professional-experience Repertoires*. La CoRe representa una visión de conjunto sobre la enseñanza de un tema o aspecto específico, y recoge distintas dimensiones (y sus relaciones) de los conocimientos sobre el contenido, la enseñanza y el aprendizaje sobre dicho aspecto específico. Esto se hace a partir de un conjunto de siete preguntas sobre la idea, cuestión o tema concreto. El PaP-eRs es un informe de las prácticas instruccionales y con él se pretende clarificar aspectos del CoRe en el contexto de un aula particular. En la Figura 2 se ofrecen las siete preguntas de la CoRe que aplicaron Brines, Solaz-Portolés y Sanjosé (2016) para acceder al CDC de profesores de física y química de secundaria sobre pilas galvánicas.

CUADRO 1**PREGUNTAS ABIERTAS INCLUIDAS EN LA CORE PARA PILAS GALVÁNICAS POR BRINES, SOLAZ-PORTOLÉS Y SANJOSÉ (2016)**

1. ¿Qué intentaría que los estudiantes aprendiesen en relación con las siguientes cuestiones de las pilas galvánicas (de la pila Daniell, por ejemplo)? a) Conducción eléctrica en cada punto del circuito cerrado que constituye la pila. b) Movimiento de iones en la pila y cantidad relativa de iones positivos y negativos en cada electrodo. c) Papel del puente salino.
2. ¿Por qué cree que es importante que los estudiantes aprendan lo que ha expuesto en la pregunta anterior?
3. ¿Qué otras cuestiones sobre pilas galvánicas considera relevantes?
4. ¿Conoce las dificultades o limitaciones que pueden producirse en la enseñanza de todos los aspectos mencionados anteriormente?
5. ¿Conoce las posibles dificultades o ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje del funcionamiento de las pilas galvánicas?
6. ¿Podrían influir otros factores a lo largo de los procesos de enseñanza y aprendizaje del funcionamiento de las pilas galvánicas?
7. ¿Qué metodología de enseñanza utilizaría para obtener el mayor rendimiento de aprendizaje de sus estudiantes?
8. ¿Cómo evaluaría si los estudiantes han comprendido realmente todos los conceptos implicados en el funcionamiento de las pilas galvánicas (en particular los implicados en las tres cuestiones indicadas al principio)?

En los trabajos posteriores parece que dos de los autores que propusieron ambos instrumentos hacen más incidencia explícita sobre la CoRe que sobre el PaP-eRs. Esto puede verse en los trabajos de Hume (2010), Hume y Berry (2011 y 2013) y Eames *et al.* (2012), donde el PaP-eRs queda en un segundo plano. Sin embargo el tercer autor, Loughran, continúa dando la misma importancia a ambos (BERTRAM; LOUGHRAN, 2012). La relevancia de la CoRe en la investigación queda reflejada en el gran número de investigaciones que la han empleado. Entre ellos podemos citar las de Espinosa-Bueno *et al.* (2011), Bertram (2012), Aydin y Boz (2013), Chapoo, Thathong y Halim (2014), Aydin *et al.* (2014), Alvarado *et al.* (2015) y Rollnick y Mavhunga (2016).

EL CDC EN LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO

Comenzaremos por indicar que donde más ha investigado el CDC en la formación del profesorado es en profesores de secundaria, mucho menos se ha hecho en profesores de primaria y de universidad. Enumeraremos seguidamente las investigaciones más relevantes sobre CDC y formación del profesorado, ordenadas cronológicamente.

Talanquer (2005) describió en su estudio con profesores de secundaria en formación una actividad de carácter indagativo, relacionada con la tabla periódica de elementos, cuyo objetivo principal era desarrollar el CDC de esos futuros profesores. En concreto, observó que esta actividad permitía a estos profesores: a) integrar sus conocimientos sobre las propiedades de los elementos químicos y su periodicidad, b) identificar los puntos que los estudiantes necesitan

entender para desarrollar una completa comprensión de la tabla periódica, y c) reconocer las dificultades con que las que se encontraran dichos estudiantes para interpretar la información química contenida en la tabla periódica.

Bond-Robinson (2005) expuso una experiencia de formación donde se quiso desarrollar el CDC en cuestiones relacionadas con el laboratorio de química en tres niveles, desde un nivel puramente de contenidos procedimentales (macroscópico), hasta un nivel donde se recogen razonamientos y explicaciones formales a nivel microscópico.

Abd-El-Khalick (2006) analizó las diferencias entre profesores de biología en ejercicio y en formación en un aspecto concreto del CDC: cómo abordan y estructuran los contenidos conceptuales en un determinado tema. La conclusión más destacada es que, en un tema concreto como la fotosíntesis, los profesores con experiencia ponen más énfasis en la fotosíntesis como una parte de procesos biológicos de orden superior que en los detalles más concretos.

Appleton (2008) estudió dos casos de profesores de primaria en formación inscritos en un programa de formación con la mentorización de un profesor universitario. El autor examina cómo se va construyendo el CDC a partir de las interacciones entre mentor y futuro profesor.

Henze, van Driel y Verloop (2008) describieron el CDC de profesores de secundaria en ejercicio en un tema (Modelos del Sistema Solar y del Universo) acabado de introducir en el currículum de su país. Los aspectos del CDC estudiados fueron: conocimientos sobre estrategias instruccionales, conocimientos sobre las dificultades de los estudiantes, conocimientos sobre evaluación y conocimientos de los objetivos a alcanzar en este tema. Sus resultados constatan que se formaron dos CDC distintos entre el profesorado participante, uno más orientado a la descripción de los modelos y el otro más orientado en la reflexión sobre la formulación de modelos en ciencias.

Lee y Luft (2008) escrutaron el CDC de profesores de secundaria expertos que actuaban como mentores de profesores de ciencias en formación. Los elementos del CDC que se tuvieron en cuenta fueron: contenidos científicos, objetivos, estudiantes, organización curricular, evaluación, enseñanza y recursos didácticos. Con la información obtenida se pretendía articular programas de desarrollo profesional de profesores de ciencias.

Etkina (2010) describe las prácticas pedagógicas de un programa de preparación de profesores de física. Dicho programa se focaliza en el crecimiento y medición del CDC, específicamente en aumentar los conocimientos sobre los cinco componentes del modelo de CDC de Magnusson, Krajcik y Borko (1999).

Abell *et al.* (2009) usaron el constructo CDC como herramienta fundamental para proponer un modelo de desarrollo de los contenidos

para la formación de profesores de ciencias. Partieron de sus experiencias como estudiantes del doctorado de didáctica de las ciencias y como mentores universitarios de profesores en formación. Acabaron recomendando un estándar para la formación de educadores (profesores universitarios) de profesores de ciencias.

Friedrichsen *et al.* (2009) comprobaron la integración de los cinco componentes del CDC del modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) en profesores en formación con experiencia docente y sin ella. Constataron una gran diferencia entre los que tenían experiencia docente (mayor integración) y los que no la tenían.

Park *et al.* (2011) contrastaron la hipótesis de que la medida del CDC del profesorado ponía en evidencia si se estaban aplicando las reformas previstas en la enseñanza de las ciencias. Mediante una rúbrica se evaluaron 33 sesiones instruccionales registradas en vídeo. Los resultados dieron correlaciones significativas entre las puntuaciones de CDC y las medidas de aplicación de las reformas, con lo que se confirmó la hipótesis.

Hume y Berry (2011) utilizaron la CoRe como instrumento para que los profesores en formación puedan ir (auto)evaluando su CDC en distintos temas a medida que se están formando. Esto es, se trataría de que la elaboración de CoRes entrara a formar parte de su propia autoevaluación y, por ende, de su autoformación. Parece ser que aquí la CoRe cumple una función metacognitiva.

Mdachi (2012) destacó la importancia de poner en el centro de la evolución y mejora del CDC del profesorado de ciencias las concepciones alternativas que los estudiantes sostienen en muchos temas y cuestiones de ciencias.

Mavhunga y Rollnick (2013) dieron a conocer un intento de mejorar el CDC de profesores de química en formación en el tema de equilibrio químico. Una medida previa del CDC antes de la intervención efectuada mediante un programa de formación, y otra medida posterior del CDC, pusieron de manifiesto su mejora significativa.

Hume y Berry (2013) exploraron cómo la CoRe puede convertirse en una herramienta que ayude a mejorar los conocimientos necesarios en los profesores en su fase de formación. Esta herramienta, junto con la colaboración de profesores mentores que analizan su práctica instruccional en el aula, posibilita la construcción de un CDC apto para la docencia.

Faikhamta y Clarke (2013) se plantearon determinar el CDC de un profesor de futuros profesores (profesores en formación). Para ello hicieron uso de: su programa de actuación, materiales impresos, trabajo entregado por los futuros profesores, anotaciones en el diario de registro de dichos profesores y registro en vídeo de las clases del profesor.

Rozenszajn y Yarden (2014b) investigaron cómo se expandían dos dominios, los relacionados con el aprendizaje y la enseñanza, del CDC de tres profesores en ejercicio durante su asistencia a un programa de desarrollo profesional.

Barnett y Friedrichsen (2015) llevaron a cabo una completa descripción de las estrategias utilizadas por un mentor de profesores de ciencias en formación para conseguir acrecentar el CDC de dichos profesores. Se estudia cómo los mentores influyen de manera significativa en desarrollo del CDC.

TEMAS DONDE SE HA ESTUDIADO EL CDC DEL PROFESORADO DE CIENCIAS

Hasta donde hemos podido recabar información y a sabiendas que seguramente no habremos sido capaces de localizar todos los temas o cuestiones científicas sobre los que se ha analizado el CDC del profesorado, ofrecemos a continuación los temas o cuestiones de ciencias que ya han sido abordados por los investigadores:

- a) De ciencias físicas (física y química)
- Halim y Meerah (2002): absorción y reflexión de la luz, cambio de fase líquido-gas, disolución de un sólido en agua, y transferencia y conducción de la energía en forma de calor.
- De Jong, Van Driel y Verloop (2005): modelos de partículas que ayudan a la comprensión de los estudiantes de las relaciones entre fenómenos macroscópicos y las partículas constituyentes de la materia (átomos, moléculas o iones).
- Johnston, J. y Ahtee, M. (2006): peso del aire.
- Özden (2008): las fases de la materia.
- Rollnick *et al.* (2008): cantidad de sustancia y equilibrio químico.
- Padilla *et al.* (2008): cantidad de sustancia.
- Lee y Luft (2008): movimiento parabólico, Leyes de Newton, electromagnetismo.
- Henze, Van Driel y Verloop (2008): modelización en los procesos de construcción científica y modelo de Universo y Sistema Solar.
- Bindernagel y Eilks (2009): modelos submicroscópicos de la materia (modelos a partir de entidades como átomos, iones, moléculas y radicales libres).
- Jang (2010): termodinámica.
- Nivalainen *et al.* (2010): prácticas de laboratorio de física.
- Orleans (2010): radioactividad y energía nuclear.
- Nilsson y Loughran (2011): flotación y sonido.
- Padilla y van Driel (2011): química cuántica.
- Alonzo, Kobarg y Seidel (2012): óptica geométrica.
- Seung, Bryan y Haugan (2012): materia e interacciones.

- Loughran, Berry y Mulhall (2012): teoría de partículas, reacciones química, fuerzas y circuitos eléctricos.
- Aydin y Boz (2013): reacciones químicas de oxidación-reducción y pilas electroquímicas.
- Bektas *et al.* (2013): la naturaleza de ciencia aplicada en el caso concreto del carácter corpuscular de la materia.
- Maries y Singh (2013): cinemática.
- Aydin *et al.* (2014): pilas electroquímicas y reacciones nucleares.
- Melo-Niño, Cañada y Mellado (2013): campo eléctrico.
- Alvarado *et al.* (2015): ácidos y bases.
- Marshman (2015): mecánica cuántica.
- Brines, Solaz-Portolés y Sanjosé (2016): pilas galvánicas.

b) De ciencias biológicas

- Kápylä, Heikkinen y Asunta (2009): fotosíntesis y crecimiento de las plantas.
- Uşak (2009): la célula.
- Park y Chen (2012): fotosíntesis y herencia.
- Loughran, Berry y Mulhall (2012): sistema circulatorio humano y genética.
- Schmelzing *et al.* (2013): la sangre y el sistema circulatorio humano.
- Mthethwa-Kunene, Onwu y de Villiers (2015): genética.

A MODO DE CONCLUSIÓN

En este trabajo se han ofrecido distintas definiciones del CDC que nos permiten caracterizarlo como un constructo teórico propio del profesorado que abarca todos los conocimientos del profesor relacionados con el acto de enseñar unos contenidos particulares, a unos estudiantes específicos, y en un determinado contexto.

Por otra parte, con la finalidad de interpretar este constructo teórico, el CDC, se han planteado diferentes intentos de modelarlo. En todos los modelos se propone una serie de componentes del CDC. No obstante, en ninguno de los modelos de CDC propuestos sus autores se han aventurado a establecer las posibles interacciones entre sus componentes. El modelo de CDC más citado y utilizado en las investigaciones es el de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), que consta de cinco componentes. Parece ser que son mayoritarios los estudios que ponen de manifiesto la integración de todos los componentes del CDC, además de su alto nivel de especificidad con respecto a variables instruccionales, tales como características de los estudiantes, tema, contexto educativo y didáctica empleada. Las investigaciones realizadas sobre las interacciones de los distintos componentes del CDC revelan que los componentes sobre los que pivotan todas las interconexiones

entre ellos son el conocimiento sobre estrategias instruccionales y el conocimiento del estudiante.

En varios de los modelos formulados para el CDC aparecen los conocimientos de la materia a enseñar (o conocimiento de los contenidos, CC) como un componente explícito del modelo. En otros, como el de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) aparece de una manera implícita y transversal entre los componentes del modelo. Sin embargo, en algunos estudios consideran que CDC y CC son independientes, aunque están correlacionados. Por otro lado, hay evidencias acumuladas de que el CC es un sólido pilar sobre el que se construye un adecuado CDC con una óptima integración de sus componentes.

Todas las investigaciones que han analizado los efectos del CDC sobre los resultados académicos de los estudiantes inciden en que existe una asociación significativa entre ambas variables. Los profesores con mejor CDC conducen a sus estudiantes hacia mejores calificaciones. Se destacan en esta asociación algunos componentes del CDC, en particular el conocimiento de estrategias instruccionales. Además, hay efectos colaterales como el incremento de la motivación en los aprendices.

Se ha visto que son diversos los instrumentos utilizados por los investigadores para conseguir evaluar el CDC del profesorado. Nosotros hemos clasificado los trabajos en función de si los instrumentos utilizados son cuestionarios de lápiz y papel, entrevistas y/o técnicas de observación, o la conjunción de los dos grupos anteriores. Se destaca, con mucho, el instrumento denominado CoRe (*Content Representation, Representación del contenido*), que ha sido utilizado por un gran número de investigadores.

El CDC se perfila como una herramienta fundamental en la formación del profesorado, de acuerdo con los numerosos estudios que han utilizado instrumentos de acceso al CDC con diversas finalidades en dicha formación: evaluar al profesorado tras un periodo de formación, analizar el papel del mentor de profesores en formación, utilizarlo como elemento de autoevaluación del profesor en formación, etc.

Finalmente, hemos constatado que existe una amplia profusión de temas científicos donde se ha estudiado el CDC del profesorado (sea en ejercicio, sea en formación, o bien en los dos casos). Se ha reseñar que son bastante más abundantes los dedicados a ciencias físicas que a otras ciencias naturales.

REFERENCIAS

ABD-EL-KHALICK, F. Preservice and experienced biology teachers' global and specific subject matter structures: Implications for conceptions of pedagogical content knowledge. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 2, n. 1, p. 1-29, 2006.

ABELL, S. K. Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1405-1416, 2008.

- ABELL, S. K. et al. Preparing the Next Generation of Science Teacher Educators: A Model for Developing PCK for Teaching Science Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, v. 20, n. 1, p. 77-93, 2009.
- ALONZO, A. C.; KOBARG, M.; SEIDEL, T. Pedagogical content knowledge as reflected in teacher-student interactions: Analysis of two video cases. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 49, n. 10, p. 1211-1239, 2012.
- ALVARADO, C. et al. Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid-base chemistry at high school. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 16, n. 3, p. 603-618, 2015.
- AMERICAN ASSOCIATION OF COLLEGES FOR TEACHER EDUCATION – ACCTE. *Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for Educators*. New York: Routledge, 2008.
- APPLETON, K. Developing Science Pedagogical Content Knowledge Through Mentoring Elementary Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, v. 19, n. 6, p. 523-545, 2008.
- AYDIN, S.; BOZ, Y. The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 14, n. 4, p. 615-624, 2013.
- AYDIN, S. et al. Examination of the topic-specific nature of pedagogical content knowledge in teaching electrochemical cells and nuclear reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 15, n. 4, p. 658-674, 2014.
- BALL, D. L.; THAMES, M. H.; PHELPS, G. Content Knowledge for Teaching. What Makes It Special? *Journal of Teacher Education*, v. 59, n. 5, p. 389-407, 2008.
- BARNETT, E.; FRIEDRICHSEN, P. J. Educative Mentoring: How a Mentor Supported a Preservice Biology Teacher's Pedagogical Content Knowledge Development. *Journal of Science Teacher Education*, v. 26, n. 7, p. 647-668, 2015.
- BAUMERT, J. et al. Teachers' mathematical knowledge, cognitive activation in the classroom, and student progress. *American Educational Research Journal*, v. 47, n. 1, p. 133-180, 2010.
- BEKTAS, O. et al. Pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge of the nature of science in the particle nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 14, n. 2, p. 201-213, 2013.
- BERG, T.; BROUWER, W. Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 28, n. 1, p. 3-18, 1991.
- BERTRAM, A. Getting in touch with your PCK: A look into discovering and revealing science teachers' hidden expert knowledge. *Teaching Science*, v. 58, n. 2, p. 18-23, 2012.
- BERTRAM, A.; LOUGHRAN, J. Science Teachers' views on CoRes and PaP-eRs as a framework for articulating and developing pedagogical content knowledge. *Research in Science Education*, v. 42, n. 6, p. 1027-1047, 2012.
- BERRY, A.; FRIEDRICHSEN, P.; LOUGHRAN, J. *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. London: Routledge, 2015.
- BINDERNAGEL, J. A.; EILKS, I. Evaluating roadmaps to portray and develop chemistry teachers' PCK about curricular structures concerning sub-microscopic models. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 10, n. 2, p. 77-85, 2009.
- BOLÍVAR, A. Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, v. 9, n. 1, artículo 7, 2005. Disponible en: <<http://recyt.fecyt.es/index.php/profesorado/issue/view/2366>>. Recuperado en: 10 mar. 2015.
- BOND-ROBINSON, J. Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 6, n. 2, p. 83-103, 2005.
- BORKO, H. et al. Learning to teach hard mathematics: Do novice teachers and their instructors give up too easily? *Journal for Research in Mathematics Education*, v. 23, n. 3, p. 194-222, 1992.
- BRINES, A.; SOLAZ-PORTOLÉS, J. J.; SANJOSÉ, V. Estudio exploratorio comparativo del conocimiento didáctico del contenido sobre pilas galvánicas de profesores de secundaria en ejercicio y en formación. Aceptado para publicación en *Enseñanza de las Ciencias*, 2016.

CAILLODS, F.; GOTTELMANN-DURET, G.; LEWIN, K. M. *Science education and development; planning and policy issues at secondary level*. Paris: Pergamon/International Institute of Educational Planning, 1997.

CARLSEN, W. S. Teacher knowledge and discourse control: quantitative evidence from novice biology teachers' classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 5, p. 471-481, 1993.

CARTER, K. Teachers' knowledge and learning to teach. In: HOUSTON, W. R.; SIKULA, M. H. J. (Eds.). *Handbook of research on teacher education*. New York: Macmillan, 1990. p. 291-310.

CHAPOO, S.; THATHONG, K.; HALIM, L. Biology Teachers' Pedagogical Content Knowledge in Thailand: Understanding & Practice. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, n. 116, p. 442-447, 2014. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/18770428/116>>. Recuperado en: 15 jun. 2015.

COCHRAN, K. F.; DERUITER, J. A.; KING, R. A. Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, v. 44, n. 4, p. 263-272, 1993.

CROSS, D.; LEPAREUR, C. PCK at stake in teacher-student interaction in relation to students' difficulties. In: GRANGEAT, M. (Ed.). *Understanding science teachers' professional knowledge growth*. Rotterdam: Sense Publishers, 2015. p. 47-61.

DE BERG, K. C.; GREIVE, C. Understanding the siphon: An example of the development of pedagogical content knowledge using textbooks and the writings of early scientists. *Australian Science Teachers' Journal*, v. 45, n. 4, 19-26, 1999.

DE JONG, O.; VAN DRIEL, J.; VERLOOP, N. Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 42, n. 8, p. 947-964, 2005.

EAMES, C. et al. *CoRe: A way to build pedagogical content knowledge for beginning teachers*. Wellington: Teaching and Learning Research Initiative (TLRI), 2012. Disponible en: <<http://www.tlri.org.nz/tlri-research/research-completed>>. Recuperado en: 11 set. 2015.

ERAUT, M. *Developing professional knowledge and competence*. London: Falmer, 1994.

ESPINOSA-BUENO, J. S. et al. Pedagogical Content Knowledge of Inquiry: An Instrument to Assess It and Its Application to High School In-Service Science Teachers. *US-China Education Review*, v. 8, n. 5, p. 599-614, 2011.

ETKINA, E. Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*, v. 6, artículo 020110, Aug. 2010. Disponible en: <<http://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.6.020110>>. Recuperado en: 5 mar. 2015.

FAIKHAMTA, C.; CLARKE, A. A Self-Study of a Thai Teacher Educator Developing a Better Understanding of PCK for Teaching about Teaching Science. *Research in Science Education*, v. 43, n. 3, p. 955-979, 2013.

FERNANDEZ-BALBOA, J. M.; STIEH, J. The generic nature of pedagogical content knowledge among college professors. *Teaching and Teacher Education*, v. 11, n. 3, p. 293-306, 1995.

FRIEDRICHSEN, P. M.; VAN DRIEL, J. H.; ABELL, S. K. Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, v. 95, n. 2, p. 358-376, 2011.

FRIEDRICHSEN, P. M. et al. Does Teaching Experience Matter? Examining Biology Teachers' Prior Knowledge for Teaching in an Alternative Certification Program. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 46, n. 4, p. 357-383, 2009.

GARDNER, A. L.; GESS-NEWSOME, J. A PCK rubric to measure teachers' knowledge of inquiry based instruction using three data sources. In: ANNUAL MEETING OF THE NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, Orlando, FL, 2011. Orlando: NARST, 2011. Disponible en: <http://www.bscs.org/sites/default/files/_legacy/pdf/Community_Sessions_NARST2011_PCK%20Rubric%20Paper.pdf>. Recuperado en: 5 ago. 2015.

GARRITZ, A.; LORENZO, M. G.; DAZA-ROSALES, S. F. *Conocimiento didáctico del contenido*. Una perspectiva iberoamericana. Saarbrücken, Germany: Académica Española, 2014.

- GEDDIS, A. N. et al. Transforming content knowledge: Learning to teach about isotopes. *Science Education*, v. 77, n. 6, p. 575-591, 1993.
- GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. *Examining pedagogical content knowledge*. The Construct and its implications for science education. Boston: Kluwer, 1999.
- GESS-NEWSOME, J. et al. *Impact of Educative Materials and Professional Development on Teachers' Professional Knowledge, Practice, and Student Achievement*, 2010. Disponible en: <<https://bscs.org/primepapers/>>. Recuperado en jun. 2016.
- GIPPS, C. Sociocultural Aspects to Assessment. *Review of Research in Education*, v. 24, n. 1, p. 353-392, 1999.
- GRANGEAT, M. *Understanding science teachers' professional knowledge growth*. Rotterdam: Sense, 2015.
- GROSSMAN, P. L. *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press, 1990.
- HAGEVIK, R. et al. Pedagogical Content Knowledge and the 2003 Science Teacher Preparation Standards for NCATE Accreditation or State Approval. *Journal of Science Teacher Education*, v. 21, n. 1, p. 7-12, 2010.
- HALIM, L.; MEERAH, S. M. Science Trainee Teachers' Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. *Research in Science & Technological Education*, v. 20, n. 2, p. 215-225, 2002.
- HANUSCIN, D. L. Critical Incidents in the Development of Pedagogical Content Knowledge for Teaching the Nature of Science: A Prospective Elementary Teacher's Journey. *Journal of Science Teacher Education*, v. 24, n. 6, p. 933-956, 2013.
- HASHWEH, M. Z. Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. *Teaching and Teacher Education*, v. 3, n. 2, p. 109-120, 1987.
- HASHWEH, M. Z. Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: theory and practice*, v. 11, n. 3, p. 273-292, 2005.
- HENZE, I.; VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N. Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1321-1342, 2008.
- HILL, H. C.; ROWAN, B.; BALL, D. Effects of teachers' mathematical knowledge for teaching on student achievement. *American Educational Research Journal*, v. 42, n. 2, p. 371-406, 2005.
- HUME, A. C. CoRes asTools for Promoting Pedagogical Content Knowledge of Novice Science Teachers. *Chemistry Education in New Zealand*, n. 121, p. 13-19, 2010. Disponible en: <http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZ_Apr10_Hume.pdf>. Recuperado en: 2 set. 2015.
- HUME, A. C.; BERRY, A. Constructing CoRes—a Strategy for building PCK in pre-service science teacher education. *Research in Science Education*, v. 41, n. 3, p. 341-355, 2011.
- HUME, A. C.; BERRY, A. Enhancing the Practicum Experience for Pre-service Chemistry Teachers Through Collaborative CoRe Design with Mentor Teachers. *Research in Science Education*, v. 43, n. 5, p. 2107-2136, 2013.
- INGBER, J. *A comparison of teachers' pedagogical content knowledge while planning in and out of their science expertise*. 2009. Tesis (Doctorado) – Columbia University, NY, USA, 2009. Disponible en: <<http://gradworks.umi.com/33/73/3373761.html>>. Recuperado en: 20 jun. 2015.
- JANG, S. J. Assessing college students' perceptions of a case teacher's pedagogical content knowledge using a newly developed instrument. *Higher Education*, v. 61, n. 6, 663-678, 2010.
- JOHNSTON, J.; AHTEE, M. Comparing primary student teachers' attitudes, subject knowledge and pedagogical content knowledge needs in a physics activity. *Teaching and Teacher Education*, v. 22, n. 4, 503-512, 2006.
- JÜTTNER, M.; NEUHAUS, B. J. Validation of a paper-and-pencil test instrument measuring biology teachers' pedagogical content knowledge by using think-aloud interviews. *Journal of Education and Training Studies*, v. 1, n. 2, p. 113-125, 2013. Disponible en: <<http://jets.redfame.com>>. Recuperado en: 2 ago. 2015.

- JÜTTNER, M. et al. Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, v. 25, n. 1, p. 45-67, 2013.
- KÄPYLÄ, M.; HEIKKINEN, J. P.; ASUNTA, T. Influence of content knowledge on pedagogical content knowledge: the case of teaching photosynthesis and plant growth. *International Journal of Science Education*, v. 31, n. 10, p. 1395-1415, 2009.
- KAYA, O. N. The nature of relationships among the components of pedagogical content knowledge of pre service science teachers: "Ozone layer depletion" as an example. *International Journal of Science Education*, v. 31, n. 7, 961-988, 2009.
- KIND, V. Pedagogical content knowledge in science education: potential and perspectives for progress. *Studies in Science Education*, v. 45, n. 2, p. 169-204, 2009.
- KLEICKMANN, T. et al. Content knowledge and pedagogical content knowledge in Taiwanese and German mathematics teachers. *Teaching and Teacher Education*, n. 46, p. 115-126, 2015.
- KRAUSS, S.; BAUMERT, J.; BLUM, W. Secondary mathematics teachers' pedagogical content knowledge and content knowledge: validation of the COACTIV constructs. *ZDM Mathematics Education*, v. 40, n. 5, p 873-892, 2008.
- KUNTER, M. et al. Professional competence of teachers: effects on instructional quality and student development. *Journal of Educational Psychology*, v. 105, n. 3, 805-820, 2013.
- LANGE, K.; KLEICKMANN, T.; MÖLLER, K. Elementary teachers' pedagogical content knowledge and student achievement in science education. In: BRUGUIERE, C.; TIBERGUIEN; A.; CLÉMENT, P. (Eds.). *E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship*. Lyon, France: European Science Education Research Association, 2012. Disponible en: <<http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/science-learning-and-citizenship/>>. Recuperado en: 1 set. 2015.
- LEE, E.; LUFT, J. A. Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1343-1363, 2008.
- LENHART, S. T. *The Effect of Teacher Pedagogical Content Knowledge and the Instruction of Middle School Geometry*. Tesis (Doctorado) – Liberty University, Lynchburg, Va, USA, 2010. Disponible en: <<http://digitalcommons.liberty.edu/doctoral/363/>>. Recuperado en: 6 jun. 2015.
- LOUGHRAN, J.; BERRY, A.; MULHALL, P. *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge* 2nd Edition. Rotterdam: Sense Publishers, 2012.
- LOUGHRAN, J.; MULLHALL, P.; BERRY, A. In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 41, n. 4, p. 370-391, 2004.
- LOUGHRAN, J.; MULHALL, P.; BERRY, A. Exploring pedagogical content knowledge in science teacher education. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1301-1320, 2008.
- LOUGHRAN, J. et al. Documenting science teachers' pedagogical content knowledge through PaP-eRs. *Research in Science Education*, v. 31, n. 2, p. 289-307, 2001.
- MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, L.; BORKO, H. Nature, sources and development of pedagogical content knowledge. In: J. GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (Ed.). *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 1999. p. 95-132.
- MALCOLM, S. A.; MAVHUNGA, E. The Development and Validation of an Instrument Measuring Topic Specific PCK in Stoichiometry: Preliminary Findings. In: 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE SOUTHERN AFRICAN ASSOCIATION FOR RESEARCH IN MATHEMATICS, SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION, Maputo, Mozambique, 2015. Maputo: SAARMSTE, 2015. Disponible en: <https://www.academia.edu/10099974/The_Development_and_Validation_of_an_Instrument_Measuring_Topic_Specific_PCK_in_Stoichiometry_Preliminary_Findings> Recuperado en: 28 nov. 2015.
- MANIZADE, A. G.; MASON, M. M. Using Delphi methodology to design assessments of teachers' pedagogical content knowledge. *Educational Studies in Mathematics*, v. 76, n. 2, p. 183-207, 2011.
- MARCON, D. 2013 *Conhecimento Pedagógico do Conteúdo*. A Integração dos Conhecimentos do Professor para Viabilizar a Aprendizagem dos Alunos. Caxias do Sul, RS: Educus, 2013.

- MARIES, A.; SINGH, C. Exploring one aspect of pedagogical content knowledge of teaching assistants using the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*, v. 9, n. 2, artículo 020120, 2013. Disponible en: <<http://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.9.020120>>. Recuperado en: 23 mar. 2015.
- MARKS, R. Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to a modified conception. *Journal of Teacher Education*, v. 41, n. 3, p. 3-11, 1990.
- MARSHMAN, E. *Improving the Quantum Mechanics Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge of Physics Graduate Students*. Tesis (Doctorado) – University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA, 2015. Disponible en: <http://d-scholarship.pitt.edu/25547/1/emarshman_etd3.pdf>. Recuperado en: 21 nov. 2015.
- MAVHUNGA, M. E.; ROLLNICK, M. The development and validation of a tool for measuring topic specific pck in chemical equilibrium. In: BRUGUIERE, C.; TIBERGUIEN, A.; CLÉMENT, P. (Eds.). E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science Learning and Citizenship. Lyon, France: European Science Education Research Association, 2012. Disponible en: <<http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/science-learning-and-citizenship/>>. Recuperado en: 2 set. 2015.
- MAVHUNGA, M. E.; ROLLNICK, M. Improving PCK of chemical equilibrium in pre-service teachers. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, v. 17, n. 1-2, p. 113-125, 2013.
- MELO-NIÑO, L. V.; CAÑADA, F.; MELLADO, V. M. El conocimiento didáctico del contenido que ponen en juego tres profesores de física de bachillerato alrededor de la enseñanza del campo eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, n. Extra, p. 2275-2279, 2013.
- MDACHI, S. J. M. Giving Thought to Students' Alternative Conceptions in Stereochemistry: One Teacher's Basis for Pedagogical Content Knowledge Improvement. *Journal of Turkish Science Education*, v. 9, n. 4, p. 22-34, 2012.
- MORRISON, A. D.; LUTTENEGGER, K. C. Measuring Pedagogical Content Knowledge Using Multiple Points of Data. *The Qualitative Report*, v. 20, n. 6, p. 804-816, 2015. Disponible en: <<http://www.nova.edu/ssss/QR/QR20/6/morrison1.pdf>>. Recuperado en: 16 nov. 2015.
- MTHETHWA-KUNENE, E.; ONWU, G. O.; DE VILLIERS, R. Exploring Biology Teachers' Pedagogical Content Knowledge in the Teaching of Genetics in Swaziland Science Classrooms. *International Journal of Science Education*, v. 37, n. 7, p. 1140-1165, 2015.
- NATIONAL COUNCIL FOR ACCREDITATION OF TEACHER EDUCATION – NCATE. *Professional Standards for the Accreditation of Teacher Preparation Institutions*, 2008. Disponible en: <<http://www.ncate.org/LinkClick.aspx?fileticket=nX43fwKc4Ak%3dytabid=474>>. Recuperado en: 2 mar. 2015.
- NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION – NAST. *Knowledge Base Supporting the 2012 Standards for Science Teacher Preparation*, 2012. Disponible en: <<http://www.nsta.org/preservice/docs/KnowledgeBaseSupporting2012Standards.pdf>>. Recuperado en: 10 mar. 2015.
- NEWTON, L. D.; NEWTON, D. P. What teachers see as creative incidents in elementary science lessons. *International Journal of Science Education*, v. 32, n. 15, p. 1989-2005, 2010.
- NILSSON, P.; LOUGHRAN, J. Exploring the Development of Pre-Service Science Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, v. 23, n. 7, p. 699-721, 2011.
- NIVALAINEN, V. et al. Preservice and Inservice Teachers' Challenges in the Planning of Practical Work in Physics. *Journal of Science Teacher Education*, v. 21, n. 4, p. 393-409, 2010.
- OLFOS, R.; GOLDRINE, T.; ESTRELLA, S. How Much Is Teachers' Pedagogical Content Knowledge Related to Students' Understanding of Fractions? *Revista Brasileira de Educação*, v. 9, n. 59, p. 913-944, 2014.
- ORLEANS, A. V. Enhancing Teacher Competence through Online Training. *The Asia-Pacific Education Researcher*, v. 19, n. 3, p. 371-386, 2010.
- ÖZDEN, M. The Effect of Content Knowledge on Pedagogical Content Knowledge: The Case of Teaching Phases of Matters. *Educational Sciences: Theory & Practice*, v. 8, n. 2, p. 633-645, 2008.

PADILLA, K.; VAN DRIEL, J. The relationships between PCK components: The case of quantum chemistry professors. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 12, n. 3, p. 367-378, 2011.

PADILLA, K. et al. Undergraduate professors' pedagogical content knowledge: The case of "amount of substance". *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1389-1404, 2008.

PARK, S.; CHEN, Y-C. Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 49, n. 7, p. 922-941, 2012.

PARK, S.; CHEN, Y-C.; JANG, J. Developing measures of teachers' pedagogical content knowledge for teaching high school biology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR SCIENCE TEACHER EDUCATION, St. Louis, MI, USA, 2008. St. Louis: ASTE, 2008.

PARK, S.; OLIVER, J. S. Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, v. 38, n. 3, 261-284, 2008.

PARK, S. et al. Is Pedagogical Content Knowledge (PCK) Necessary for Reformed Science Teaching? Evidence from an Empirical Study. *Research in Science Education*, v. 41, n. 2, p. 245-260, 2011.

PHELPS, G.; SCHILLING, S. Developing measures of content knowledge for teaching reading. *Elementary School Journal*, v. 105, n. 1, p. 31-48, 2004.

PORTER, A.; BROPHY, J. Synthesis in Research on Good Teaching: Insights from the Work of the Institute of Research on Teaching. *Education Leadership*, v. 48, n. 8, p. 74-85, 1988.

ROLLNICK, M.; MAVHUNGA; E. Can the Principles of Topic-Specific PCK Be Applied Across Science Topics? Teaching PCK in a Pre-Service Programme. In: PAPADOURIS, N.; HADJIGEORGIOU, A.; CONSTANTINOU, C. P. (Eds.). *Insights from Research in Science Teaching and Learning*, Volume 2. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 59-72.

ROLLNICK, M. et al. The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 10, p. 1365-1387, 2008.

ROZENSZAJN, R.; YARDEN, A. Mathematics and biology teachers' tacit views of the knowledge required for teaching: varying relationships between CK and PCK. *International Journal of STEM Education*, v. 1, artículo 11, 2014a. Disponible en: <<http://www.stemeducationjournal.com/content/1/1/11>>. Recuperado en: 5 nov. 2015.

ROZENSZAJN, R.; YARDEN, A. Expansion of Biology Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) During a Long-Term Professional Development Program. *Research in Science Education*, v. 44, n. 1, p. 189-213, 2014b.

SANDERS, L. R.; BORKO, H.; LOCKARD, J. D. Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out of their area of certification. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 7, p. 723-736, 1993.

SCHMELZING, S. et al. Development, evaluation, and validation of a paper-and-pencil test for measuring two components of biology teachers' pedagogical content knowledge concerning the "cardiovascular system". *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 11, n. 6, p. 1369-1390, 2013.

SEUNG, E.; BRYAN, L. A.; HAUGAN, M. P. Examining Physics Graduate Teaching Assistants' Pedagogical Content Knowledge for Teaching a New Physics Curriculum. *Journal of Science Teacher Education*, v. 23, n. 5, p. 451-479, 2012.

SHULMAN, L. S. Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

SMITH, D. C.; NEALE, D. C. The construction of subject-matter knowledge in primary science teaching. In: BROPHY, J. (Ed.). *Advances in research on teaching*, Vol. 2. Greenwich, CT, USA: JAI, 1991. p. 187-243.

STAUB, F.; STERN, E. The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: Quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, v. 94, n. 2, p. 344-355, 2002.

TALANQUER, V. Recreating a Periodic Table: A Tool for Developing Pedagogical Content Knowledge. *The Chemical Educator*, v. 10, n. 2, p. 95-99, 2005.

TOBIN, K.; TIPPINS, D. J.; GALLARD, A. J. Research on instructional strategies for teaching science. In: GABEL, D. L. (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 1994. p. 45-93.

U AK, M. Preservice Science and Technology Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Cell Topics. *Educational Sciences: Theory & Practice*, v. 9, n. 4, p. 2033-2046, 2009.

VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N.; DE VOS, W. Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 35, n. 6, p. 673-695, 1998.

WALLER, L. I. *Math Intervention Teachers' Pedagogical Content Knowledge And Student Achievement*. Tesis (Doctorado) – Eastern Kentucky University, Richmond, KY, USA, 2012. Disponible en: <<http://encompass.eku.edu/etd/57>>. Recuperado en: 3 jun. 2015.

WRAGG, E. et al. *Improving Literacy in the Primary School*. London: Routledge, 1998.

JOSÉ JAVIER VERDUGO-PERONA

Ingeniero Agrícola y Licenciado en Ciencias Ambientales; doctorando del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València, València, España
joverpe@alumni.uv.es

JOAN JOSEP SOLAZ-PORTOLÉS

Profesor Asociado en el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València, València, España
joan.solaz@uv.es

VICENT SANJOSÉ-LÓPEZ

Profesor Titular del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València, València, España
vicente.sanjose@uv.es