



# Estudio exploratorio comparativo del conocimiento didáctico del contenido sobre pilas galvánicas de profesores de secundaria en ejercicio y en formación

## A comparative exploratory study of pre-service and in-service high school teachers' pedagogical content knowledge in galvanic cells

Ana Brines Brines, Joan Josep Solaz-Portolés, Vicent Sanjosé López  
*Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials de la Universitat de València*  
bribria@alumni.uv.es, joan.solaz@uv.es, vicente.sanjose@uv.es

**RESUMEN** • En este estudio exploratorio se evalúa el conocimiento didáctico del contenido (CDC) sobre pilas galvánicas de profesores de secundaria en formación y en ejercicio. Además, este conocimiento se ha relacionado con los enfoques de enseñanza que prefieren. Para este propósito, se ha adaptado el instrumento CoRe de Loughran, Mulhall y Berry (2004) considerando dos situaciones: pila Daniell y pila voltaica simple. La muestra se compuso de 25 profesores en formación y de 15 profesores en ejercicio. El análisis de los resultados obtenidos hasta ahora sugiere que, en primer lugar, el CDC de los profesores de secundaria sobre pilas galvánicas no es el deseable; en segundo lugar, el CDC de los profesores en ejercicio parece significativamente mejor que el de los profesores en formación, y finalmente, no se observan diferencias significativas entre ambos grupos de profesores en las metodologías de enseñanza preferidas.

**PALABRAS CLAVE:** conocimiento didáctico del contenido; formación de profesores de ciencias; metodologías de enseñanza; pilas galvánicas; profesores en ejercicio y en formación.

**ABSTRACT** • In this exploratory study pre-service and in-service high school teachers' pedagogical content knowledge (PCK) in galvanic cells is assessed. In addition, this knowledge has been related to the instructional approaches they prefer. A written questionnaire, adapted from the Loughran, Mulhall, and Berry's CoRe instrument (2004), considering two different situations (Daniell cell and simple voltaic cell), has been used for this purpose. The sample made up of 25 pre-service teachers and 15 in-service teachers. The analysis of the results achieved so far suggest that: a) high school teachers' PCK on galvanic cells is not a desirable knowledge; b) in-service teachers seems to have a significantly better PCK than pre-service teachers; and c) there seem to be no significant differences in preferred teaching approaches between the two groups of teachers.

**KEYWORDS:** pedagogical content knowledge; science teachers training; teaching methodologies; galvanic cells; pre-service and in-service teachers.

Recepción: abril 2015 • Aceptación: diciembre 2015 • Publicación: junio 2016

Brines Brines, A., Solaz-Portolés, J. J., Sanjosé López, V., (2016) Estudio exploratorio comparativo del conocimiento didáctico del contenido sobre pilas galvánicas de profesores de secundaria en ejercicio y en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 34.2, pp. 107-127

## INTRODUCCIÓN

Los conocimientos y las destrezas didácticas del profesorado son fruto de un conjunto de procesos y actividades de aprendizaje que se llevan a cabo a lo largo de sus distintas etapas de formación y práctica docente. Estos saberes resultan de la especial combinación de los conocimientos sobre los contenidos y su didáctica, y frecuentemente se denominan *pedagogical content knowledge*, *PCK* (Guess-Newsome, 1999). La traducción más utilizada en lengua castellana de *pedagogical content knowledge* es ‘conocimiento didáctico del contenido’, CDC. El CDC liga los conocimientos sobre enseñanza y aprendizaje y, como es natural, las acciones que desarrolla un profesor en el aula vienen determinadas por la amplitud y profundidad de su CDC. Esto podría justificar su importancia y la necesidad de instrumentos que permitan evaluarlo, así como de investigaciones que saquen a la luz las características del CDC del profesorado en distintos temas.

Por otro lado, se han puesto de manifiesto las dificultades en la comprensión de la electroquímica, en general, y en las pilas galvánicas, en particular, tanto en los estudiantes (Sanger y Greenbowe, 1997 *a* y *b*) como en los profesores (Özkaya, 2002; Özkaya, Üce y Şahin, 2003). En consecuencia, es previsible que los profesores no dispongan, en general, del CDC más adecuado en esta área. Además, dado que el CDC no es estático y normalmente se puede enriquecer en el transcurso de la vida profesional (Van Driel, Verloop y de Vos, 1998), es plausible que sea diferente en los profesores en ejercicio y en formación. En este estudio, intentaremos evaluar cuantitativamente el CDC de profesores, en ejercicio y en formación, sobre pilas galvánicas. Posteriormente, a partir de la información recogida, categorizaremos al profesorado de acuerdo con sus preferencias en metodologías de enseñanza.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES

El denominado CDC es comúnmente considerado como el núcleo del conocimiento profesional del profesor (Borko y Putnam, 1996; Munby, Russell y Martin, 2001), es decir, aquel conocimiento específico de los profesores (por ejemplo, de Química) que los diferencia de otros profesionales (por ejemplo, químicos industriales) cuyo conocimiento disciplinar de base es el mismo. Fue definido por Shulman (1987) como la amalgama del conocimiento de los contenidos (conocimientos disciplinarios de la materia que se enseña, incluyendo su historia y su epistemología), del conocimiento pedagógico-psicológico (conocimientos sobre el aprendizaje, las metodologías de enseñanza, gestión del trabajo en el aula, etc.), y del conocimiento derivado de las experiencias en el ámbito de la docencia que permite al profesor entender cómo debe actuar para abordar los procesos de enseñanza-aprendizaje de acuerdo con las habilidades e intereses de los estudiantes. Este autor también incluyó en el CDC el conocimiento sobre las concepciones alternativas (*misconceptions*) que sostienen los estudiantes en diferentes ámbitos científicos y las medidas instruccionales que permiten transformarlas (Shulman, 1986). Se han propuesto nuevas definiciones del CDC (Hashweh, 2005; Park y Oliver, 2007), pero pensamos que no aportan mucho más desde el punto de vista práctico.

De gran interés han sido los intentos de *modelizar* el CDC. Así, Cochran, DeRuiter y King (1993) proponen que la estructura del CDC de un profesor tiene cuatro componentes: pedagogía, contenidos de la disciplina, características de los estudiantes y el contexto ambiental de aprendizaje. Por su parte, el modelo de CDC propuesto por Magnusson, Krajcik y Borko (1999) es uno de los más utilizados en el área de la didáctica de las ciencias. En este modelo, el CDC tiene cinco componentes: orientaciones para la enseñanza de las ciencias, conocimientos sobre la comprensión de los estudiantes, conocimientos sobre estrategias instruccionales, conocimientos sobre el currículo de la disciplina científica y conocimientos para evaluar los aprendizajes científicos. En cualquier caso, todos los autores parecen coincidir en que el CDC es un constructo complejo constituido por diversos componentes y sus interrelaciones.

Tanto en el trabajo de Park y Chen (2012) como en el de Aydin y Boz (2013), se ha comprobado que el nivel de relación entre los cinco componentes del CDC del modelo de Magnusson y colaboradores es idiosincrático y dependiente de la materia que se trate, y que los pilares de las relaciones entre esos componentes son los conocimientos sobre la comprensión de los estudiantes y sobre las estrategias de instrucción. En el primer trabajo (Park y Chen, 2012), también se observó que los conocimientos sobre evaluación de aprendizajes y la comprensión de los estudiantes están muy ligados, así como también lo están los conocimientos sobre estrategias instruccionales y las orientaciones didácticas para la enseñanza. Sin embargo, los conocimientos sobre el currículo y sobre evaluación están poco asociados con los demás.

Por otro lado, se ha mostrado que un buen CDC siempre tiene como elemento fundamental el conocimiento de los contenidos de la disciplina (Abell, 2007; Van Driel, Verloop y de Vos, 1998). De hecho, en una investigación cuantitativa (Kaya, 2009) se encontró una fuerte, estadísticamente significativa y positiva correlación entre el CDC y el nivel de conocimientos sobre contenidos de la disciplina. No obstante, como fácilmente podemos suponer, estos conocimientos no garantizan un CDC adecuado. Así, por ejemplo, se ha visto que un buen nivel de conocimientos sobre la materia que se va a enseñar no conlleva necesariamente la utilización de estrategias instruccionales adecuadas (Newton y Newton, 2010). En relación con las fuentes de generación y desarrollo del CDC, se han identificado las siguientes (Appleton y Kindt, 2002; Grossman, 1990):

- a) Observación de clases, tanto como estudiante como profesor en formación.
- b) Formación disciplinaria.
- c) Cursos específicos de formación de profesores.
- d) Experiencias de enseñanza en el aula.
- e) Recomendaciones de reputados profesores colegas.

Loughran, Mulhall y Berry (2004) propusieron una metodología para *capturar* el CDC que consta de dos elementos. El primero se denomina *representación de los contenidos* (*content representation*, CoRe), y el segundo, *repertorio de experiencias pedagógicas y profesionales* (*professional and pedagogical experience repertoire*, PaP-eR). El primer elemento se compone de un conjunto de ocho preguntas que intenta recoger la visión del profesor sobre cómo enseñar un determinado tema. En la tabla 1, que aparecerá más adelante, pueden verse estas preguntas aplicadas a una situación concreta. El segundo elemento busca recopilar toda la información relevante sobre cómo el profesor enseña el tema en la práctica. El primer elemento, CoRe, está siendo empleado como un instrumento para evaluar y desarrollar el CDC de los profesores (Hume y Berry, 2011; Loughran, Berry y Mulhall, 2012).

Dentro del ámbito de las ciencias experimentales, en España se han realizado investigaciones relevantes sobre el CDC del profesorado. Así, sin ánimo de ser exhaustivos, podemos citar las de Blanco, Mellado y Ruiz (1995), que definieron y acotaron el concepto de CDC y lo enmarcaron en el campo de la formación de profesores de Ciencias Experimentales y Matemáticas; Mellado (1996), quien comparó las concepciones sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias de profesores en formación de primaria y secundaria con su práctica en el aula; Acevedo (2009), que expuso el significado general de CDC y revisó su aplicación para orientar la enseñanza de la naturaleza de la ciencia; Mellado *et al.* (2014), que analizan las emociones y el dominio afectivo como parte del CDC, y Melo, Cañada, Mellado y Díaz (2015), quienes proporcionan las características del CDC de profesores de secundaria sobre el concepto de *campo eléctrico*.

Llegados a este punto, queremos destacar otros estudios que se han llevado a cabo en los últimos años sobre el CDC de profesores de Física y Química de secundaria. Comenzaremos con el trabajo de Halim y Meerah (2002), que puso en evidencia que el CDC de los profesores de Física en formación es muy limitado y no les permite utilizar las estrategias de enseñanza apropiadas para promover en los estudiantes la comprensión de los conceptos. Por su parte, Cohran, Wells y Brookes (2013) alertan

sobre la necesidad de que el profesorado de Física desarrolle, durante su formación y ejercicio, un CDC apto para la enseñanza. En este sentido, Melo, Cañada, Mellado y Buitrago (2013) utilizaron el instrumento CoRE, citado anteriormente, para caracterizar el CDC sobre el campo eléctrico de profesores colombianos de Física, con el objetivo de diseñar posteriormente un programa de formación. Por último, cabe citar el artículo de Etkina (2010), en el que se detalla pormenorizadamente un programa para acrecentar el CDC de profesores de Física de secundaria en formación en EE. UU.

Entre las investigaciones sobre el CDC de profesores de secundaria en el ámbito de la Química, señalaremos las llevadas a cabo con profesores en formación por Van Driel, De Jong y Verloop (2002) y Freire y Fernandez (2014), en las que se concluye que el CDC se ve influenciado de manera muy significativa por las experiencias en la enseñanza y por los tutores que se han tenido durante la formación. Con el mismo profesorado, Passos-Sá y Garritz (2014) y De Jong, Van Driel y Verloop (2005) ponen a prueba con éxito un plan de formación para mejorar el CDC sobre la naturaleza de la materia. En cuanto a los profesores en ejercicio, Clermont, Borko y Krajcik (1994) muestran que los profesores expertos tienen un mayor repertorio de representaciones y adaptaciones para enseñar conceptos que los novatos, que además les permite efectuar simplificaciones para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. Por su parte, Lee y Luft (2008) ponen en evidencia que cada profesor tiene un CDC diferente que le dirige en sus decisiones y acciones instruccionales. Finalmente, Alvarado, Cañada, Garritz y Mellado (2015) documentan el CDC de profesores mexicanos en la enseñanza de las reacciones ácido-base.

Resultan de especial interés para nuestro trabajo los estudios de Aydin, Friedrichsen, Bozc y Hanuscib (2014) y de Rollnick y Mavhunga (2014) sobre el CDC del profesorado de enseñanza secundaria de Electroquímica. Del primer estudio se destacan dos hechos: las características del CDC del profesorado son dependientes del tema o las cuestiones que se abordan, y el profesorado presenta deficiencias en la secuenciación de los contenidos y en su evaluación. En el segundo, se analiza la capacidad de planificar y gestionar la enseñanza y se concluye que el profesorado de la escuela pública muestra, en este aspecto, un nivel por debajo de lo que sería deseable para impartir una enseñanza de calidad.

Es extraordinariamente importante centrar la atención sobre las concepciones alternativas (*misconceptions*) de los estudiantes y profesores si se tiene como objetivo enriquecer el CDC de los profesores (Mdachi, 2012). Es bien conocido que estudiantes y profesores sostienen concepciones alternativas en diferentes temas y áreas de las ciencias (Duit, 2009). Así, por ejemplo, se ha encontrado que en electroquímica, un tema en el que estudiantes y profesores de secundaria tienen serias dificultades (Rollnick y Mavhunga, 2014), estudiantes de diferentes países tienen similares concepciones alternativas (Özkaya, 2002). Las ideas erróneas más comunes en estudiantes de secundaria y de universidad sobre las pilas galvánicas pueden encontrarse en el trabajo de Sanmartín, Solaz-Portolés y Sanjosé (2014). A este respecto, se puede señalar que, en opinión de Gomes, Carneiro y Bispo (2012), el estudio y la construcción de generadores electroquímicos (baterías y pilas) no son debidamente tratados en los cursos de Física. En el trabajo de Saslow (1999), se pone de relieve la importancia de las pilas galvánicas en el currículo de Física, y se ofrece una discusión orientada hacia los conocimientos básicos sobre estas pilas.

No podemos dejar de indicar que las concepciones sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje ejercen una intensa influencia sobre la práctica docente y difícilmente se modifican a lo largo de la vida profesional (Pajares, 1992), lo que explicaría que el profesorado, a pesar de formarse didácticamente, continúe utilizando la misma metodología de enseñanza que al inicio de su carrera docente (Solbes, Domínguez-Sales, Fernández-Sánchez, Furió, Cantó y Guisasola, 2013). Que estas concepciones guíen el trabajo en el aula del profesor es bastante lógico ya que, como ya se ha apuntado anteriormente, un pivote del CDC son los conocimientos sobre estrategias de instrucción. En este sentido, ha habido diferentes intentos de categorizar las distintas concepciones del profesorado sobre la enseñanza en distintos ámbitos científicos (Aguirre, Haggerty y Linder, 1990; Porlán, Rivero y Martín, 1998; Smith y Neale, 1991). Especial mención queremos hacer aquí de la propuesta de Pozo (1997) de distintos

enfoques para la enseñanza de las ciencias, que tiene una rigurosa fundamentación teórica. Los distintos enfoques de enseñanza de esta propuesta son: tradicional, descubrimiento, expositivo, conflicto cognitivo, investigación y modelos. En el anexo 2 pueden verse los principales rasgos de cada enfoque.

## CUESTIONES PARA INVESTIGAR E HIPÓTESIS

Es importante para un profesor disponer de un buen CDC para conseguir una enseñanza exitosa, y hemos visto las posibilidades que brinda este constructo para evaluar y formar al profesorado de secundaria. También se han mencionado las dificultades que presentan los estudiantes y profesores de secundaria en el tema de electroquímica, en particular la abundancia de ideas alternativas sobre el funcionamiento de las pilas galvánicas. Por último, se ha indicado que las concepciones del profesorado sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje son muy resistentes al cambio. Todo ello nos induce a preguntarnos:

- a) ¿Tienen los profesores de secundaria un CDC sobre pilas galvánicas adecuado?
- b) ¿Difiere significativamente el CDC de profesores en ejercicio y en formación?
- c) ¿Tienen preferencias diferentes ambos tipos de profesores sobre la metodología de enseñanza?

Tomando como referencia los resultados de la literatura anteriormente citados, nuestras hipótesis son:

1. El CDC sobre pilas galvánicas del profesorado de secundaria no es el deseable cuando se evalúa mediante el instrumento representación de los contenidos (*content representation, CoRe*).
2. El CDC de los profesores en ejercicio es significativamente mejor que el de los profesores en formación.
3. No hay diferencias significativas en las preferencias sobre metodología de enseñanza de ambos colectivos de profesores.

## METODOLOGÍA

### Diseño experimental

Pretendemos determinar y comparar cuantitativamente de manera aproximada y tentativa el CDC sobre pilas galvánicas de profesores en ejercicio y en formación. Para ello, llevamos a cabo una investigación exploratoria cuyo diseño es transaccional o transversal descriptivo, porque las medidas se toman en una sola ocasión. La variable independiente es el tipo de profesor de secundaria, en ejercicio o en formación. La variable dependiente es la medida del CDC.

### Sujetos participantes

Han intervenido un total de cuarenta profesores, de los cuales veinticinco son profesores de secundaria en formación, estudiantes del Máster de Formación del Profesorado de Secundaria (especialidad Física y Química) de la Universitat de València (España). De ellos, trece son químicos, tres físicos, tres farmacéuticos, un graduado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, un arquitecto y cuatro ingenieros (dos químicos, un agrónomo y uno de montes). Los quince restantes son profesores en ejercicio de distintas partes de España que enseñan Física y Química en la educación secundaria (once son químicos, tres físicos y un ingeniero químico). Tienen de media 15,7 años de experiencia docente y solo hay una profesora con menos de 10 años de experiencia. Tres de ellos han realizado un doctorado en Didáctica de las Ciencias y todos, menos uno, han llevado a cabo actividades de formación permanente. De acuerdo con las directrices de Cohen (1988), con este tamaño de muestra se lograría una potencia estadística un

poco por debajo de 0,80, con un nivel de confianza un poco por encima de 0,05 (Lenth, 2009), que puede considerarse aceptable para un estudio exploratorio como el nuestro. En cualquier caso, se trató de muestras de conveniencia y, por tanto, la validez externa no está garantizada. Además, los profesores no sufrieron selección alguna para participar en este estudio.

## Instrumentos

Se elaboró un cuestionario de preguntas abiertas formuladas para dos situaciones diferentes. En la primera situación, se aborda el caso de una pila galvánica (en concreto, la pila Daniell); en la segunda, se plantea el estudio de una pila voltaica simple (una placa de zinc unida a un hilo de cobre sumergidos en una disolución de ácido clorhídrico diluido). Las preguntas incluidas en cada situación están basadas en el instrumento representación de los contenidos (*content representation*, CoRe) que proponen Loughran, Mulhall y Berry (2004) para acceder al CDC. Las preguntas para el caso de la primera situación (para la segunda situación son similares) se ofrecen en la tabla 1.

Tabla 1.

Preguntas abiertas incluidas en el cuestionario para la primera situación (pila Daniell)

1. ¿Qué intentaría que los estudiantes aprendiesen en relación con las siguientes cuestiones de las pilas galvánicas (de la pila Daniell, por ejemplo)? – Conductión eléctrica en cada punto del circuito cerrado que constituye la pila. – Movimiento de iones en la pila y cantidad relativa de iones positivos y negativos en cada electrodo. – 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-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)?

Con este cuestionario pretendemos no solo determinar el CDC del profesorado, sino que también intentaremos obtener de manera aproximada, mediante al análisis de las respuestas, el perfil de preferencia en la metodología de enseñanza del docente.

## Procedimiento

El cuestionario se administró a los profesores en formación en una sesión de las clases del máster. Dispusieron de todo el tiempo que necesitaron, no hubo limitación de tiempo y no se les pidió datos personales. En cambio, a los profesores en ejercicio se les envió mayoritariamente por *e-mail* y se les pidió que lo cumplimentaran sin buscar información en la bibliografía o por Internet. A todos se les pidió la máxima sinceridad y esfuerzo en las respuestas.

Para la evaluación numérica del cuestionario, se elaboró un protocolo de «respuestas correctas» (que se recogen en el anexo 1 para el caso de la primera situación) a partir de las respuestas dadas a este cuestionario por dos profesores universitarios expertos (han impartido docencia varios años en la universidad, y además son investigadores en el área de Didáctica de las ciencias fisicoquímicas, en la que han hecho su doctorado). Sus respuestas corresponderían a un CDC alto-muy alto.

Las respuestas a los cuestionarios de los profesores en formación y en ejercicio participantes en nuestra investigación se cuantificaron, siguiendo el protocolo citado, por una autora de este trabajo y un profesor universitario (cada aspecto de la pregunta –o ítem– tiene una puntuación que aparece en el anexo 1, de tal manera que la suma en cada pregunta siempre resulta de valor 1, es decir, cada pregunta tiene de puntuación máxima 1). Para la primera situación del cuestionario (pila Daniell), el valor del índice kappa de Cohen fue de 0,64 (error estándar 0,07, intervalo de confianza del 95% comprendido entre los valores 0,47 y 0,76); para la segunda situación (pila voltaica simple), el valor de kappa fue de 0,78 (error estándar 0,07, intervalo de confianza del 95% comprendido entre los valores 0,65 y 0,94). Estos valores de kappa nos indican un grado de acuerdo entre jueces bueno. En el caso de producirse discrepancias en la valoración, se resolvían de mutuo acuerdo.

En la determinación, a partir del cuestionario, de la preferencia en la metodología de enseñanza, los autores de este trabajo aplicaron el anexo 2, que recoge las características de los seis enfoques de enseñanza que señala Pozo (1997). Esto es, se elaboró una rúbrica en forma de planilla que contenía estas características y un espacio en blanco para marcar si se presentaba esta característica. Se buscaron las características o rasgos de los enfoques en las respuestas de los profesores al cuestionario y se apuntaron en la planilla. Cuando se acumulan más de tres rasgos de un enfoque metodológico, se le asigna a este profesor el perfil metodológico en el que ha acumulado mayor número de rasgos, es decir, se computa su pertenencia a una determinada categoría metodológica de las seis posibles. Si en ningún caso se llega a tres rasgos, el profesor queda asimilado a un séptimo perfil metodológico que hemos denominado *sin perfil metodológico definido*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se representan las puntuaciones medias (normalizamos la calificación al intervalo 0-10 puntos multiplicando por 10 y dividiendo por 8, con lo que la puntuación máxima pasó a ser 10 puntos) en las dos situaciones del cuestionario del CDC de los profesores en formación y en ejercicio.

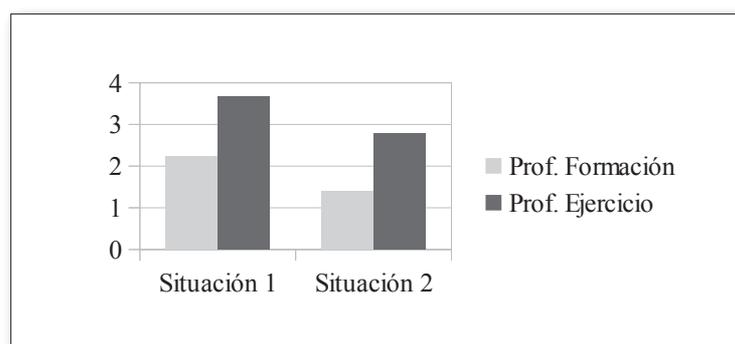


Fig. 1. Puntuaciones medias de los profesores en las dos situaciones (pila Daniell, situación 1, y pila voltaica simple, situación 2) del cuestionario del CDC (puntuación máxima en cada situación 10 puntos).

Como puede observarse en la figura 1, las puntuaciones medias en la situación 1 son más altas que en la situación 2, pero en ningún caso llegan a alcanzar la puntuación de 5 sobre 10. Es decir, el CDC de los profesores de secundaria es mejor en el caso de la pila Daniell que en el de la pila voltaica simple, pero no es bueno o aceptable en ninguna de las dos situaciones. Por otra parte, los profesores en ejercicio han obtenido calificaciones más altas en ambas situaciones.

La fiabilidad del cuestionario para cada grupo de profesores, determinada mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre las puntuaciones de la situación 1 y de la situación 2, ha resultado ser de 0,68 (g.l.=24,  $p < 0,001$ ) para los profesores en formación y de 0,94 (g.l.=14,  $p < 0,001$ ) para los profesores en ejercicio. Por tanto, su fiabilidad es alta en el caso de profesores en ejercicio y aceptable para los profesores en formación. No se ha determinado la validez de contenido al tratarse de la mera adaptación de un instrumento (CoRE) propuesto por expertos (Loughran, Mulhall y Berry, 2004) que está siendo utilizado por investigadores en todo el mundo.

El test de Shapiro-Wilk, aplicado a las puntuaciones de profesores en formación en la situación 1 y 2, conduce a los siguientes valores  $W=0,96$  ( $p=0,45$ ) y  $W=0,94$  ( $p=0,34$ ) respectivamente, y en el caso de los profesores en ejercicio, a  $W=0,98$  ( $p=0,95$ ) y  $W=0,94$  ( $p=0,34$ ) respectivamente. En consecuencia, en todos los casos se puede rechazar la hipótesis nula y puede considerarse que todas las puntuaciones siguen una distribución normal.

La aplicación de la prueba t de Student a las puntuaciones totales de la situación 1, de ambos grupos de profesores, nos da una  $t=3,14$ , g.l.=38,  $p < 0,01$ . Así pues, podemos afirmar que existen diferencias de puntuación en el cuestionario de la situación 1 entre ambos grupos de profesores en un nivel estadísticamente significativo. En el caso de las puntuaciones totales de la situación 2, la aplicación de la misma prueba estadística resulta  $t=2,94$ , g.l.=38,  $p < 0,01$ , que nos indica nuevamente que las puntuaciones difieren de manera estadísticamente significativa. Por otra parte, la prueba t de Student pone de manifiesto que no hay diferencias significativas entre las puntuaciones de ambas situaciones.

Así pues, de acuerdo con estos resultados, los profesores en ejercicio tendrían un CDC más desarrollado que los profesores en formación en lo que respecta a pilas galvánicas. Es lógico que presenten un CDC mucho más amplio que es fruto de su experiencia profesional, es decir, entra dentro de la normalidad que tengan conocimientos mejores sobre los contenidos, los estudiantes y las estrategias instruccionales. Además, estos resultados son coherentes con otras investigaciones realizadas sobre CDC por otros autores (Clermont, Borko y Krajcik, 1994; Freire y C. Fernandez, 2014; Van Driel, De Jong y Verloop, 2002).

En la tabla 2 aparecen las medias aritméticas de las puntuaciones de los profesores en cada pregunta o ítem de la primera situación del cuestionario (con su correspondiente desviación típica entre paréntesis).

Tabla 2.  
Puntuación promedio de los profesores en cada ítem  
de la primera situación del cuestionario (con su correspondiente desviación típica)

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8
Prof. Formación	0,51 (0,27)	0,09 (0,19)	0,14 (0,14)	0,18 (0,22)	0,09 (0,16)	0,16 (0,30)	0,33 (0,21)	0,26 (0,17)
Prof. Ejercicio	0,69 (0,27)	0,19 (0,19)	0,36 (0,23)	0,20 (0,17)	0,25 (0,21)	0,31 (0,32)	0,44 (0,26)	0,49 (0,17)

En la tabla 3 aparecen las medias aritméticas de las puntuaciones de los profesores en cada pregunta o ítem de la segunda situación del cuestionario (con su correspondiente desviación típica entre paréntesis).

Tabla 3.  
Puntuación promedio de los profesores en cada ítem  
de la segunda situación del cuestionario (con su correspondiente desviación típica)

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8
Prof. Formación	0,15 (0,13)	0,12 (0,13)	0,04 (0,14)	0,07 (0,14)	0,08 (0,16)	0,15 (0,27)	0,24 (0,22)	0,26 (0,23)
Prof. Ejercicio	0,37 (0,24)	0,04 (0,13)	0,28 (0,26)	0,24 (0,24)	0,22 (0,24)	0,19 (0,28)	0,43 (0,33)	0,45 (0,30)

Puede observarse que, en el grupo de profesores en formación, las puntuaciones en los ítems de la situación 1 siempre son más altas que en la situación 2, a excepción del ítem 2 y del ítem 8. También pasa lo mismo en el grupo de profesores en ejercicio, pero en este caso es el ítem 4 en el que se puntúa más bajo en la situación 1.

En la situación 1, la puntuación más alta (ítem más fácil) la tiene el ítem 1 en ambos grupos de profesores. La puntuación más baja (ítem más difícil) la tiene el ítem 2 en ambos grupos de profesores, compartida con el ítem 5 en el caso de profesores en formación. En la situación 2, la puntuación más alta la tiene el ítem 8 en ambos grupos de profesores. La puntuación más baja corresponde al ítem 3 en el caso de profesores en formación, y al ítem 2 en los profesores en ejercicio. Así pues, ambos grupos de profesores no saben justificar apropiadamente la importancia de los objetivos de aprendizaje en relación con los puntos clave planteados para pilas galvánicas (ítem 2) y, de manera específica, los profesores en formación desconocen los objetivos de aprendizaje (ítem 3) y las dificultades y concepciones alternativas que tendrían los estudiantes (ítem 5).

La aplicación sucesiva de la prueba t de Student en las puntuaciones de cada ítem de la situación 1 pone de manifiesto que en los ítems 1, 3, 5 y 8 hay diferencias significativas de puntuación entre los profesores en ejercicio y en formación en un nivel de confianza de, al menos, el 95% (en el ítem 3,  $t=3,35$ , g.l.=38,  $p<0,001$ ). En el caso de la situación 2, las diferencias significativas ( $p<0,05$ ) aparecen en los ítems 1, 3, 4, 5, 7 y 8 (en el ítem 3,  $t=3,30$ , g.l.=38,  $p<0,001$ ). Por tanto, las diferencias entre ambos grupos de profesores en el CDC sobre pilas galvánicas se concentran sobre todo en los ítems 1, 3, 5 y 8. Los ítems 1 y 3 están relacionados con los objetivos de aprendizaje. El ítem 5 hace referencia a las posibles dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas que tendrán los estudiantes. Finalmente, el ítem 8 plantea cómo y de qué podría evaluarse a los estudiantes.

En la figura 2, se ofrece la distribución del porcentaje de sujetos en ambos grupos de profesores tras la adscripción de cada uno de ellos a un determinado enfoque metodológico (tradicional, descubrimiento, expositivo, conflicto cognitivo –o cambio conceptual–, investigación, modelos, y sin perfil definido –este último lo hemos propuesto nosotros–).

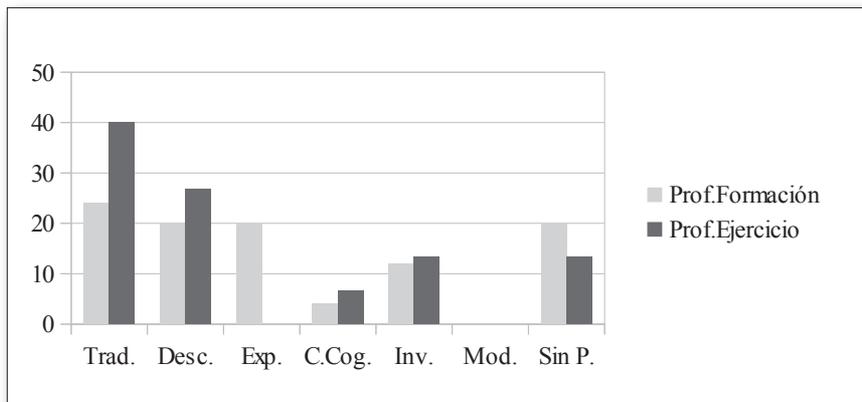


Fig. 2. Distribución del porcentaje de sujetos en los grupos de profesores en formación y en ejercicio en las diferentes categorías de metodologías de enseñanza (tradicional, descubrimiento, expositiva, conflicto cognitivo, investigación, modelos, y sin perfil definido).

Como puede verse, en los profesores en ejercicio los porcentajes mayores, bastante más grandes que los demás, se dan en las metodologías tradicional y por descubrimiento. Sin embargo, en profesores en formación la distribución es más homogénea (mayor variedad de perfiles metodológicos) y no llega a destacar ninguna especialmente. Esto podría justificarse por el hecho de que su falta de experiencia no les ha permitido todavía decantarse por una metodología que les funcione bien. Es decir, simplemente se basarían o bien en lo que vivieron como alumnos o bien en lo que están actualmente aprendiendo en el Máster en Formación del Profesorado. Es digno de destacarse, además de que la metodología tradicional es la preferencia mayoritaria, el notable porcentaje de profesores en ejercicio que muestran preferencia hacia la metodología por descubrimiento (mayor del 25%). Solamente podemos sugerir al respecto, a título de hipótesis, que hay una parte importante del profesorado que piensa que hay que hacer cosas nuevas y atractivas en el aula para motivar e implicar a los estudiantes, independientemente del aprendizaje generado. No obstante esto, hemos de recordar que la forma que hemos utilizado de categorizar al profesorado es aproximativa y que, por tanto, puede ser que un profesor en una determinada cuestión o cuestiones se haya manifestado cercano a una determinada metodología, que en realidad en su práctica diaria no utilice.

Las dos metodologías que, desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias actual, parecerían más aconsejables, conflicto cognitivo (o cambio conceptual) e investigación, tienen porcentajes relativamente bajos. Esto nos confirma que el profesorado es muy resistente a llevar a cabo cambios metodológicos (Solbes, Domínguez-Sales, Fernández-Sánchez, Furió, Cantó y Guisasaola, 2013). Por último, cabe indicar que la enseñanza mediante modelos no parece tener adeptos, y que hay un porcentaje destacable de sujetos que no muestran un perfil metodológico que encaje exactamente en alguna de las seis metodologías analizadas.

Con el propósito de determinar si existe algún tipo de asociación entre la variable grupo de profesores (formación/ejercicio) y la variable perfil metodológico, usamos la prueba «chi cuadrado». Su valor es:  $\chi^2=0,5$  (g.l.=5,  $p>0.05$ ). Como puede observarse por el número de grados de libertad, hemos eliminado la metodología de enseñanza por modelos, dado que no había ningún sujeto en este perfil. Este resultado parece indicar que no hay una asociación significativa entre la pertenencia a un determinado grupo de profesores y su perfil metodológico en la enseñanza. Con todo, debemos recordar que el criterio de categorización es aproximativo y las conclusiones que se derivan también lo serán.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Puede observarse en la figura 1, en la que se muestran las puntuaciones medias de las situaciones planteadas en los cuestionarios, que los profesores, tanto en ejercicio como en formación, puntúan bastante por debajo del 5 (sobre 10 puntos) en ambas situaciones planteadas sobre pilas galvánicas. Esto pondría en evidencia que el CDC sobre pilas galvánicas es bajo en ambos grupos de profesores. Este resultado podría verificar la hipótesis 1 de nuestro estudio, esto es, que el CDC sobre pilas galvánicas del profesorado de educación secundaria no es el deseable.

En este trabajo se han detectado diferencias significativas entre las puntuaciones obtenidas en el cuestionario del CDC por los profesores en ejercicio y los profesores en formación. De ello, parece concluirse que el CDC sobre pilas galvánicas de los profesores en ejercicio es mejor que el de los profesores en formación. Estos resultados podrían confirmar nuestra segunda hipótesis. Por otro lado, del análisis de ítems de nuestro cuestionario se puede vislumbrar dónde radican fundamentalmente tales diferencias. En concreto, las diferencias se centran en los conocimientos sobre los objetivos de aprendizaje, las posibles dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas que tienen los estudiantes, y en cómo y de qué debe evaluarse a los estudiantes.

En relación con la preferencia del enfoque metodológico en la enseñanza de ambos grupos de docentes, se ha observado que no existen diferencias significativas entre los profesores en ejercicio y en formación. Todo apunta, pues, a que se probaría la veracidad de nuestra tercera hipótesis. No obstante, se ha comprobado que los profesores en formación utilizarían mayor variedad de metodologías de enseñanza que los profesores en ejercicio. En estos últimos, es destacable el porcentaje de profesores que se inclina hacia la metodología tradicional de enseñanza.

Las consecuencias que se derivan del análisis global de los resultados obtenidos en el presente trabajo (que, recordemos, tiene carácter exploratorio) señalan la necesidad de mejorar el CDC sobre pilas galvánicas de los profesores de secundaria. Pensamos que, en primer lugar, es urgente mejorar la formación en electroquímica en general y sobre pilas galvánicas en particular (conocimientos sobre contenidos disciplinares) de los profesores. En concreto, al comparar la situación 1 (pila Daniell) y la situación 2 (pila voltaica simple) se ha puesto en evidencia el escaso CDC del profesorado en pilas voltaicas simples.

Asimismo, todos los profesores, pero particularmente los futuros profesores, deberían incrementar sus conocimientos sobre, en primer lugar, las dificultades y posibles ideas erróneas de los estudiantes en esa área (conocimientos sobre la comprensión de los estudiantes); en segundo lugar, por qué es importante que los estudiantes aprendan ciertos contenidos (conocimientos sobre el currículo de la disciplina científica); en tercer lugar, cómo y de qué debe evaluarse a los estudiantes (conocimientos para evaluar los aprendizajes científicos), y, por último, las ventajas que proporcionan ciertas metodologías de carácter indagativo (conocimientos sobre estrategias instruccionales). En este sentido, la investigación en la didáctica de las ciencias muestra las virtudes de introducir en el aula una metodología socioconstructivista de enseñanza que, mediante una secuencia de actividades de aprendizaje que aborda situaciones problemáticas, permite a los estudiantes construir su conocimiento a partir de sus ideas previas (Furió y Furió, 2009).

Todo lo mencionado anteriormente viene a reforzar la idea de la necesidad de mejorar y ampliar la formación inicial del profesorado, o dicho de otra manera, pone en evidencia las limitaciones de la formación inicial del profesorado actual. Otro aspecto muy importante que cabe señalar que se deriva de todo lo dicho con anterioridad, y que está bastante olvidado últimamente por la Administración educativa, es la perentoriedad de promover y mejorar la formación permanente del profesorado de Ciencias Experimentales en la educación secundaria.

Para acabar, subrayaremos que la principal limitación de la presente investigación puede derivarse de la naturaleza y el tamaño de la muestra. Los resultados y conclusiones que hemos obtenido solo pueden ser válidos en sentido estricto para los sujetos que han intervenido en ella. Otras limitaciones pueden tener su origen en el instrumento que hemos empleado (el cuestionario) y la forma en la que se ha utilizado. En concreto, en la pregunta número ocho existe una cierta discordancia entre lo que se pide (cómo evaluar la comprensión de conceptos) y lo que se indica en el protocolo de respuestas de expertos que sirve para puntuar la pregunta (en el que se habla de procedimientos y actitudes). Por otro lado, se debe hacer referencia a que los profesores en ejercicio y en formación no han contestado en las mismas condiciones al cuestionario. Por todo ello, en futuras investigaciones se debería ampliar el número de profesores, además de utilizar otros instrumentos para acceder al CDC (sobre todo de carácter cualitativo como las entrevistas o la observación directa de la práctica en el aula) que permitieran comparar los resultados y enriquecerlos. Hay que tener presente que el CDC es un constructo complejo en el que se producen interacciones entre diversos componentes que además parecen depender del tema o cuestión que se enseña. A pesar de que ya se han llevado a cabo muchos estudios sobre el CDC, queda todavía por comprender cómo los profesores transforman sus conocimientos de la disciplina en modelos de CDC que les permiten facilitar el aprendizaje a los estudiantes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos dar las gracias a los dos revisores anónimos que, con sus sugerencias, han mejorado ostensiblemente la calidad de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELL, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. En: S. K. Abell y N. G. Lederman (eds.). *Handbook of Research on Science Education*, pp. 1105-1151. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- ACEVEDO, J. A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6 (1), pp. 21-46.
- AGUIRRE, J. M.; HAGGERTY, S. M. Y LINDER, C. J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning: a case study in pre-service science education. *International Journal of Science Education*, 12 (4), pp. 381-390.  
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069900120405>
- ALVARADO, C.; CAÑADA, F.; GARRITZ, A. Y MELLADO, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid-base chemistry at high school. *Chemistry Education Research and Practice*, 16 (3), pp. 603-618.  
<http://dx.doi.org/10.1039/C4RP00125G>
- APPLETON, K. Y KINDT, I. (2002). Beginning elementary teachers' development as teachers of science. *Journal of Science Teacher Education*, 13 (1), pp. 43-61.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1015181809961>
- AYDIN, S. Y BOZB, Y. (2013). The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, pp. 615-624.  
<http://dx.doi.org/10.1039/C3RP00095H>

- AYDIN, S.; FRIEDRICHSEN, P. M.; BOZC, Y. y HANUSCINB, D. L. (2014). Examination of the topic-specific nature of pedagogical content knowledge in teaching electrochemical cells and nuclear reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, pp. 658-674.  
<http://dx.doi.org/10.1039/C4RP00105B>
- BLANCO, L. J.; MELLADO, V. y RUIZ, C. (1995). Conocimiento didáctico del contenido en ciencias experimentales y matemáticas y formación de profesores. *Revista de Educación*, 307, pp. 427-446.
- BORKO, H., y PUTNAM, R. T. (1996). Learning to teach. En: D. C. Berliner y R. C. Calfee (eds.). *Handbook of educational psychology*, pp.673-708. Washington: MacMillan.
- CLERMONT, C. P.; BORKO, H. y KRAJCIK, J. S. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (4), pp. 419-441.  
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660310409>
- COCHRAN, K. F.; DERUITER y KING, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44 (4), pp. 263-272.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0022487193044004004>
- COCHRAN, G.; WELLS, L. y BROOKES, D. (2013). Physics Learning Assistants' Views on Expert Teaching: Toward an Understanding of PCK. En: P. V. Engelhardt; A. D. Churukian y D. L. Jones (eds.). *2013 Physics Education Research Conference Proceedings*, pp. 97-100. Portland, OR: AAPT. 2013. Recuperado el 25 de enero de 2015 de <<http://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=13119&DocID=3668>>.
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.<sup>a</sup> ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- DE JONG, O.; VAN DRIEL, J. y VERLOOP, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (8), pp. 947-964.  
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20078>
- DUIT, R. (2009). Students' and Teachers' Conceptions and Science Education. Recuperado el 2 de septiembre de 2014 de <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>.
- ETKINA, E. (2010). Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6, 020110. Recuperado el 21 de enero de 2015 de <http://journals.aps.org/prstper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.6.020110>.  
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020110>
- FREIRE, L. I. F. y FERNÁNDEZ, C. (2014). Professores novatos de química e o desenvolvimento do PCK de oxidorredução: influências da formação inicial. *Educación Química*, 25 (3), pp. 312-324.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70547-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70547-6)
- FURIÓ, C. y FURIÓ, C. (2009). ¿Cómo diseñar una secuencia de enseñanza de ciencias con una orientación socioconstructivista? *Educación Química*, 20, pp. 24-251.
- GESS-NEWSOME, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. En: J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.). *Examining pedagogical content knowledge*, pp. 3-17. Dordrecht/Boston: Kluwer Academic Publishers.
- GOMES, M.; CARNEIRO, I. P. y BISPO, A. P. (2012). Pilha voltaica: entre rãs, acasos e necessidades. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29 (1), pp. 145-155.  
<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29n1p145>
- GROSSMAN, P. L. (1990). *The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.

- HALIM, L. y MEERAH, S. M. (2002). Science trainee teachers' Pedagogical Content Knowledge and its influence on physics teaching. *Research in Science and Technological Education*, 20 (2), pp. 215-227. <http://dx.doi.org/10.1080/0263514022000030462>
- HASHWEH, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 11 (3), pp. 273-292. <http://dx.doi.org/10.1080/13450600500105502>
- HUME, A. C. y BERRY, A. (2011). Constructing CoRes—a Strategy for building PCK in pre-service science teacher education. *Research in Science Education*, 41 (3), pp. 341-355. <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-010-9168-3>
- KAYA, O. N. (2009). The nature of relationships among the components of pedagogical content knowledge of preservice science teachers: «Ozone layer depletion» as an example. *International Journal of Science Education*, 31 (7), pp. 961-988. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690801911326>
- LEE, E. Y LUFT, J. A. (2008). Experienced Secondary Science Teachers' Representation of Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 30 (10), pp. 1343-1363. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690802187058>
- LENTH, R. V. (2009). *Java applets for power and sample size* [computer software]. Recuperado el 15 de diciembre de 2014 de <http://stat.uiowa.edu/~rlenth/Power>
- LOUGHRAN, J.; BERRY, A. y MULHALL, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge* (2.<sup>a</sup> ed.). Rotterdam: Sense Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-6091-821-6>
- LOUGHRAN, J.; MULHALL, P. y BERRY, A. (2004). In search of Pedagogical Content Knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (4), pp. 370-391. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20007>
- MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, J. y BORKO, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge. En: J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.). *Examining pedagogical content knowledge*, pp. 95-132. Dordrecht/Boston: Kluwer Academic Publishers.
- MDACHI, S. J. M. (2012). Giving Thought to Students' Alternative Conceptions in Stereochemistry: One Teacher's Basis for Pedagogical Content Knowledge Improvement. *Journal of Turkish Science Education*, 9 (4), pp. 22-34.
- MELLADO, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial, de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), pp. 289-302.
- MELLADO, V.; BORRACHERO, A. B.; BRÍGIDO, M.; MELO, L. V.; DÁVILA, M. A.; CAÑADA, F. y BERMEJO, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), pp. 11-36. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- MELO, L. V.; CAÑADA, F. y MELLADO, V. (2014). Conocimiento Didáctico del Contenido en Física: El caso del Campo Eléctrico. En: A. Garritz; S. F. Daza y G. Lorenzo (eds.). *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana*, pp. 229-264. Saarbrücken, Alemania: Editorial Academia Española.
- MELO, L.; CAÑADA, E.; MELLADO, V. y BUITRAGO, A. (2013). Initial Characterization of a Colombian High School Physics Teacher' Pedagogical Content Knowledge on Electric Fields. *Proceedings of the International Conference New Perspectives in Science Education 2<sup>nd</sup> Edition*. Recuperado el 25 de enero de 2015 de <http://conference.pixel-online.net/npse2013/acceptedabstracts.php>

- MUNBY, H.; RUSSELL, T. Y MARTIN, A. K. (2001). Teachers' knowledge and how it develops. En: V. Richardson (ed.). *Handbook of research on teaching, 4th ed.*, pp. 877-904. Washington: American Educational Research Association.
- NEWTON, L. D. Y NEWTON, D. P. (2010). What teachers see as creative incidents in elementary science lessons. *International Journal of Science Education*, 32 (15), pp. 1989-2005.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690903233249>
- ÖZKAYA, A. R. (2002). Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. *Journal of Chemical Education*, 79 (6).  
<http://dx.doi.org/10.1021/ed079p735>
- ÖZKAYA, A. R.; ÜCE, M. Y ŞAHİN, M. (2003). Prospective teachers' conceptual understanding of electrochemistry: Galvanic and electrolytic cells. *University Chemistry Education*, 7 (1), pp. 1-36.
- PAJARES, M. K. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62 (3), pp. 307-332.  
<http://dx.doi.org/10.3102/00346543062003307>
- PARK, S. Y CHEN, Y.-C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (7), pp. 922-941.  
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.21022>
- PARK, S. Y OLIVER, J. S. (2007). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38 (3), pp. 261-284.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
- PASSOS SÁ, L. Y GARRITZ, A. (2014). O conhecimento pedagógico da «natureza da matéria» de bolsistas brasileiros participantes de um programa de iniciação à docência. *Educación Química*, 25 (3), pp. 363-379.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0187-893x\(14\)70552-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0187-893x(14)70552-x)
- PORLÁN, R.; RIVERO, A. Y MARTÍN, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las ciencias*, 16 (2), pp. 271-288.
- POZO, J. I. (1997). *Teorías cognitivas del aprendizaje* (5.ª ed.). Madrid: Ed. Morata.
- ROLLNICK, M. Y MAVHUNGA, E. (2014). PCK of teaching electrochemistry in chemistry teachers: A case in Johannesburg, Gauteng Province, South Africa. *Educación Química*, 25 (3), pp. 354-362.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70551-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70551-8)
- SANGER, M. J. Y GREENBOWE, T. J. (1997a). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (4), pp. 377-398.  
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199704\)34:4<377::AID-TEA7>3.0.CO;2-O](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<377::AID-TEA7>3.0.CO;2-O)
- SANGER, M. J. Y GREENBOWE, T. J. (1997b). Common student misconception in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education*, 74 (7), pp. 819-823.  
<http://dx.doi.org/10.1021/ed074p819>
- SANMARTÍN, B.; SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. Y SANJOSÉ, V. (2014). Una aproximación a las concepciones de estudiantes preuniversitarios y universitarios sobre pilas galvánicas. *Educación Química*, 25 (2), pp. 139-147.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70537-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70537-3)

- SASLOW, W. M. (1999). Voltaic cells for physicists: Two surface pumps and an internal resistance. *American Journal of Physics*, 67 (7), pp. 574-583.  
<http://dx.doi.org/10.1119/1.19326>
- SHULMAN, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), pp. 4-14.  
<http://dx.doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- SHULMAN, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), pp. 1-22.  
<http://dx.doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- SMITH, D. Y NEALE, D. C. (1991). The Construction of Subject-Matter Knowledge in Primary Science Teaching. En: J. Brophy (ed.). *Advances in Research on Teaching*, 2, pp. 187-243. Greenwich, CT: JAI Press.
- SOLBES, J.; DOMÍNGUEZ-SALES, M. C.; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.; FURIÓ, C.; CANTÓ, J. R. Y GUIASOLA, J. (2013). ¿El profesorado de física y química incorpora los resultados de la investigación en didáctica? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, pp. 155-178.  
<http://dx.doi.org/10.7203/dces.27.2617>
- VAN DRIEL, J. H.; DE JONG, O. Y VERLOOP, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education*, 86 (4), pp. 572-590.  
<http://dx.doi.org/10.1002/sci.10010>
- VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N. Y DE VOS, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (6), pp. 673-695.  
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J)

## ANEXO 1

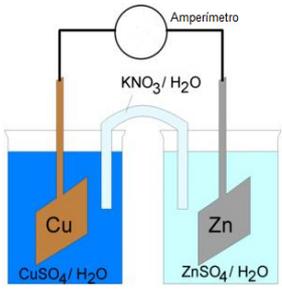
### Primera situación del cuestionario para acceder al CDC con las «respuestas correctas» a las preguntas y cómo se puntúan

El presente cuestionario forma parte de una investigación vinculada a un trabajo fin de máster de la Universitat de València y es completamente anónimo.

Por favor, conteste con la mayor extensión y sinceridad posible las siguientes preguntas. Muchas gracias por su colaboración en la investigación.

Profesor en ejercicio

Profesor en formación

	<p>Situación 1. Imagínesse que ha de introducir en el aula las siguientes cuestiones en relación con las pilas galvánicas (en la figura adjunta tiene una de ellas, la denominada pila Daniell):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conductión eléctrica en cada punto del circuito cerrado que constituye la pila.</li> <li>– Movimiento de iones en la pila y cantidad relativa de iones positivos y negativos en cada electrodo.</li> <li>– Papel del puente salino.</li> </ul>
<p>1. ¿Qué intentaría que los estudiantes aprendiesen en relación con las tres cuestiones anteriormente mencionadas de las pilas galvánicas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Cómo y por qué se genera la corriente eléctrica.</li> <li>– Qué partículas conducen la corriente eléctrica en cada parte del circuito.</li> <li>– Sentido del movimiento de aniones y cationes en cada parte de la pila.</li> <li>– Igualdad de cargas (cationes y aniones) en cada semicelda.</li> <li>– Papel del puente salino: permite cerrar el circuito y posibilita la electroneutralidad.</li> </ul> <p>(0,2 puntos/asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>
<p>2. ¿Por qué cree que es importante que los estudiantes aprendan lo que ha expuesto en la pregunta anterior?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La literatura muestra que los estudiantes tienen dificultades en esos puntos y suelen cometer errores conceptuales.</li> <li>– Hay estudios que evidencian que no se tratan de manera adecuada en el aula.</li> <li>– Para que entiendan cómo se puede obtener electricidad a partir de una reacción química.</li> <li>– Para que sean capaces de describir algunas celdas galvánicas comunes.</li> <li>– Para que puedan relacionarlo con fenómenos de la vida cotidiana.</li> </ul> <p>(0,2 puntos/asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>
<p>3. ¿Qué otras cuestiones sobre pilas galvánicas considera relevantes?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilización de los potenciales estándar de reducción para predecir la espontaneidad de las reacciones.</li> <li>– Identificación de cátodo y ánodo, su polaridad y los procesos que en ellos se producen.</li> <li>– Representación de las pilas mediante diagramas.</li> <li>– Origen del flujo de corriente.</li> <li>– Concepto de fuerza electromotriz de la pila.</li> <li>– Componentes de la pila.</li> <li>– Electrodeposición.</li> <li>– Contexto histórico que llevó a su desarrollo y aplicaciones en la vida cotidiana.</li> </ul> <p>(0,125 puntos/asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>

<p>4. ¿Conoce las dificultades o limitaciones que pueden producirse en la enseñanza de todos los aspectos mencionados anteriormente?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Presentación inadecuada en los libros de texto.</li> <li>– Metodología inapropiada de enseñanza.</li> <li>– Secuenciación conceptual inadecuada.</li> <li>– Necesidad de «visualizar» el funcionamiento de una pila.</li> <li>– Aprendizaje de conceptos y algoritmos de resolución sin la comprensión adecuada.</li> <li>– Problemas con la aplicación del modelo redox de intercambio de electrones.</li> <li>– Tiempo disponible en el curso en el que se imparte.</li> </ul> <p>(0,143 puntos/asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>
<p>5. ¿Conoce las posibles dificultades o ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje del funcionamiento de las pilas galvánicas?</p>	<p>Tienen dificultades en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilización de potenciales estándar de reducción para predecir la espontaneidad de las reacciones químicas.</li> <li>– Representación de las pilas mediante diagramas.</li> <li>– Identificación de cátodo y ánodo, y los procesos que en ellos ocurren.</li> <li>– Flujo de corriente eléctrica, su origen y partículas responsables.</li> <li>– Función del puente salino.</li> <li>– Componentes de la pila.</li> <li>– Concepto de fuerza electromotriz.</li> <li>– Principio de electroneutralidad.</li> <li>– Tienen problemas para disociar sales y además no suelen asociar una reacción química a una pila.</li> </ul> <p>Pueden tener las ideas alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Electrones circulan por el puente salino y las disoluciones electrolíticas.</li> <li>– Incorrecciones en el sentido del movimiento de iones y electrones.</li> <li>– Identificación de cátodo y ánodo con una determinada localización física (derecha o izquierda).</li> <li>– El cátodo siempre es positivo y el ánodo negativo.</li> <li>– El flujo de corriente eléctrica en las disoluciones electrolíticas y el puente salino es debido únicamente a los aniones.</li> </ul> <p>(0,071 puntos/asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>
<p>6. ¿Podrían influir otros factores a lo largo de los procesos de enseñanza-aprendizaje del funcionamiento de las pilas galvánicas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Los conocimientos previos que tenga el estudiante sobre conceptos básicos de electricidad (corriente eléctrica, intensidad de corriente, diferencia de potencial, etc.), de química (catión, anión, reacción química, reacción de oxidación-reducción, etc.).</li> <li>– El tipo de actividades de aprendizaje llevadas a cabo. Es decir, si se presentan o no situaciones teórico-prácticas en las que los estudiantes intenten explicar el funcionamiento de las pilas galvánicas y saquen a la luz sus esquemas conceptuales, pongan en evidencia las insuficiencias de los esquemas conceptuales de los estudiantes, y los acerquen hacia las concepciones aceptadas por la comunidad científica, mostrando sus mayores virtudes, su rigor y coherencia de acuerdo con las teorías vigentes.</li> </ul> <p>(0,5 puntos máximo/ asunto, puntuación máxima 1 punto)</p>
<p>7. ¿Qué metodología de enseñanza utilizaría para obtener el mayor rendimiento de aprendizaje de sus estudiantes?</p>	<p>—Metodologías de carácter indagativo-socio-constructivista (cambio conceptual, investigación, aprendizaje basado en problemas, etc.), esto es, aquellas que parten del conocimiento previo de los estudiantes y utilizan actividades de aprendizaje que presentan situaciones teórico-prácticas en las que los estudiantes intentan explicar el funcionamiento de las pilas galvánicas y sacan a la luz sus esquemas conceptuales, ponen en evidencia las insuficiencias de sus esquemas conceptuales, y acercan a los estudiantes hacia las concepciones aceptadas por la comunidad científica, mostrando sus mayores virtudes, su rigor y coherencia de acuerdo con las teorías vigentes.</p> <p>(0,8 puntos si se hace referencia a alguna de las metodologías mencionadas y si, además, se menciona algún tipo de actividad práctica indagativa o la utilización de animaciones por ordenador o <i>applets</i> 0,2 puntos más.)</p>

<p>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)?</p>	<p>– Naturalmente, la evaluación más rigurosa toma en consideración todos los aspectos del trabajo diario y todos los contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales). No obstante, como lo que se pretende analizar es el caso particular de las pilas galvánicas y los conceptos y procesos implicados en ellas, se tendría que tener en consideración de dónde se ha partido y hasta dónde se ha llegado.</p> <p>(Si evalúa conceptos: 0,2 puntos; si evalúa contenidos procedimentales: 0,2 puntos; si evalúa el trabajo diario o las actitudes: 0,2 puntos. Puntuación máxima 0,6 puntos.)</p> <p>– Cualquier actividad teórico-práctica en la que estén implicados los conceptos problemáticos puede ser válida para evaluar. Puede resultar interesante administrar un test de opción múltiple (pueden encontrarse en la literatura) con diversas pilas en el que aparezcan ilustraciones y en el que se pregunte principalmente sobre las cuestiones clave planteadas. Este test podría administrarse al principio (pretest) y al final del proceso de enseñanza-aprendizaje (postest).</p> <p>(Si se propone solo postest: 0,2 puntos; si se propone pretest y postest 0,4 puntos. Puntuación máxima 0,4 puntos.)</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## ANEXO 2

### Rasgos principales de cada uno de los enfoques de enseñanza que propone Pozo (1997)

<i>Enfoque de enseñanza</i>	<i>Actividades de enseñanza</i>	<i>Características del profesor</i>	<i>Papel del estudiante</i>	<i>Procedimientos de evaluación</i>
Tradicional	– Clase magistral, explicación de un conjunto de hechos y conocimientos acabados.	– Podría no conocer las dificultades e ideas previas de los alumnos sobre el tema y no preocuparse por conocerlas.	– Recibe los conocimientos y los reproduce.	– El objetivo es que muestren si se han adquirido los conocimientos mínimos. – Realización de «problemas tipo».
Descubrimiento	– El alumno construye su conocimiento a partir de los descubrimientos realizados mediante investigaciones. – Las actividades son como pequeñas investigaciones.	– Puede conocer las ideas previas de sus alumnos. – Hace de director y ante problemas puede detener la investigación y redirigirla.	– Investiga y busca las respuestas a las preguntas.	– Se centra más en los procedimientos y las actitudes que en los conceptos.
Expositivo	– Exposición de los contenidos en una secuencia que parte de los conocimientos previos.	– El profesor conoce las dificultades e ideas previas y de sus alumnos y guía su exposición de forma que vayan entendiendo las ideas correctas.	– Recibe los conocimientos y los asimila.	– Evaluación sobre todo del conocimiento conceptual. – Realización de mapas conceptuales.

<i>Enfoque de enseñanza</i>	<i>Actividades de enseñanza</i>	<i>Características del profesor</i>	<i>Papel del estudiante</i>	<i>Procedimientos de evaluación</i>
Cambio conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Actividades para determinar los conocimientos previos de los alumnos.</li> <li>– Actividades con situaciones conflictivas para lograr un cambio conceptual. La nueva concepción (la científica) debe resultar más útil para el alumno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conoce muy bien las ideas previas de los alumnos y sus dificultades para lograr el cambio conceptual.</li> <li>– Plantea actividades dirigidas hacia el conflicto cognitivo y el cambio conceptual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Activa sus conocimientos y construye otros nuevos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se realizan actividades similares a las utilizadas para explicitar las ideas alternativas iniciales para comprobar si, después del proceso de enseñanza-aprendizaje, estas permanecen o no.</li> </ul>
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se intenta situar al alumno en un contexto de investigación científica en el que construirá sus conocimientos.</li> <li>– La enseñanza se organiza en torno a un hilo conductor y la resolución de problemas mediante la aplicación de la metodología científica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conoce las ideas alternativas de sus alumnos así como las dificultades del proceso enseñanza-aprendizaje, y pone especial interés en el diseño de los problemas y su organización en torno al hilo conductor del tema.</li> <li>– Dirige la investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Construye su conocimiento mediante la investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La evaluación se concibe como un instrumento más al servicio del aprendizaje.</li> <li>– Se basa en el trabajo diario de los alumnos en su investigación.</li> <li>– Se realiza una retroalimentación a los alumnos sobre las causas de su éxito o fracaso.</li> </ul>
Modelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se ayuda a los alumnos a reconstruir el conocimiento científico.</li> <li>– Se exponen a los alumnos diversos modelos científicos que deben contrastar y comprender las diferencias conceptuales que hay entre ellos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conoce las ideas previas de los alumnos y parte de ellas para ayudarles a construir los diferentes modelos conceptuales.</li> <li>– Hace comprensibles los conocimientos mediante explicaciones.</li> <li>– Guía las indagaciones del alumno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diferencia e integra distintos tipos de conocimientos y modelos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Actividades que promuevan la reflexión del alumno y la integración y contrastación de modelos.</li> <li>– Actividades consistentes en explicitar varios modelos para una misma situación y la capacidad de buscar argumentos en contra y a favor de un modelo.</li> </ul>

---

# A comparative exploratory study of pre-service and in-service high school teachers' pedagogical content knowledge in galvanic cells

Ana Brines Brines, Joan Josep Solaz-Portolés, Vicent Sanjosé López  
Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials de la Universitat de València  
bribria@alumni.uv.es, joan.solaz@uv.es, vicente.sanjose@uv.es

It's very important, if a teacher wants to be successful at teaching, that he has a good pedagogical content knowledge (PCK, a special combination of content knowledge and pedagogy). Also, it is plausible that pre-service and in-service teachers' PCK is to be different on the basis of teachers' PCK development during their career. On the other hand, it has been reported that students and teachers have some difficulty to understand electrochemistry, and in particular the functioning of galvanic cells. In this study, an attempt is made to quantitatively assess pre-service and in-service teachers' PCK in galvanic cells. In addition, a teachers' categorization has been carried out in accordance with their teaching method preferences.

A total of 40 high school teachers participated in the study, of whom 25 were pre-service teachers and 15 were in-service teachers. Participants answered a written questionnaire, adapted from the Loughran, Mulhall, and Berry's CoRe instrument (2004), considering two different situations (the first situation is related to Daniell cell and the second situation is related to simple voltaic cell).

The scores obtained in the questionnaire by teachers in the first situation are higher than those for the second situation, but in neither case they reached as much as 50 per cent of the maximum score. In other words, teachers' PCK is better in the case of the Daniell cell than in the other one, but in neither case teachers have appropriate PCK in the field. It is to be noted that in both situations in-service teachers' scores were significantly higher than those of pre-service teachers. Finally, an analysis of questionnaire responses allowed us to see where the differences between the two groups of teachers are located: learning goals, students' learning difficulties and misconceptions, what and how to assess the degree to which students achieve desired intentions.

In terms of teaching methodology preferences, in-service teachers opt for traditional teacher-centered and discovery teaching methods. However, pre-service teachers have a greater variety of profiles of teaching practices and there is no methodological option that stands out. Moreover, there is no significant association between membership to a teachers group (pre-service or in-service teachers) and the choice of the teacher for a certain methodological category.

The results of this study point to the need for an improvement of high school teachers' PCK in galvanic cells. First of all, our research shows the urgent need to enhance the theoretical and practical training of teachers in electrochemistry in general, and in galvanic cells in particular. Likewise, every teacher (mainly in-service teacher) should increase their knowledge about: *a*) students' learning difficulties and misconceptions in this area; *b*) how to help learners understand why the subject is important to them, how it will be useful; *c*) the assessment of contents and how it should be undertaken; and *d*) the advantages of active learning and student-centered pedagogy.

